

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Respuesta Fisiológica de Segregantes de Maíz (*Zea mays* L.) Poliembriónico  
Sometidos a Diferentes Condiciones de Estrés

Por:

**TIMOTEO MONTEJO ENCINO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Respuesta Fisiológica de Segregantes de Maíz (*Zea mays* L.) Poliembriónico  
Sometidos a Diferentes Condiciones de Estrés

Por:

**TIMOTEO MONTEJO ENCINO**

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

Dr. Raúl Rodríguez Herrera  
Coasesor

M.P. María Alejandra Torres Tapia

Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.  
Septiembre 2018.

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios.** *Por darme vida y guiarme en el camino del bien; por permitirme cumplir una meta más en mi vida y darle una satisfacción a mis padres, y también por estar conmigo en todo momento además por darme la fortaleza y salud.*

**A mi “Alma Terra Mater”, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.** *Por haberme abierto las puertas y darme la oportunidad de realizar mis estudios, y a todos mis maestros que participaron en mi formación. Muchas gracias!*

**A la M.P María Alejandra Torres Tapia** *por su invaluable apoyo, motivación, tiempo, dedicación, paciencia y su amplio conocimiento que me brindó para llevar a cabo la realización de este trabajo de investigación, ¡mil gracias maestra! Dios la bendiga siempre.*

**Al Dr. José Espinoza Velázquez,** *por su enseñanza, confianza, sugerencias, dedicación y revisión de este trabajo.*

**Al Dr. Raúl Rodríguez Herrera,** *por las aportaciones recibidas en la realización y revisión de este trabajo, gracias por sus sugerencias.*

**Al Ing. Gregorio Ramírez** *por apoyarme en todo momento en la parte estadística de este trabajo de investigación.*

**A mis amigos y compañeros por apoyarme y motivarme,** M.C Samuel, Ing. Iván, Ing. Adán “Chino”, Toño, Julián, Lili, Carlos, Omar Adán, Víctor, Rodrigo así como mis compañeros de generación y de cuarto Samuel y Ángel “Greñas”, *les doy las gracias por el apoyo y las experiencias vividas.*

*Este trabajo fue apoyado financieramente a través del proyecto "Identificación y secuenciación de regiones de DNA, que controlan la poliembrionía en maíz". FON.SEC. SEP-CONACYT CIENCIA BASICA CV-2015-03SORD2416.*

## DEDICATORIA

**A mis queridos padres:**

***La Profa. Elena Encino Sánchez y al M.C. Timoteo Montejo López.***

*Gracias por haberme dado el regalo más valioso de este mundo ¡La vida!, por confiar en mí y haberme formado como un hombre de provecho, así como el amor infinito, cariño y consejos que siempre me han brindado. Por todo el apoyo, fortaleza y motivación que me han brindado siempre. ¡Los amo!... Dios los bendiga siempre.*

**A mis hermanos**

***Al Ing. Juan David Montejo Encino***

***José Calixto Montejo Encino***

***Yesenia Montejo Encino***

*Por su apoyo incondicional, el cariño y afecto que ustedes me han brindado siempre y todos los momentos felices que hemos vivido juntos. Dios me los bendiga siempre. Los quiero mucho....siempre los llevare en mi corazón.*

**A mi tía “mi segunda mamá”**

***La Sra. Fabiana Montejo López***

*No tengo palabras para agradecerle lo que ha hecho por mí, por todo su apoyo, cariño y afecto incondicional. Dios la bendiga siempre.*

**En general a la familia Montejo y Encino**

*Por su apoyo, motivación y sabios consejos que siempre me brindaron. Con afecto les dedicó este trabajo y donde quiera que esté, siempre estarán conmigo.*

## RESUMEN

El maíz en México es cultivado en diferentes pisos térmicos, permitiendo la siembra de un mismo material en un rango amplio de temperaturas, por lo que la semilla debe cumplir y permitir altos porcentajes de germinación, además de producir plántulas con un desarrollo vigoroso. Por ello el Instituto Mexicano del Maíz ha generado materiales con características poliembriónicas para su estudio y evaluación del potencial de producción, sin embargo no se ha evaluado la respuesta de la calidad fisiológica de la semilla de estos genotipos al ser sometidos a diferentes condiciones de estrés como a bajas y altas temperaturas. En este estudio, se evaluó la respuesta fisiológica en laboratorio de catorce genotipos mediante pruebas de capacidad de germinación (CG) y vigor en semillas provenientes de segregantes de maíz con y sin poliembriónia generadas en lotes de polinización libre, sometidas a una temperatura de congelación  $-20^{\circ}\text{C}$  por dos semanas (Primera etapa) y posteriormente a un envejecimiento acelerado a  $42 \pm 1^{\circ}\text{C}$  (Segunda etapa) por 96 horas. Planteándose los objetivos: Estudiar la respuesta fisiológica en la germinación y vigor de las semillas de los materiales de maíz a través de pruebas de laboratorio en una primera etapa y Determinar la respuesta fisiológica de las semillas una vez llevadas a una segunda etapa y detectar las diferencias entre los materiales genéticos. La evaluación se realizó mediante pruebas de capacidad de germinación y vigor contabilizando el porcentaje de Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA), Semillas Sin Germinar (SSG), y el vigor a través de Longitud Media de Plúmula (LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y tasa de crecimiento de la plántula conocido como Peso Seco (PS). Los resultados se analizaron bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones y una prueba de comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

En general, en la Etapa 1 los genotipos presentaron bajos porcentajes de plántulas normales y poliembriónia, entre 78.8 a 98.7 % de PN, destacando los genotipos 1, 8 y 11, por tolerar temperaturas de congelación ( $-20^{\circ}\text{C}$ ). Sin embargo, algunos genotipos presentaron reducción en el vigor, como fue 3 y 5, y mostrar

susceptibilidad en la respuesta con baja germinación y menor peso seco con 35.7 y 39 mg/plántula respectivamente, pero a otros genotipos como 1, 8 y 13, esta condición les permitió activar su fisiología en la acumulación de materia seca con valores de 50.8 a 54.9 mg/plántula.

En la Etapa 2, se presentó un incremento hasta de 4 % mayor, así como la presencia de poliembrionía en los genotipos 6, 7, 8 y 9 (materiales poliembriónicos) y en el testigo 11 (Caimán), teniendo 96-98 % de PN. Además, la respuesta de vigor se vió incrementada en los genotipos, a la alta temperatura y humedad relativa, favoreciendo su fisiología de las semillas en la germinación y vigor al ser sometidas a bajas temperaturas (-20°) y posteriormente al envejecimiento, acelerando sus procesos fisiológicos y metabólicos; sobresaliendo los genotipos testigos (Caimán) 10, 12, 13, y 14, seguidos de los genotipos poliembriónicos 8 y 9, con acumulación de materia seca de 73.93 y 73.98 mg/plántula cada uno.

Se concluye, que los genotipos de maíz poliembriónico tienen una mejor respuesta fisiológica después de ser sometidos a temperaturas drásticas como fueron a -20°C (congelación) y  $42 \pm 1^\circ\text{C}$  (envejecimiento), además de ser favorable para expresar la característica poliembriónica, sobresaliendo las semillas de los genotipos 1, 8 y 11, permitiendo considerar que puedan ser tolerantes a bajas y altas temperaturas. En adición, los genotipos procedentes de los diferentes sistemas de producción indicaron que la población Poliembriónica NAP, tiende a favorecerle su respuesta fisiológica de las semillas.

*Palabras clave*— *Zea mays* L., semillas bajo congelación, envejecimiento acelerado, germinación, vigor, estrés.

## INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	2
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Producción de maíz en México.....	4
Mejoramiento genético de maíz.....	6
Poliembrionía.....	8
Sistemas de producción.....	8
Calidad de semilla.....	10
Calidad de semilla en el mejoramiento genético.....	11
Influencia de la temperatura en la germinación.....	13
MATERIALES Y METODOS.....	15
Localización del área de estudio.....	15
Material genético.....	15
Metodología (Etapas).....	16
Variables evaluadas.....	17
Capacidad de germinación (CG).....	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
Primera etapa.....	21
Vigor.....	24
Segunda Etapa.....	27
Correlación de las variables evaluadas entre las dos etapas.....	39
Contrastes ortogonales.....	41
Porcentaje de Poliembrionía.....	43
CONCLUSIONES.....	45
LITERATURA CITADA.....	46

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Identificación de los genotipos evaluados en el laboratorio, 2017. ....	16
Cuadro 4.1 Cuadrados medios y significancia de las variables en la prueba capacidad de germinación de los genotipos estudiados en la primera etapa. ....	21
Cuadro 4.2 Resultados de la comparación de medias de las variables en la prueba capacidad de germinación de los genotipos estudiados en la primera etapa. ....	23
Cuadro 4.3 Cuadrados medios y significancia de las variables en las pruebas de vigor de los genotipos estudiados en la primera etapa. ....	24
Cuadro 4.4 Resultados de la comparación de medias de las variables de las pruebas de vigor de los genotipos estudiados en la primera etapa. ....	25
Cuadro 4.5 Cuadrados medios y significancia de las variables en la prueba capacidad de germinación de los genotipos estudiados en la segunda etapa. ....	28
Cuadro 4.6 Resultados de la comparación de medias de las variables en la prueba capacidad de germinación de los genotipos estudiados en la segunda etapa. ....	29
Cuadro 4.7 Cuadrados medios y significancia de las variables en las pruebas de vigor de los genotipos estudiados en la segunda etapa. ....	33
Cuadro 4.8 Resultados de la comparación de medias en la prueba de vigor Longitud Media de Plúmula en los genotipos estudiados en la segunda etapa. ....	34
Cuadro 4.9 Resultados de la comparación de medias en la prueba de vigor Peso Seco en los genotipos estudiados en la segunda etapa. ....	37
Cuadro 4.10 Correlaciones entre variables de capacidad de germinación en las condiciones de temperatura. ....	39
Cuadro 4.11 Correlaciones entre variables de capacidad de germinación en las condiciones de temperatura. ....	40
Cuadro 4.12 Resultados de la comparación de contrastes en NAP IND vs NAP PE. ....	41
Cuadro 4.13 Resultados de la comparación de contrastes en NAP PE vs Caimán. ....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Respuesta de la variable Plántulas Normales en la prueba de capacidad de germinación de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura. ....	30
Figura 4.2 Respuesta de la variable Plántulas Anormales en la prueba de capacidad de germinación de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura. ....	31
Figura 4.3 Respuesta de la variable Semillas sin Germinar en la prueba de capacidad de germinación de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura. ....	32
Figura 4. 4 Respuesta de la variable Longitud Media de Plúmula en la prueba de vigor de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura. ....	34
Figura 4.5 Respuesta de la variable Longitud Media de Radícula en la prueba de vigor de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura. ....	36
Figura 4.6 Respuesta de la variable Tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco) en la prueba de vigor de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura. ....	38
Figura 4.7 Respuesta de la variable Poliembrionía en la prueba de vigor de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura. ....	44

## INTRODUCCIÓN

En México, el maíz (*Zea mays L.*) es el cultivo agrícola más importante, desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social, debido a que forma parte de la dieta de la mayoría de los mexicanos (SIAP, 2010). La mayor demanda de maíz y sus derivados coincide con el incremento de la población, y los nuevos canales de comercialización del mismo. El déficit se atribuye a múltiples factores que han limitado el rendimiento del maíz (Bergvinson, 2007); entre estos están los cambios del clima, que han generado alteraciones en algunas áreas agrícolas y por ende en su sistema de producción; por ejemplo, las altas o bajas temperaturas han llegado a ser puntos cruciales en las decisiones de los agricultores en hacer modificaciones en la densidad de población de plantas, en las dosis de fertilización o hacer cambios en el ciclo de producción.

Uno de los principales objetivos del mejoramiento genético es generar variedades e híbridos que tengan un alto potencial de rendimiento, y características agronómicas deseables basadas en el interés del agricultor, además de producir semillas de alta calidad con respecto a sus componentes genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios (Mora, 2011).

El fenómeno de poliembrionía (PE) en maíz se presenta con cierto interés agronómico por su posibilidad de producir dos o más plantas, causada por la presencia de dos o más embriones por semilla (González *et al.*, 2011), influyendo en la calidad del grano y/o semilla, esta característica puede ser utilizada para incrementar aspectos de rendimiento, valor nutritivo, calidad en aminoácidos, aceites, calidad física, y calidad fisiológica (Godoy, 2010).

Al desarrollar materiales genéticos e identificar las mejores combinaciones híbridas en base al potencial de rendimiento, se puede determinar el éxito de un programa de mejoramiento genético y este a su vez tiene un papel importante en

un programa de producción de semillas, por ser considerado parte de los componentes de la calidad en la semilla (Popinigis, 1985), en conjunto a características fisiológicas en viabilidad y vigor, físicas y sanitarias, contribuyen en predecir el establecimiento y producción de materiales sobresalientes con altos índices de calidad, así como el manejo adecuado del cultivo (Mora, 2011). Por ello, el Instituto Mexicano del Maíz ha generado diferentes materiales genéticos poliembriónicos, incrementando con ello la calidad del grano de maíz, al combinar fuentes de germoplasma que complementen su potencial (González *et al.*, 2011), las cuales se han venido estudiando en diferentes aspectos agronómicos, obteniendo genotipos con y sin poliembrionía producidos en lotes de polinización libre (Alcalá, 2016). Sin embargo, no se ha evaluado la respuesta de la calidad fisiológica de la semilla de estos genotipos, sometidos a diferentes condiciones de estrés como bajas temperaturas ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) o altas temperaturas ( $42 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ), para obtener una posible propuesta en las diversas modificaciones en la producción de maíz, por lo que el presente trabajo tuvo los siguientes objetivos general, específico e hipótesis.

### **Objetivo general**

Comparación de la respuesta fisiológica *in vitro* de la semilla de genotipos segregantes con y sin poliembrionía en maíz sometidos a condiciones de baja y alta temperatura.

### **Objetivo específico**

- Estudiar la respuesta fisiológica en la germinación y vigor de las semillas mediante pruebas de laboratorio en catorce genotipos segregantes con y sin poliembrionía, sometidas a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  (congelación).
- Determinar la respuesta fisiológica de semillas y detectar diferencias entre los materiales genéticos al ser sometidas a temperatura baja y posteriormente a envejecimiento acelerado.

## **Hipótesis**

- Al menos un genotipo segregante de maíz con y sin poliembrionía, tiene una respuesta positiva en la capacidad de germinación y vigor al ser sometida una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  (congelación) y al menos un genotipo segregante de maíz con y sin poliembrionia, tiene una respuesta positiva en la capacidad de germinación y vigor al ser sometidas primero a una temperatura baja y posteriormente a envejecimiento acelerado.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Producción de maíz en México**

En la actualidad el maíz es uno de los tres cereales más importantes a nivel global (además del trigo y arroz), ya sea como alimento o como fuentes de un gran número de productos industriales, y es considerado el cultivo agrícola más diseminado a nivel global por la diversidad de ambientes bajo los cuales se desarrolla con éxito productivo (FAO, 2015). Los principales países productores de maíz del año 2015 al 2017 fueron: Estados Unidos que ocupó el primer lugar, China el segundo, Brasil tercero y la Unión Europea en cuarto lugar, presentándose fluctuaciones entre el quinto y séptimo lugar entre Argentina, India y México (USDA, 2016).

En México el cultivo del maíz es de importancia nacional, por la superficie que se le destina anualmente, la población que de una u otra manera depende de su explotación, la participación preponderante que posee en la dieta de la gran mayoría de los mexicanos y las implicaciones de tipo cultural, religioso, social y económico. (SIAP, 2007). Este cereal cubre poco más de la mitad de la superficie agrícola, con aproximadamente 7.5 millones de hectáreas, esto representa el 27 % de la superficie agrícola nacional (SIAP, 2014).

Aspectos de suma importancia que poco se han tomado en cuenta en la generación de nuevos cultivos, es el comportamiento fisiológico que permite seleccionar entre variedades de mayor eficiencia en la utilización de insumos y que se manifieste en un mayor potencial productivo; la calidad de semilla es otro parámetro importante desde la perspectiva de mayor tolerancia al deterioro natural, y su mejor respuesta fisiológica al momento del establecimiento en condiciones de campo (vigor y capacidad germinativa). Se considera que los híbridos y variedades de maíz que se siembran en México y dados a conocer en

los últimos años, gran parte, no reúnen tales exigencias de calidad, interesando mayormente su comportamiento en relación al rendimiento del grano (Andrio, 2011).

En los últimos 60 años los incrementos en el rendimiento se han logrado principalmente por el fitomejoramiento (60 %) y a la utilización de mejoras tecnológicas (40 %), en el cual se incluye la aplicación de mayores dosis de fertilización, eficiente control de malezas, aumentos en la densidad de población y manejo de híbridos superiores (Tollenaar y Lee, 2011).

En el maíz, la disponibilidad de los recursos principalmente agua y fertilizantes modifica la respuesta a la densidad de plantas. En ambientes con buena disponibilidad de agua y nutrientes los mayores rendimientos se obtienen con densidades elevadas (Sellart, 2015). En cambio, en condiciones de baja disponibilidad de recursos, la densidad de plantas óptima es menor. En consecuencia, la densidad óptima de plantas para lograr un máximo rendimiento en granos y semillas, está directamente asociada con la disponibilidad de recursos (Sanchez *et al.*, 2011).

La relación entre la producción de granos y la densidad es compleja, varía de acuerdo a la condición del suelo, clima, prácticas culturales y genotipo (CIMMYT, 2009). Ante tales aspectos, el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM-UAAAN) han venido estudiando y desarrollando un programa de mejoramiento genético en maíz con diferentes características de valor nutricional, rendimiento y de alto porcentaje de poliembrionia, en ambas versiones, porte normal y enano, así como cruza entre materiales; por ello es importante determinar la calidad de semilla producida de estos genotipos (Mora, 2011).

## **Mejoramiento genético de maíz**

El cultivo de maíz es uno de los cereales básicos en la alimentación humana, principalmente en Latinoamérica, el cual tiene su origen en el sur de México y América Central; se afirma que este cereal ya se cultivaba desde la época de nuestros ancestros, dada la importancia se han realizado estudios sobre mejoramiento genético que nos permitan obtener buenos rendimientos y disminuir riesgos de pérdidas por factores bióticos y abióticos y sobre todo a ser tolerantes a condiciones ambientales adversas (CIMMYT, 1994). Además, la demanda de alimentos que día a día va en crecimiento y la explosión demográfica, obligan a disponer de más y mejores semillas con características fisiológicas superiores (Ruiz, 2011).

En México, la mayor utilización del maíz es como alimento, ya sea de uso pecuario o humano, en los últimos años se ha incrementado la utilización de procesos industriales, lo que ha generado la necesidad de contar con maíces especializados, de acuerdo al uso que se pretenda; lo que obliga a los mejoradores a trabajar para satisfacer nichos de mercado cada vez más especializados (Feed & Grain, 1998).

De acuerdo con Copeland y McDonald (2001), las semillas de variedades mejoradas son una opción para incrementar el rendimiento, y calidad de las cosechas, sirviendo como puente entre el mejoramiento genético y el productor, las cuales, en países en desarrollo permiten alcanzar niveles competitivos en la producción. Para satisfacer la producción de maíz, es necesario la utilización de semilla mejorada de buena calidad, que sea capaz de adaptarse a las condiciones climáticas de cada región, sin embargo, la producción de semilla no satisface las necesidades del país en cantidad y calidad (SNICS, 1998).

Las semillas mejoradas, producto de los programas de mejoramiento genético, son un insumo clave de la estrategia alimentaria de un país, el resultado en la utilización de estas es el surgimiento y consolidación de una nueva generación de agricultores capaces de hacer del campo agrícola más rentable (Barkin y Suárez, 1983). Por consiguiente, es necesario contar con semillas de alta calidad en donde se involucren los componentes genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios, así como buenas características agronómicas. Es por ello que algunas instituciones privadas y públicas del país a través de los años han generado programas de mejoramiento genético, de tal forma que es aprovechada las bondades de la especie/cultivo (Mora, 2011).

El mejoramiento de las plantas puede dividirse en tres etapas: 1) domesticación y selección masal fenotípica; 2) selección en base a pruebas de progenie en ensayos (selección genotípica); 3) el mejoramiento por la vía de transgénesis (producción de plantas transgénicas) (Lamkey y Lee, 2006). Lo cual tiene el objetivo de generar variedades e híbridos que tengan un alto potencial de rendimiento, y características agronómicas deseables basadas en el interés del agricultor. También es necesario producir semillas de alta calidad con respecto a sus componentes genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios (Woodstock, 1973).

La eficiencia de los programas de mejoramiento está basada en el acopio de gran variabilidad genética de la especie, el uso de la metodología más adecuada de acuerdo a las características genéticas del material, y a un criterio de selección eficiente. La conjugación de estos tres factores da como resultado la obtención de híbridos, y variedades genéticamente superiores a los iniciales (Castillo, 1994). El mejoramiento genético es un proceso continuo en la formación de nuevas variedades e híbridos comerciales; el conocimiento de los diversos tipos de acción génica, y la importancia de estos en la determinación de interés económico es básico para lograr avances rápidos (Wong *et al.*, 2007).

## **Poliembrionía**

La primera mención registrada sobre poliembrionía se le atribuye a Leeuwenhoek en 1719, quien observó la formación de dos plántulas de la misma semilla de cítricos (mencionado por Batygina y Vinogradova, 2007), y es el fenómeno por el cual se forman en la semilla más de un embrión, independientemente del origen de los mismos. La poliembrionía o embriones múltiples dentro de una misma semilla, ocurre espontáneamente en varias especies de plantas. Este fenómeno es común en gimnospermas y menos frecuentes en angiospermas (Martínez y Gradziel, 2003).

### **Poliembrionía en maíz**

La poliembrionía en maíz es la condición en la que la semilla al germinar manifiesta dos o más plúmulas simultáneamente, las cuales se mantienen hasta la terminación del ciclo de vida de la planta. Este fenómeno de Poliembrionía en maíz (PEm) se presenta con cierto interés agronómico por su posibilidad de producir dos o más plantas, causada por la presencia de dos o más embriones por semilla (González *et al.*, 2011), influyendo en la calidad del grano y/o semilla, característica que puede ser utilizada en aspectos de rendimiento, valor nutritivo, calidad en aminoácidos, aceites, calidad física, y calidad fisiológica (Godoy, 2010).

## **Sistemas de producción**

En México, el maíz es uno de los cultivos de mayor importancia en la agricultura y en la economía nacional, ya que en este cereal se basa un alto porcentaje la alimentación de sus habitantes. Sin embargo, las causas principales de los bajos rendimientos son debido al manejo, y a las condiciones ecológicas (Luna y Gutiérrez, 1997). El estudio y entendimiento de los procesos productivos de los cultivos es esencial para optimizar el uso de los recursos naturales (Hunt, 1982),

de acuerdo con esto es importante el diseño y operación de sistemas de producción que hagan más eficientes el uso de los recursos naturales e insumos en la producción agrícola. Según Márquez (1975) y Brauer (1969) el incremento logrado en el rendimiento en maíz es debido al mejoramiento genético y sobre todo en el manejo agronómico como es; la densidad de población y las dosis de fertilización.

### **Densidad de población**

La densidad de población por unidad de área depende de varios factores, entre ellos están los siguientes; fertilidad del suelo, humedad disponible, porcentaje de germinación y características agronómicas de la variedad. De acuerdo con Marín *et al.*, (1989) es posible que, con solo incrementar la densidad de plantas por hectárea, se logre producir más granos por unidad de superficie. Sin embargo, no todos los genotipos presentan la misma respuesta a altas densidades de plantas o dosis de fertilización Cano (2001). Dado que uno de los factores que afectan el crecimiento y rendimiento del maíz es la densidad de siembra. Para maíz se sugieren densidades de siembra entre 30 000 y 90 000 plantas ha<sup>-1</sup>, en función de la región, genotipo, nivel de fertilización y el tipo de riego (Sangoi, 2000).

### **Fertilización**

Una de las formas para lograr altos rendimientos es combinando eficientemente los factores; dosis de fertilización y densidad de población, y el uso de semillas mejoradas (Tocagni, 1982). La fertilización juega un papel importante para el desarrollo de la planta, sin embargo, para dar una buena recomendación sobre la fertilización, es necesaria basarse en experiencias científicas, mediante un análisis de suelo.

La fertilización de un cultivo, comprende muchos aspectos, los cuales tienen que ser planeados cuidadosamente, y más aún en el caso del maíz que es exigente en nutrientes, de tal manera que no es el simple hecho de aplicar fertilizantes a un

cultivo, sin no saber cuál es la máxima cantidad, y económica que se pueda aplicar para que dicho cultivo sea llevado a las mejores condiciones (Cortaza, 1976). La fertilización influye en el rendimiento y también en la calidad, dado que de la fertilización depende el contenido de proteínas de las semillas. Cuando la planta padece de nutrientes, disminuye su vigor (Ladlie, 1993).

### **Calidad de semilla**

El tema “calidad” ha tomado gran relevancia durante la última década a nivel global. Algunos lo consideran una traba comercial, otros lo definen como el resultado de la globalización, y un paso necesario para incursionar en los mercados internacionales, este concepto ha ido variando a través del tiempo, y en la actualidad “calidad es lo que demanda el cliente”. Esto implica un criterio más amplio referido al uso final y a la calidad diferenciada que según el productor va a obtener (Cuniberti, 2006).

La calidad de la semilla es un concepto múltiple que comprende varios componentes, los cuales se refieren a la conveniencia de aptitud de la semilla para sembrarse, designados como: componente genético, fisiológico, sanitario y características físicas (Thomson, 1979). Hampton (2001), señaló que la calidad de semilla puede ser vista como un patrón de excelencia, que van a determinar el desempeño de la semilla en la siembra o en el almacén; y que es utilizada para reflejar el valor de la semilla para propósitos específicos, como es la distribución y comercialización.

En forma general se menciona que:

$$\text{Calidad} = G + F + S + CF$$

G= Componente genético

F= Componente fisiológico

S= Componente sanitario

Cf= Características físicas

## Calidad de semilla en el mejoramiento genético

Una semilla de calidad puede dividirse en cuatro cualidades básicas: genética, fisiológica, sanitaria y física. La presencia de las cuatro cualidades esenciales en su máximo nivel, permite que la semilla este en su máxima calidad integral. Cada una de ellas aporta su capacidad para originar plantas productivas. La debilidad en cualquiera de ellas introduce un factor limitante, y como consecuencia plantas poco productivas. Por ejemplo, la mejor genética no puede expresar su verdadero potencial, si la semilla esta fisiológicamente deteriorada mostrando baja germinación. Una semilla de calidad es altamente viable, es decir, susceptible de desarrollar una plántula normal aún bajo condiciones ambientales no ideales, tales como puede ocurrir en el campo, por lo que debe tener propiedades que aseguren su germinación bajo condiciones agro-climáticas adversas (Perreti, 1994).

Thomson (1979), menciona que la calidad se determina por el genotipo de la variedad o híbrido, llamando calidad genética a las características sobresalientes del material genético superior. Las cuales son obtenidas durante la etapa de mejoramiento genético (Garay, 1989). La constitución genética de la semilla es el primer componente que interviene como un elemento diferencial en la calidad de la misma. Varios estudios han demostrado que existe correlación entre la longevidad y el componente genético de la semilla. Por lo anterior, se conoce en diferentes semillas, que la respuesta genética es variable entre especies, lotes y aun entre mismos lotes de la semilla (Moreno *et al.*, 1996; Medina, 1989; Roberts, 1981; Selvaraj y Ramaswamy, 1983), estas variaciones están determinadas tanto por su componente genético y vigor, como por las condiciones climáticas y edáficas de los sitios de crecimiento, así como por la presencia de plagas y enfermedades (Snook *et al.*, 2005).

El componente fisiológico es la suma de todas aquellas propiedades de la semilla (genética, bioquímica, citológica, química, etc.) que determinan su nivel de

actividad, y la mantienen como una unidad biológica de reproducción; es decir, una semilla o lote de semilla que sea viable y posea una alta capacidad de germinación y vigor. Siendo la semilla un insumo vivo, es importante que cuente con la capacidad de reproducir una planta, para lograr su establecimiento en campo y obtener rendimientos de forraje y/o grano (Bustamante, 1995). Por su parte, Moreno (1996) considera que la calidad fisiológica es un valor comercial por ser el principal atributo a evaluar, ya que consiste en la capacidad de la semilla para germinar y producir una plántula normal.

La calidad fisiológica implica la integridad de las estructuras y procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener altos índices de viabilidad. Los principales indicadores de la calidad fisiológica son la germinación y el vigor, que dependen del genotipo y del cuidado de su desarrollo en la producción y del manejo poscosecha (Perry, 1972; Moreno *et al.*, 1988).

Moreno (1996) define a la germinación, como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una plántula normal bajo condiciones favorables. ISTA (1996) añade que, la germinación de semillas en un ensayo de laboratorio es la emergencia y desarrollo de la plántula a un estado, donde el aspecto de sus estructuras esenciales indica si son o no capaces de desarrollarse en una planta satisfactoria, bajo condiciones favorables de suelo.

Otro atributo que actualmente se ha considerado dentro del manejo de semillas es el vigor, en 1977 la ISTA lo definió como la suma total de aquellas propiedades de la misma que determinan el nivel de actividad, y comportamiento de la semilla o lote de semillas durante la germinación, y emergencia de la plántula. Por otro lado, la AOSA en 1980 lo describió como aquellas propiedades de la misma que determinan el potencial para una rápida, uniforme emergencia y desarrollo de plántula, bajo una amplia variación de condiciones de campo (Moreno, 1996). El mismo autor menciona que, al evaluar el vigor de las semillas es de gran utilidad

para predecir el comportamiento de un lote, cuando las condiciones del medio ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas. El manual de la ISTA (1996) menciona, que las semillas muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y aquellas que presentan un pobre comportamiento son llamadas de bajo vigor.

La calidad fisiológica de una semilla resulta de la historia de la planta madre, primero la adquisición de la aptitud de producir semillas vigorosas y tolerar el secado, entonces la pérdida de vigor es un proceso de envejecimiento que empieza durante el secado de la semilla (Powell *et al.*, 1988). Para evaluar este componente de calidad, existen muchas pruebas que cuantifican su nivel de actividad, tales como: pruebas de Viabilidad (tetrazolio), pruebas de germinación estándar y pruebas de vigor (envejecimiento acelerado, prueba fría, peso seco, crecimiento de plántula, etc.) (Bustamante, 1995).

Moreno (1996) menciona que algunas de las causas de la variabilidad del vigor de las semillas son:

- Genotipo
- Medio ambiente y nutrición de la planta
- Estado de madurez en el momento de la cosecha
- Tamaño, peso y peso volumétrico
- Daño físico
- Deterioro y envejecimiento
- Patógenos

### **Influencia de la temperatura en la germinación**

Entre los factores ambientales que influyen en la germinación de una semilla y la velocidad con que ello ocurre se puede mencionar: humedad del sustrato, temperatura, luz, oxígeno, y dióxido de carbono, entre otros (Probert, 2000). De los factores antes mencionados, la humedad y temperatura son los más

determinantes en el proceso de germinación, y cuando la humedad no es limitante, la tasa y el porcentaje de germinación dependen de la temperatura (Hadas, 2004). El efecto de la temperatura sobre la germinación estaría relacionado con las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla tras su rehidratación (Rajjou *et al.*, 2012). Además, la germinación de una semilla se produce dentro de un rango determinado de temperatura (Finch-Savage, 2004).

En general las temperaturas base, óptima y máxima pueden ser muy variables entre especies e incluso entre cultivares de una misma especie (Finch-Savage, 2004). Los principales aspectos que influyen en la sensibilidad de los vegetales al frío son la especie, la edad, la historia previa y las condiciones ambientales. En general, las plántulas muy jóvenes, las semillas en germinación y las flores son las más afectadas por las bajas temperaturas, mientras que las semillas dormantes son las más resistentes (Murata,1996). La exposición de las semillas a temperaturas y humedad altas merma su capacidad germinativa, el crecimiento inicial de plántulas, la tolerancia a condiciones adversas y no uniformes en semillas, aun en un mismo lote (McDonald,1999).

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Localización del área de estudio**

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Ensayos de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas, ubicadas en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

### **Material genético**

Se evaluaron nueve genotipos provenientes de segregantes de maíz (*Zea mays* L.) con poliembrionía (NAP PE) y sin poliembrionía (NAP IND), y como testigos cinco genotipos provenientes de un segregante del híbrido comercial "CAIMAN", producidos en lotes de polinización libre, todos proporcionados por el Instituto Mexicano de Maíz- UAAAN.

Los genotipos evaluados fueron producidos en diferentes densidades y dosis de fertilización, cosechados en el ciclo Primavera-Verano del año 2015 en la localidad de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, descritos en el siguiente Cuadro 3.1; así como indican las densidades de población y dosis de fertilización utilizados para su producción.

**Cuadro 3.1 Identificación de los genotipos evaluados en el laboratorio, 2017.**

Identificación	Material genético	Identificación	Material genético
1	NAP IND <sup>1,1</sup>	8	NAP PE <sup>3,2</sup>
2	NAP IND <sup>2,3</sup>	9	NAP PE <sup>3,3</sup>
3	NAP IND <sup>3,2</sup>	10	CAIMAN <sup>1,1</sup>
4	NAP IND <sup>3,3</sup>	11	CAIMAN <sup>2,2</sup>
5	NAP PE <sup>1,1</sup>	12	CAIMAN <sup>2,3</sup>
6	NAP PE <sup>2,2</sup>	13	CAIMAN <sup>3,2</sup>
7	NAP PE <sup>2,3</sup>	14	CAIMAN <sup>3,3</sup>

Los superíndices indican: Densidad de población y dosis de fertilización (<sup>Densidad, Fertilización</sup>); Densidad: 1= 75 mil plantas ha<sup>-1</sup>, 2= 73 mil plantas ha<sup>-1</sup>, 3= 93 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Fertilización: 1= 160-80-00 NPK, 2=120-60-00 NPK, 3= 240-90-00 NPK.

### **Metodología (Etapas)**

Para el presente estudio, se partió de la producción de semilla de los diferentes genotipos (tratamientos), una vez cosechada la semilla, se sometió a una Primera Etapa de estrés: en una condición de congelación a -20 °C por dos semanas y en seguida se llevó a una temperatura ambiente de laboratorio, para su respectiva evaluación fisiológica.

Transcurrido el tiempo de dos días, nuevamente la semilla de los genotipos se sometió a una Segunda Etapa de estrés: a condición de temperatura y humedad relativa altas, a 42 ± 1°C y 96 % de HR, por un tiempo de 72 horas, esta etapa se basó en el principio de la prueba de Envejecimiento Acelerado (EA) por (AOSA, 1992), al pasar el tiempo requerido, la semilla se mantuvo a una condición de medio ambiente de laboratorio, para su evaluación fisiológica.

La metodología para llevar a cabo el EA, se realizó de acuerdo a la AOSA (1992). Colocando 100 semillas por material genético en una malla metálica de una cámara interna, soportada la malla en un cilindro de alambre inoxidable en un vaso de precipitado con 100 mL de agua destilada, cubriendo cada vaso con un plástico y sujetando con una liga de caucho. Las cámaras internas se colocaron en una cámara de envejecimiento a temperaturas de  $42^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  por 72 horas con una humedad relativa de 96 %. Transcurrido el tiempo, las semillas fueron evaluadas

### **Variables evaluadas**

Para la evaluación de la respuesta fisiológica de los tratamientos sometidos en ambas etapas se realizó mediante pruebas de capacidad de germinación y vigor. La capacidad de germinación se determinó con el porcentaje de plántulas normales, plántulas anormales, semillas sin germinar, así como el porcentaje de poliembrionía, metodologías basadas en la ISTA (2004) y AOSA (1992). El vigor, se determinó mediante las pruebas de Longitud Media de Plántula (LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y Tasa de Crecimiento de Plántula (PS). En ambas etapas se consideraron las mismas variables.

### **Capacidad de germinación (CG)**

Los materiales genéticos se sembraron entre papel "Anchor" de 38 X 25.6 cm humedecido con agua des ionizada colocando 25 semillas por repetición, enrollando para formar un "taco", teniendo cuatro repeticiones por material identificado de acuerdo a la dosis de fertilización y densidad de población, luego fueron colocados en bolsas de polietileno y llevados a una cámara germinadora Marca LAB LINE, a una temperatura de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  con 8 horas luz y 16 horas oscuridad, haciendo riegos con agua destilada según se necesitaba.

A los siete días después de la siembra se evaluó el porcentaje de las Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA), Semillas sin Germinar (SSG). En adición se evaluó el porcentaje de Poliembrionía (PEm) de cada etapa.

### **Plántulas Normales (PN)**

En el primer y segundo conteo se consideró como plántulas normales, aquellas que desarrollaron bien la primera hoja y detectando el coleóptilo lleno, con un tamaño de tres veces el tamaño de la semilla tanto de la plúmula como la radícula, registrando los datos en porcentaje.

### **Plántulas anormales (PA)**

En el primer y segundo conteo se consideraron, todas aquellas plántulas que presentaban deficiencias en el desarrollo de sus estructuras esenciales; raíces muy cortas, inferiores a tres veces el tamaño de la semilla, atrofiadas, débiles o filiformes, carentes de raíz primaria y plántulas con coleóptilo corto.

### **Semillas Sin Germinar (SSG)**

En primer y segundo conteo se consideraron semillas sin germinar, a todas aquellas semillas sin desarrollar raíz y plúmula. Debido a diferentes factores de la misma semilla, tanto de latencia e inviabilidad, reducción o poco poder germinativo, y alteraciones de sus características nutritivas provocadas por hongos, de tal manera que no muestran ningún signo de desarrollo.

### **Poliembrionía en maíz (PEm)**

En ambas pruebas, para determinar el porcentaje de poliembrionía se cuantificaron en cada una de las repeticiones de los materiales evaluados, el número de semillas que dieron origen a más de una plántula, en el séptimo día.

## **Pruebas de vigor**

### **Longitud media de plúmula (LMP)**

Para determinar la LMP se realizó conforme a Perry (1987). Sembrando 25 semillas por repetición, con el embrión hacia abajo de forma equidistante en una cinta de doble pegamento, sobre una línea media horizontal marcada en el centro de una hoja de papel "Anchor" de 38 X 25.6 cm, seguida hacia arriba de otras cinco líneas equidistantes a 2 cm, humedecido con agua desionizada realizando cuatro repeticiones de cada tratamiento.

Después de los siete días de incubación, se cuantificaron las plántulas normales (PN) descritas por el manual de la AOSA (1992), y el número de plúmulas encontradas en cada paralela (taco). El número plúmulas encontradas en cada paralela se multiplicó por el valor de la misma y se sumó el total, dividiendo la suma entre el número de semillas sembradas expresando el resultado en centímetros.

### **Longitud media de la radícula (LMR)**

Considerando las plántulas normales de la prueba anterior, se tomaron al azar 10 plántulas de cada repetición-tratamiento de cada genotipo, midiendo con una regla graduada en centímetros la longitud de la radícula más larga de la plántula.

### **Tasa de crecimiento de plántula (Peso seco, PS)**

Para determinar la tasa de crecimiento de plántulas, se utilizaron plántulas normales, resultantes de la prueba de germinación, obtenidas del segundo conteo, descartando los restos de la semilla de cada plántula y colocadas en una bolsa de papel estraza perforada, llevándolas a una estufa marca Felisa<sup>R</sup> por 24 horas a una temperatura de 65 °C. Una vez transcurrida el tiempo, se dejó enfriar a temperatura ambiente por 15 minutos, y luego se pesó en una balanza analítica marca AND GH-120 de 0.0001 g de precisión, considerando P1= peso de la bolsa + plántulas secas; P2= peso de la bolsa, y se calculó mediante diferencia del P1-P2 el peso de las plántulas secas P3. Finalmente se realizaron los cálculos para registrar los resultados de la variable en mg/plántula.

## Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó con los valores transformados, de los datos que se obtuvieron del experimento; los resultados de las variables de los materiales genéticos provenientes de segregantes fueron asignados como tratamientos, fueron establecidos y analizados con procedimientos acordes a un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete estadístico SAS Versión 9.0, (2002), siguiendo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = la i-j esima variable observada.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$T_i$  = Efecto del i-ésimo genotipo.

$E_{ij}$  = Error experimental.

$i = 1, 2, \dots, n$  genotipos.

$j = 1, 2, \dots, n$  repeticiones.

Cuando fue necesario, las medias de cada variable se compararon mediante la prueba de Tukey al nivel de significancia al 0.05 % y se realizaron contrastes ortogonales entre las medias de tratamientos. Las gráficas se realizaron en el paquete estadístico Statistica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de los materiales genéticos en la primera y segunda etapa del estudio, se describen a continuación:

### Primera etapa

#### Capacidad de germinación

El análisis de varianza obtenido de los resultados en las variables de la respuesta fisiológica (Cuadro 4.1), porcentaje de Plántulas Normales y Anormales (PN y PA) indicó diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que en la variable Semillas sin Germinar (SSG) no mostró diferencia significativa. Teniendo un Coeficiente de Variación (C.V.) de 8.85 % para la variable PN y 47.86 % en PA, marcando que al menos uno de los tratamientos tuvo diferente respuesta fisiológica en la primera etapa del estudio.

**Cuadro 4.1 Cuadrados medios y significancia de las variables en la prueba capacidad de germinación de los genotipos estudiados en la primera etapa.**

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Plántulas Normales	Plántulas Anormales	Semillas sin Germinar
Tratamientos	13	161.29*	4.12**	0.64 <sup>NS</sup>
Error Exp.	42	64.43	1.49	0.51
C.V.		8.85	47.86	65.35
R <sup>2</sup>		0.43	0.46	0.27

\*Significativo; NS= No significativo; C.V= Coeficiente de Variación;

La prueba de comparación de medias que se muestra en el Cuadro 4.2, para la variable PN, mostró diferencia entre los genotipos, formando dos grupos

estadísticos, donde los tratamientos 8, 1, 11, 14, 2, 7, 13, 4, y 6, fueron los mejores al presentar arriba del 90 % de germinación; mientras que los materiales genéticos con menor valor fueron 10, 3, 12 y 5 con valores de 86.3 a 78.7 %, indicando una baja calidad fisiológica, por lo cual no cumplen con la norma para la comercialización establecido por el SNICS (2010).

Esta baja calidad fisiológica es dada posiblemente por varios factores como la herencia, origen de la semilla, el método de producción (polinización libre), las condiciones durante el crecimiento, manejo agronómico, las condiciones de post-maduración y pre-cosecha y a las condiciones de almacenamiento como lo menciona Besnier (1989); sin embargo, sobre todo por la característica de segregante de los materiales.

Cabe mencionar que estos materiales a pesar de haber sido sometidos a temperaturas bajas (-20°C), la mayoría obtuvieron buena capacidad de germinación coincidiendo con lo estipulado por Moreno *et al.*, (2000) quien menciona que la temperatura es el factor principal que debe ser considerado en el almacenamiento de semillas, el cual demostró en un estudio realizado por el mismo autor, al almacenar semillas de maíz a temperaturas de 4, 25 y 35 °C por 210 días. La semilla almacenada a 4 °C no presentó problemas de germinación como las demás.

A pesar de ser materiales segregantes, algunos genotipos presentaron altos porcentajes de germinación, debido posiblemente a las características originales de cada genotipo, al contar con genes de longevidad fisiológica, como Delouche (1978) menciona que entre variedades y entre semillas de un mismo lote existen diferencias de capacidad para sobrevivir.

Para la variable de Plántulas anormales el resultado de la comparación de medias marcó tres grupos estadísticos, donde los materiales con menor capacidad fisiológica o más dañados por tener mayor porcentaje de PA fueron 3, 5, 10 y 12,

señalados en el mismo Cuadro 4.2; siendo los mismos materiales con menor desarrollo de plántulas normales. El siguiente grupo estadístico lo formaron los materiales 4, 6, 9, 13, 2, 14 y 1 con porcentajes menores del 9%, esto confirma que son materiales de baja calidad fisiológica, por tener porcentajes ligeramente elevado de anomalías, como lo menciona Moreno (1996) que la baja calidad de la semilla, es el resultado del deterioro de la misma dada por un aumento en las Plántulas anormales y Semillas sin germinar.

En cambio, los genotipos 8 y 11 resultaron, con el menor porcentaje de PA (1.25 y 0 %, respectivamente), siendo los mejores en la respuesta fisiológica inicial.

**Cuadro 4.2 Resultados de la comparación de medias de las variables en la prueba capacidad de germinación de los genotipos estudiados en la primera etapa.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Plántulas normales (%)</b>	<b>Plántulas anormales (%)</b>	<b>Semillas sin Germinar (%)</b>
<b>1</b>	97.5 a	2.5 ab	0 a
<b>2</b>	95 a	5 ab	0 a
<b>3</b>	81.25 ab	16.25 a	2.5 a
<b>4</b>	90 a	8.75 ab	1.25 a
<b>5</b>	78.75 ab	17.5 a	3.75 a
<b>6</b>	90 a	8.75 ab	1.25 a
<b>7</b>	93.75 a	5 ab	1.25 a
<b>8</b>	98.75 a	1.25 b	0 a
<b>9</b>	91.25 a	8.75 ab	0 a
<b>10</b>	86.25 ab	11.25 a	2.5 a
<b>11</b>	97.5 a	0 b	2.5 a
<b>12</b>	82.5 ab	15 a	2.5 a
<b>13</b>	91.25 a	8.75 ab	0 a
<b>14</b>	95 a	5 ab	0 a

Medias con diferente literal son significativamente diferentes.

En cuanto a Semillas sin germinar no se detectó diferencias significativas en los materiales estudiados, lo cual indica que estos tuvieron una respuesta similar o igual para esta variable, formando un solo grupo estadístico con valores menores

al 4%, sobre todo los genotipos con valor de cero por ciento, resultando tener una buena respuesta fisiológica esta primera etapa.

## Vigor

El análisis de varianza mostró diferencias significativas al  $Pr < 0.05$  % (Cuadro 4.3) en la variable Longitud Media de Plúmula (LMP) con un Coeficiente de Variación (C.V.) de 13.65%, mientras que en las variables Longitud Media de Radícula (LMR) y Peso Seco (PS), resultaron con diferencias altamente significativas al  $Pr < 0.01$ % con un Coeficiente de variación (C.V) de 5.26 y 9.97 % respectivamente.

**Cuadro 4.3 Cuadrados medios y significancia de las variables en las pruebas de vigor de los genotipos estudiados en la primera etapa.**

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Longitud Media de Plúmula (cm)	Longitud Media de Radícula (cm)	Peso Seco (mg/pl.)
Tratamientos	13	1.103*	2.008**	103.93**
Error Exp.	42	0.554	0.601	21.58
C.V.		13.65	5.26	9.97
R <sup>2</sup>		0.385	0.508	0.598

\*\* Altamente Significativo. \* Significativo. C.V. Coeficiente de Variación.

En la prueba de comparación de medias de la variable LMP, mostrada en el Cuadro 4.4, se formaron dos grupos estadísticos, ubicando a los genotipos 1 y 13 en el primer grupo estadístico, por obtener valores promedio de 6.59 y 6.01 cm/semilla, seguido por el resto de los materiales quienes formaron el segundo grupo con valores menores de 5.8 cm/semilla. Sin embargo, los genotipos estudiados no presentaron buen vigor en esta variable, debido a que no cumplen con lo establecido por Perry (1987), al mencionar que alto vigor de una semilla se presenta al obtener un valor de 13 cm/semilla en la prueba de LMP; y aun en

valores superiores de 15 a 17 cm en materiales híbridos como lo menciona Torres (2004).

**Cuadro 4.4 Resultados de la comparación de medias de las variables de las pruebas de vigor de los genotipos estudiados en la primera etapa.**

Tratamiento	Longitud Media de Plúmula(cm)	Longitud Media de Radícula (cm)	Peso Seco (mg/pl)
1	6.59 a	16.04 a	54.99 a
2	4.80 ab	14.06 b	42.94 c
3	5.25 ab	15.25 b	48.87 b
4	5.56 ab	13.68 c	43.58 c
5	4.82 ab	14.85 b	39.06 c
6	4.68 ab	13.81 c	36.76 c
7	4.94 ab	15.28 b	45.87 c
8	5.59 ab	14.26 b	51.38 a
9	5.10 ab	15.82 a	44.35 c
10	5.80 ab	14.93 b	48.87 b
11	5.49 ab	14.46 b	47.72 b
12	5.56 ab	14.94 b	49.80 b
13	6.01 a	14.43 b	50.82 a
14	5.37 ab	14.32 b	48.40 b

Medias con diferente literal son significativamente diferentes.

Este bajo vigor, pudiera atribuirse a los genotipos evaluados debido a que son recombinantes de segregantes maíz con y sin poliembrionia, siendo tal vez que al pasar por varios ciclos de selección, hay una reducción en la variabilidad lo cual conlleva consecuencias tales como; la baja germinación y vigor como lo menciona Molina (1996).

Con los resultados de la prueba de comparación de medias para la variable LMR, mostrados en el mismo Cuadro 4.4, se pudo observar que se tuvieron tres grupos estadísticos, destacando los genotipos 1 y 9 con las mayores longitudes de raíz de 16.04 y 15.82 cm/plántula, seguidos por los genotipos 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13 y 14 con longitudes de 14 a 15 cm/plántula.

Mientras los genotipos 4 y 6, resultaron con los valores más bajos de 13.68 y 13.81 cm/plántula, marcando bajo vigor en comparación del resto, pudiera indicar una menor eficiencia fisiológica y bioquímica, como lo define la ISTA (2004), que el bajo vigor es tener poco potencial de actividad y funcionamiento de una semilla durante su germinación; así como plántulas capaces de emerger pero incapaces de seguir creciendo, como menciona Flores (2004).

En el mismo Cuadro 4.4, se observa que para la variable Peso seco, los genotipos formaron tres grupos estadísticos, siendo los genotipos 1, 8 y el testigo 13 con valores de 54.99, 51.38 y 50.82 mg/plántula siendo los más altos, esto se pudiera atribuirse a la variabilidad genética que posee cada genotipo en adaptarse a las condiciones que son expuestas para el desarrollo de sus estructuras, reflejado en la ganancia de materia seca, amortiguando algunos efectos ambientales, dado como lo mencionan Namkoong (1997) y Boshier & Amaral (2004).

Es de mencionar el genotipo 8 (NAP PE<sup>2,1</sup>), presentó poliembrionia en su germoplasma emergiendo doble plúmula reflejando un buen contenido de nutrientes, y por lo tanto mayor peso seco como lo describe Espinoza *et al.*, (1999).

En el segundo grupo estadístico se encontraron el genotipo 3 y los testigos 10, 11, 12 y 14 con peso de 47.72 a 49.80 mg/plántula, provenientes de la población segregante del híbrido comercial Caimán mostrando buen comportamiento en el desarrollo de sus estructuras, a pesar de que fueron materiales segregantes, aún permanecieron con calidad en sus semillas producidas, ya que para ser comercializada como híbridos o variedades, requieren tener niveles de calidad altos (mayor de 95%) señalados por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.

En cambio, los genotipos 2, 4, 5, 6, 7, 9 provenientes de una población de segregantes poliembriónicos NAP IND y NAP PE, formaron el tercer grupo con valores de 42.94 a 45.87 mg/plántula.

A pesar de que los genotipos provienen de germoplasma poliembriónico de alto contenido de aceite, estos no manifestaron su característica poliembriónica por varios factores abióticos como el frío al que fue sometido, originando alteraciones en la composición de ácidos grasos, fluidez de membranas celulares y su tasa de actividad metabólica de la semilla (Nishida y Murata, 1996), o por efectos genéticos (deriva genético), lo cual no contribuyó en la ganancia de peso, coincidiendo con los resultados de Mora (2011), donde se encontró que los materiales poliembriónicos con alto contenido de aceite, no tienen suficiente calidad en la producción de materia seca, y probablemente se deba al bajo vigor que presentaron.

## **Segunda Etapa**

### **Capacidad de germinación**

En los resultados del análisis de varianza de la capacidad de germinación después del envejecimiento acelerado, se observó que para la variable Plántulas Anormales se tuvo una diferencia significativa al  $P < 0.05\%$  entre los tratamientos (Cuadro 4.5).

Teniendo un Coeficiente de Variación (C.V.) de 48.42 %, indicando que al menos de genotipos presentó una respuesta diferente de anomalías; asimismo, en las variables Plántulas Normales y Semillas sin Germinar no se encontraron diferencias significativas entre los genotipos estudiados.

**Cuadro 4.5 Cuadrados medios y significancia de las variables en la prueba capacidad de germinación de los genotipos estudiados en la segunda etapa.**

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Plántulas Normales</b>	<b>Plántulas Anormales</b>	<b>Semilla Sin Germinar</b>
<b>Tratamientos</b>	13	25.95 <sup>NS</sup>	1.53*	0.98 <sup>NS</sup>
<b>Error Exp.</b>	42	233.14	0.707	0.71
<b>C.V</b>		5.1	48.42	58.37
<b>R<sup>2</sup></b>		0.25	0.40	0.31

\*Significativo. NS= No significativo. C.V= Coeficiente de Variación.

Los resultados de la prueba de comparación de medias para la variable Plántulas Anormales (Cuadro 4.6), formaron dos grupos estadísticos, marcando en el primer grupo estadístico a los genotipos más afectados 4 y 13 con 7 y 9 %, indicando que al ser sometidos a temperaturas altas, sufrieron un tipo de estrés, afectando la geminación causando anomalías en las plántulas y por consecuencia bajando su calidad, expresando una influencia negativa por el ambiente, coincidiendo con Besnier (1989), quien menciona que las plántulas emergidas no se desarrollan satisfactoriamente por sus cuestiones morfológicas, provocando plántulas incapaces de vegetar adecuadamente; sin embargo, se tiene la posibilidad de que estos genotipos necesiten más días para su desarrollo, como lo menciona Ramírez (2010).

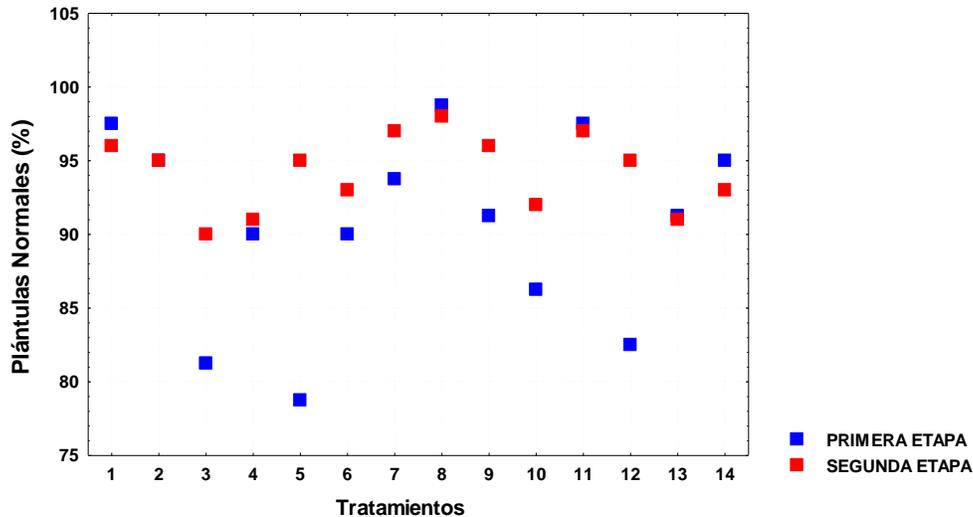
En el Segundo grupo estadístico, se encontraron el resto de los materiales, obteniendo un porcentaje mínimo en el desarrollo de plántulas anormales.

**Cuadro 4.6 Resultados de la comparación de medias de las variables en la prueba capacidad de germinación de los genotipos estudiados en la segunda etapa.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Plántulas normales (%)</b>	<b>Plántulas anormales (%)</b>	<b>Semillas sin Germinar (%)</b>
<b>1</b>	96 a	2 b	2 a
<b>2</b>	95 a	5 b	0 a
<b>3</b>	90 a	5 b	5 a
<b>4</b>	91 a	7 a	2 a
<b>5</b>	95 a	2 b	3 a
<b>6</b>	93 a	1 b	6 a
<b>7</b>	97 a	1 b	2 a
<b>8</b>	98 a	1 b	1 a
<b>9</b>	96 a	1 b	3 a
<b>10</b>	92 a	4 b	4 a
<b>11</b>	97 a	2 b	1 a
<b>12</b>	95 a	3 b	2 a
<b>13</b>	91 a	9 a	0 a
<b>14</b>	93 a	5 b	2 a

Medias con diferente literal son significativamente diferentes.

La respuesta de la capacidad de germinación entre las dos etapas, a pesar de que los resultados del análisis de varianza no marcaron diferencias entre los tratamientos estudiados en esta segunda etapa, al hacer una comparación entre las dos etapas, se encontró que los genotipos 1, 2, 8, 11 y 14, mantiene igual o menor su porcentaje de germinación en la segunda etapa, mientras que el resto de los materiales sucede lo contrario, muy marcados en los genotipos 3, 5, 10 y 12 superando el porcentaje de desarrollo PN en la segunda etapa. (Figura 4.1)



**Figura 4.1** Respuesta de la variable Plántulas Normales en la prueba de capacidad de germinación de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura.

Es de mencionar que la media general entre los genotipos para esta variable aumentó 3.61 % (90.6% a 94.21 %) con respecto a la capacidad de germinación inicial, logrando observar que a temperaturas altas, favoreció el desarrollo germinativo de las semillas, debido probablemente al propio efecto de la temperatura sobre la germinación, al activarse enzimas que regulan la velocidad de las reacciones químicas que ocurre en la semilla tras su rehidratación (Rajjou *et al.* , 2012), así como el hecho de que el origen de estos materiales es netamente de clima cálido.

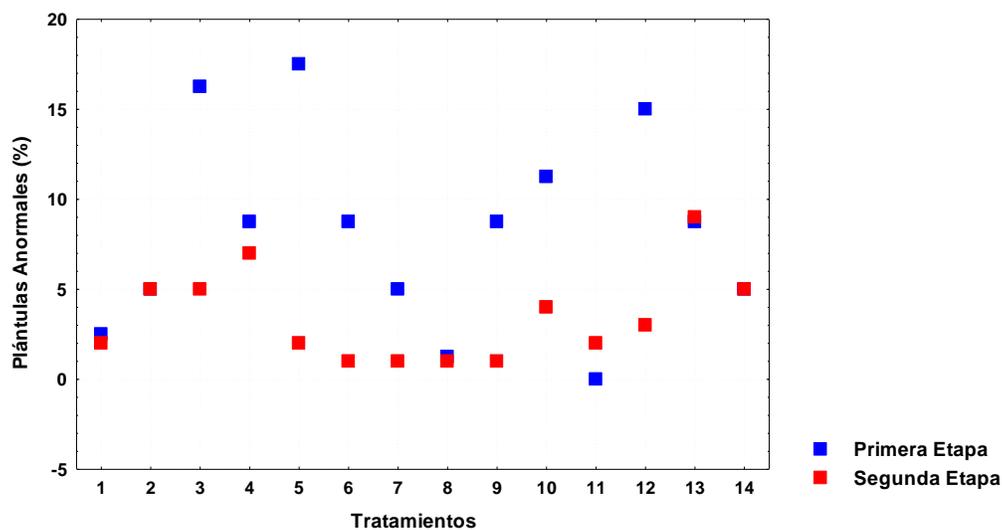
Las respuestas positivas en la capacidad de germinación de los genotipos al aumento de la temperatura, puede estar relacionada con lo señalado por Carvalho y Nakagawa (2000), que a temperaturas elevadas, la velocidad de absorción de agua y de las reacciones químicas es mayor y las semillas germinan más rápido.

De lo contrario, a temperaturas bajas las semillas pueden verse afectadas en su proceso metabólico e incluso dañarlas irreparablemente, y por lo tanto no se evidencia crecimiento del embrión según lo menciona Butler *et. al.* (2014), es por ello, que en la primera etapa (a -20°C) algunos de los materiales genéticos

presentaron una germinación poco menor que una vez que fueron sometidos a altas temperaturas.

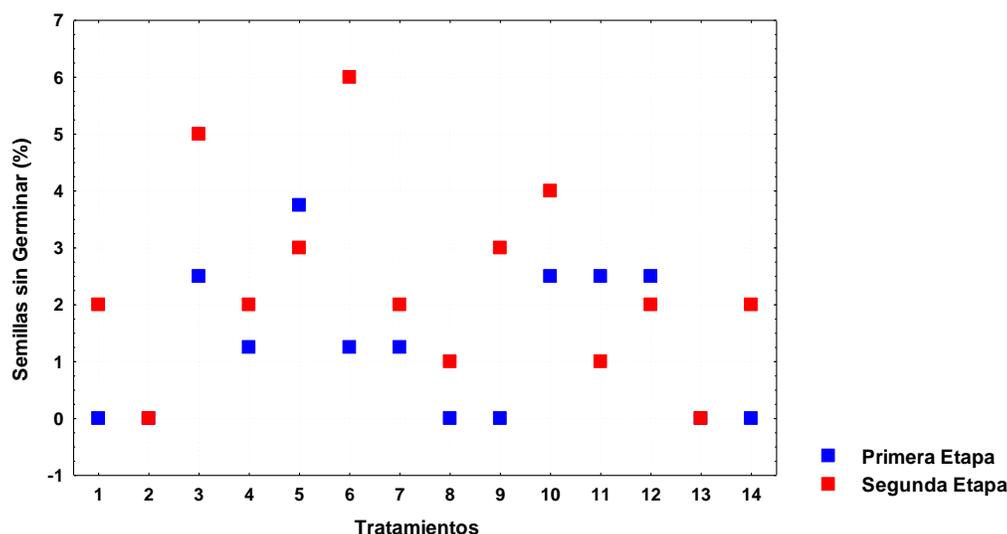
Mientras que el comportamiento de la variable plántulas anormales de los genotipos en las dos etapas (Figura 4.2); a pesar de que los resultados del análisis de varianza marcaron diferencias entre los tratamientos estudiados en esta segunda etapa, al hacer una comparación entre las dos etapas, se encontró que la mayoría de los genotipos, obtuvieron porcentajes menores del 5 % de PA en la segunda etapa, muy marcadas en los genotipos 3, 5 y 12 por disminuir su porcentaje para esta variable, mientras que los genotipos 1, 2, 8, 11, 13 y 14 mantuvieron los mismos comportamientos en las diferentes pruebas.

En general, el comportamiento de los genotipos para esta variable disminuyó 4.7 % (8.12 % a 3.45 %) con respecto a la capacidad de germinación inicial como muestra la Figura 4.2, logrando observar que a temperaturas altas, favoreció el desarrollo germinativo de las semillas, y disminuyendo el desarrollo de PA.



**Figura 4.2** Respuesta de la variable Plántulas Anormales en la prueba de capacidad de germinación de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura.

Los resultados del análisis de varianza no marcaron diferencias entre los tratamientos estudiados en esta segunda etapa en la variable Semillas sin Germinar (Figura 4.3); pero, al hacer una comparación entre las dos etapas, se encontró que la mayoría de los genotipos, aumentó hasta el 6 % de SSG en la segunda etapa, muy marcadas en los genotipos, 3 y 6 por elevar su porcentaje para esta variable, mientras que los genotipos 2 y 13 mantuvieron los mismos comportamientos en las diferentes pruebas.



**Figura 4.3** Respuesta de la variable Semillas sin Germinar en la prueba de capacidad de germinación de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura.

### Vigor

En el siguiente Cuadro 4.7, se puede observar los resultados del análisis de varianza para la variable Longitud Media de Plúmula después del envejecimiento acelerado (LMPEA), mostrando diferencias significativas al  $Pr < 0.05$  %, con un C.V. de 11.2 %, mientras que para la variable Peso Seco después del envejecimiento acelerado (PSEA), se encontró diferencias altamente significativas al  $Pr < 0.01$  %, con C.V. de 7.59 %, por su parte la variable Longitud Media de Radícula no mostró significancia entre los genotipos estudiados.

**Cuadro 4.7 Cuadrados medios y significancia de las variables en las pruebas de vigor de los genotipos estudiados en la segunda etapa.**

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Longitud Media de Plúmula (cm)</b>	<b>Longitud Media de Radícula (cm)</b>	<b>Peso Seco (mg)</b>
<b>Tratamientos</b>	13	2.291*	2.50 <sup>NS</sup>	276.97**
<b>Error</b>	42	0.941	2.45	27.62
<b>C.V</b>		11.2	9.33	7.59
<b>R<sup>2</sup></b>		0.429	0.24	0.756

\*\* Altamente Significativo. \* Significativo NS: No significativo. C.V: Coeficiente de Variación.

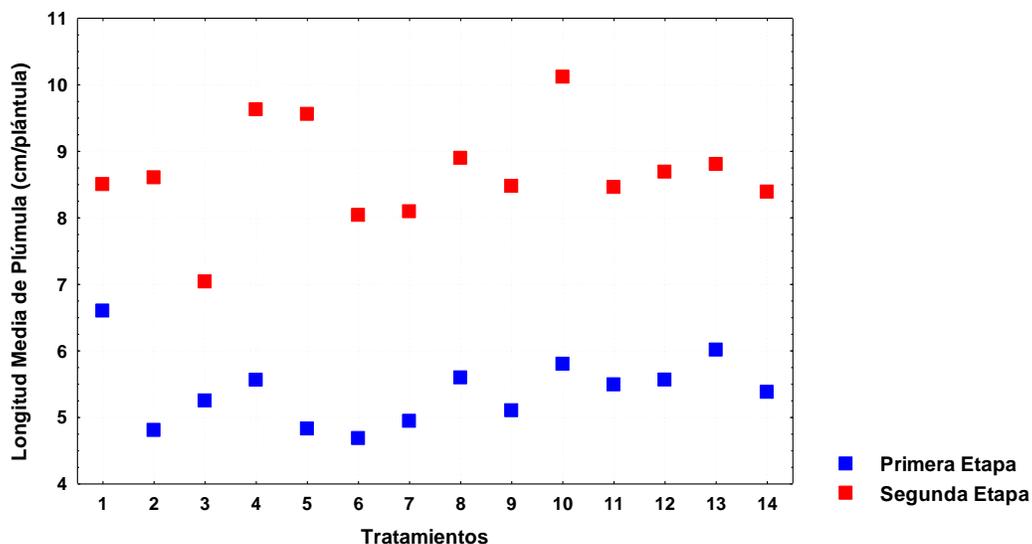
Los resultados de la prueba de comparación de medias de la variable de LMPEA, señalados en el Cuadro 4.8, indican que se formaron dos grupos estadísticos donde los genotipos 4, 5 y 10 obtuvieron 9.62, 9.55 y 10.11 cm de longitud respectivamente, considerados con mayor vigor por encontrarse en el primer grupo estadístico, seguido por el resto de los genotipos formando el segundo grupo con valores de 7.03 a 8.89 cm de longitud, siendo los genotipos con menor vigor.

Cabe señalar, que de manera general, los genotipos en la segunda etapa mostraron un mejor desarrollo de esta estructura (plúmula), debido a que en la primera etapa obtuvieron longitudes menores a 6.6 cm, incrementando 3.6 cm de manera general durante la segunda etapa en esta prueba (Figura 4.4), mostrando que a temperaturas elevadas como fue durante el envejecimiento acelerado, le favoreció la elongación de tejido en las plántulas, coincidiendo con Mora (2011) al obtener genotipos de maíz con poliembrionia favorecidos en su desarrollo de la plúmula después de haber sido sometidos a envejecimiento acelerado con temperaturas de  $42 \pm 1^\circ\text{C}$ .

**Cuadro 4.8 Resultados de la comparación de medias en la prueba de vigor Longitud Media de Plúmula en los genotipos estudiados en la segunda etapa.**

Tratamiento	Longitud Media de Plúmula (cm)
1	8.5 ab
2	8.6 ab
3	7.03 b
4	9.62 a
5	9.55 a
6	8.03 ab
7	8.09 ab
8	8.89 ab
9	8.47 ab
10	10.11 a
11	8.45 ab
12	8.68 ab
13	8.80 ab
14	8.38 ab

Medias con diferente literal son significativamente diferentes

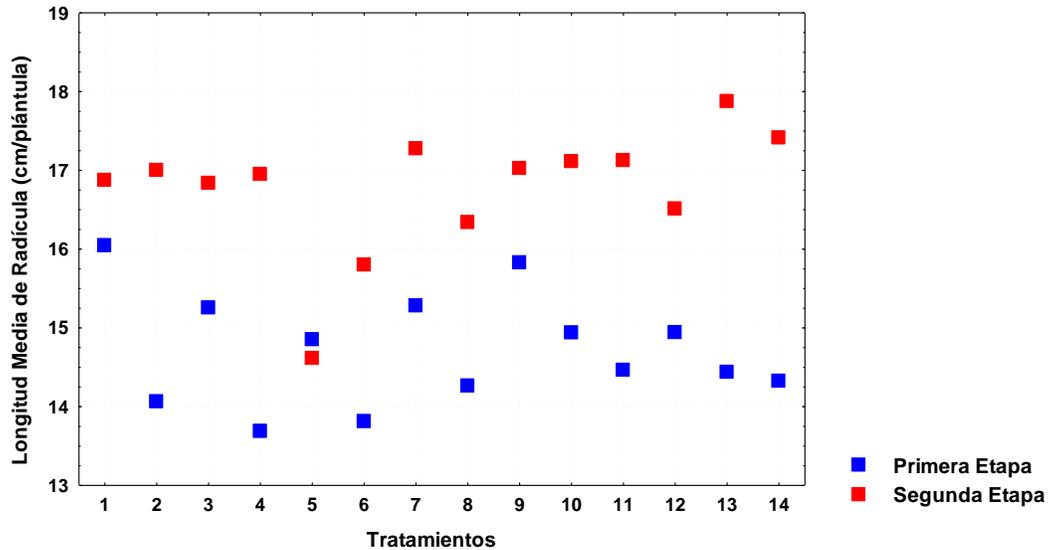


**Figura 4. 4 Respuesta de la variable Longitud Media de Plúmula en la prueba de vigor de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura.**

Estos resultados obtenidos se le podrían atribuir a la gran variabilidad genética que poseen los genotipos de responder a los diferentes ambientes (Amaral, 2004); sin embargo, Villegas (1996), menciona que las semillas con densidades específicas altas le confieren a la plúmula, sustancias en mayor calidad y/o en cantidad, con lo que alcanza un mayor crecimiento en longitud, lo cual permite que la plúmula logre emerger con mayor facilidad y rapidez que las plúmulas provenientes de semillas de densidad específica bajas.

Por otra parte, este fenómeno indica que el proceso de germinación y desarrollo de las plántulas, como en todo los procesos fisiológicos estaban siendo afectados por la baja temperatura que fueron sometidos, afectando principalmente la actividad enzimática necesaria para la degradación de las sustancias de reservas, como lo menciona Olivares *et al* (1990). Sin embargo, la germinación y el desarrollo de las estructuras de las plántulas se recuperaron cuando los materiales genéticos fueron sometidos a  $42 \pm 1$  °C por 72 horas, lo que podría indicar la tolerancia a bajas temperaturas en los genotipos estudiados.

Como ya se explicó, los resultados del análisis de varianza no marcaron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados en esta segunda etapa en la variable Longitud Media de Radícula (LMR), sin embargo, al hacer una comparación entre las dos etapas, se encontró que la mayoría de los genotipos, aumentaron el desarrollo de esta estructura en la segunda etapa. De acuerdo a la media general encontrada, la longitud de raíz en los materiales estudiados de ambas etapas aumentó en promedio hasta 2.04 cm de longitud, como se muestra en la Figura 4.4.



**Figura 4.5** Respuesta de la variable Longitud Media de Radícula en la prueba de vigor de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura.

En la prueba de comparación de medias para la variable Peso Seco de las plántulas después del envejecimiento acelerado derivó cuatro grupos estadísticos mostrado en el Cuadro 4.9, donde el genotipo 10 con 85.85 mg/plántula fue el de mayor vigor por obtener mayor acumulación de materia seca en su estructura.

Seguidos los genotipos 4, 8, 9, 12, 13 y 14, en el segundo grupo estadístico por haber obtenido en la acumulación de peso seco los valores de 73.48 al 75.61 mg/plántula como se indica en el mismo Cuadro 4.9, por otra parte los genotipos 1, 2, 3, 7 y 11 con valores de 60.17 a 67.81 mg/plántula formaron el tercer grupo, mientras que los genotipos 5 y 6 mostraron bajo vigor por encontrarse en el último grupo obteniendo valores de 57.35 y 54.54 mg/plántula respectivamente en esta prueba.

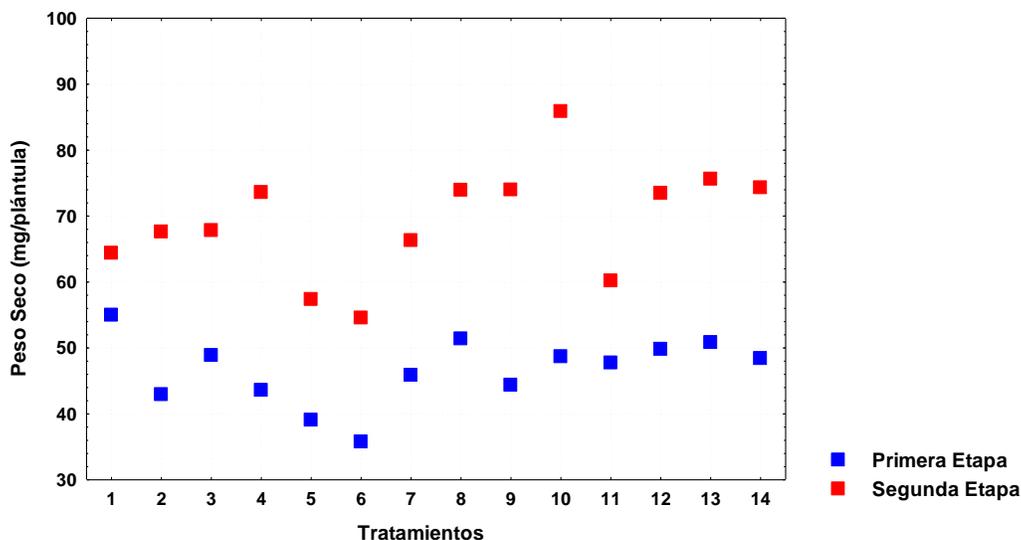
**Cuadro 4.9 Resultados de la comparación de medias en la prueba de vigor Peso Seco en los genotipos estudiados en la segunda etapa.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Peso Seco (mg/pl)</b>
<b>1</b>	64.37 bc
<b>2</b>	67.59 bc
<b>3</b>	67.81 bc
<b>4</b>	73.59 ab
<b>5</b>	57.35 cd
<b>6</b>	54.54 cd
<b>7</b>	66.29 bc
<b>8</b>	73.93 ab
<b>9</b>	73.98 ab
<b>10</b>	85.85 a
<b>11</b>	60.17 cd
<b>12</b>	73.48 ab
<b>13</b>	75.61 ab
<b>14</b>	74.3 ab

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS al 0.05% de probabilidad)

Asimismo, en general los genotipos estudiados mostraron respuestas favorables al ser sometidos a temperaturas altas durante el envejecimiento acelerado reflejado en la acumulación de materia seca final, con respecto a la ganancia de peso inicial, coincidiendo con Villegas (1996), quien menciona que las plántulas más eficientes son aquellas que logran acumular mayor materia seca en el menor tiempo.

Como ya se mencionó anteriormente, en los resultados del análisis de varianza en la variable PS, existieron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados en esta segunda etapa, al hacer una comparación de promedios de respuesta entre las dos etapas, se encontró que la mayoría de los genotipos aumentaron el desarrollo de esta estructura en la segunda etapa, siendo muy marcado en el genotipo 10, al mostrar que se casi se duplicó la acumulación de materia seca, como se muestra en la Figura 4.6, lo que se puede mencionar que la media general entre las dos etapas aumentó hasta 22 mg/plántula (47 mg a 69 mg/plántula), después del envejecimiento acelerado.



**Figura 4.6 Respuesta de la variable Tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco) en la prueba de vigor de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura.**

Es probable que las condiciones de envejecimiento acelerado con calor húmedo favoreció el funcionamiento de los eventos metabólicos implicados en la germinación, lo que puede indicar que la estimulación de brotes es un suceso físico promovido por la rehidratación de los tejidos seminales como lo mencionan Bewley y Black (1994).

Además, las características de estos materiales genéticos y las modificaciones del ambiente (condiciones de estrés), posiblemente muestren tolerancia y provoque que el vigor de la semilla se exprese en producir la plántula y por ende acumulación materia seca, aún en estos factores ambientales, como lo menciona Perry (1973).

## Correlación de las variables evaluadas entre las dos etapas

En el Cuadro 4.10, muestra los coeficientes de correlación de la variable Plántulas Normales de la primera etapa a  $-20^{\circ}\text{C}$ , que tuvo una correlación significativa ( $p \leq 0.05\%$ ) de manera negativa con las variables PA ( $r = -0.99$ ), SSG ( $r = -0.74$ ) en la misma etapa, así como en SSG ( $r = 0.53$ ) de la segunda etapa, pero obtuvo una relación positiva con la variable PN de la segunda etapa ( $r = 0.50$ ); estas relaciones se esperaban, debido relación que presentan entre si estas variables en la prueba de capacidad de germinación, pues al incrementar el porcentaje de plántulas normales, se afecta el porcentaje de plántulas anormales y semillas sin germinar, lo que permitió detectar a los genotipos que resultaron tolerantes a las condiciones de estrés del este estudio, cuando los valores de plántulas normales se encontraban en mayor porcentaje.

Además, el análisis de correlaciones logró identificar que la variable Plántulas Anormales presentó una relación significativa y positiva con la variable de Semillas sin Germinar SSG ( $r = 0.63$ ), marcando que cuando aumenta el porcentaje de una, es probable que aumente también la otra, lo que permitió detectar con ambas los materiales que son susceptibles a las condiciones de estrés del este estudio.

**Cuadro 4.10 Correlaciones entre variables de capacidad de germinación en las condiciones de temperatura.**

	Variables	Primera Etapa ( $-20^{\circ}\text{C}$ )			Segunda Etapa ( $42^{\circ}\text{C}$ )		
		PN	PA	SSG	PN	PA	SSG
Primera Etapa ( $-10^{\circ}\text{C}$ )	PN	1.00	<b>-0.99*</b>	<b>-0.74*</b>	0.50*	-0.014	<b>-0.53*</b>
	PA		1.00	0.63*	<b>-0.054*</b>	0.20	0.51*
	SSG			1.00	-0.15	-0.15	0.43
Segunda Etapa ( $42^{\circ}\text{C}$ )	PN				1.00	<b>-0.76*</b>	-0.37
	PA					1.00	-0.32
	SSG						1.00

\*Nivel de significancia al  $p \leq 0.05\%$ ; PN= Plántulas Normales, PA= Plántulas Anormales, SSG= Semillas sin Germinar.

En el caso de las pruebas de vigor, el análisis de correlación indicó que para la variable Longitud Media de Plúmula de la primera etapa, existió una relación significativa ( $p \leq 0.05\%$ ) y positiva con la variable Peso seco ( $r=0.85$ ) en la primera etapa del estudio, como se muestra en el Cuadro 4.11.

**Cuadro 4.11 Correlaciones entre variables de capacidad de germinación en las condiciones de temperatura.**

		Primera Etapa (-20°C)			Segunda Etapa (42°C)		
		LMP	LMR	PS	LMP	LMR	PS
Primera Etapa (-10°C)	LMP	1.00	0.32	0.85*	0.23	0.43	0.43
	LMR		1.00	0.44	-0.22	0.08	0.07
	PS			1.00	-0.06	0.56*	0.52*
Segunda Etapa (42°C)	LMP				1.00	-0.17	0.41
	LMR					1.00	0.57
	PS						1.00

\*Nivel de significancia al  $p \leq 0.05\%$ ; LMP: Longitud media de plúmula, LMR: Longitud media de radícula, PS: Peso seco.

Estos resultados, señalan que al aumentar la longitud media de plúmula hay un incremento en la acumulación de materia seca de la plántula, reflejando mayor disponibilidad de reservas y por consecuencia mayor vigor, lo cual si los genotipos tuvieron mayor longitud de plúmula por ende su peso seco también sería mayor como se detectaron los genotipos 1, 8 y 13. Lo que coincide con Aristazabal y Álvarez (2006), que cuando existe mayor longitud de plúmula, es posible que el peso seco aumente, debido a la composición genética particular de cada uno de los genotipos; y también coincide con Hernández, (2012), quienes encontraron relación directa entre la longitud de plúmula y peso seco en algodón.

Por su parte, la correlación resultante para la variable Peso Seco de la primera etapa, fue significativa y positiva con la variable Longitud Media de Raíz ( $r=0.56$ ) y con Pesos Seco ( $r=0.57$ ), ambas de la segunda etapa; lo que significa que la tendencia del desarrollo de longitud de raíz en la plántula de los genotipos, también dió por consecuencia mayor acumulación de materia seca en la plántula,

lo que nos permite reafirmar la característica de vigor de la semilla de los genotipos 1, 8 y 13, resultantes con el mejor vigor.

### Contrastes ortogonales

Se realizó un análisis de contrastes ortogonales entre grupos de tratamientos contrastantes con el objetivo de determinar diferencias estadísticas entre los mismos. Se encontró que al comparar los genotipos 1, 2, 3 y 4 procedentes de una población NAP IND vs los genotipos 5, 7, 8 y 9 procedentes de una población Poliembriónico (NAP PE) existieron diferencias significativas ( $P < 0.05\%$ ) en las variables PNEA y PAEA (Cuadro 4.13), observándose una respuesta positiva en la capacidad de germinación después del envejecimiento acelerado por el grupo de Poliembriónicos, siendo superior a la población individual en el desarrollo de plántulas normales y obteniendo menor porcentaje en plántulas anormales 1.14 % y 2.06 %, respectivamente.

**Cuadro 4.12 Resultados de la comparación de contrastes en NAP IND vs NAP PE.**

Variables	Significancia	( $\bar{X}$ ) NAP IND (%)	( $\bar{X}$ ) NAP PE (%)
Plántulas Normales	4.24*	96.5	98.42
Plántulas Anormales	9.43**	2.06	1.14

\* Significativo. \*\*Altamente significativo.  $\bar{X}$ : Promedio.

Asimismo, al comparar los genotipos 5, 7, 8 y 9 procedentes de una población Poliembriónico (NAP PE) vs los genotipos 10, 12, 13 y 14 procedentes de CAIMÁN, se observó diferencias significativas ( $P < 0.05\%$ ) en las variables de vigor LMP y PS (Cuadro 4.13), sobresaliendo en su vigor la población comercial (CAIMÁN), indicando que a estos materiales no se vieron afectados por las temperaturas de congelación, como lo fue con la población de Poliembriónico (NAP PE), reafirmando la calidad fisiológica que poseen los materiales liberados por las empresas semilleras. Sin embargo, se logró observar que las altas

temperaturas si le afecta a Caimán, al comparar estos tratamientos después del envejecimiento acelerado, la población NAP PE obtuvo mayor valor de respuesta en la capacidad de germinación, y en el porcentaje de plántulas normales, superando al testigo comercial (CAIMAN). Sin embargo, es superado en su vigor por la población comercial.

**Cuadro 4.13 Resultados de la comparación de contrastes en NAP PE vs Caimán.**

	Variables	Significancia	( $\bar{X}$ ) NAP PE	( $\bar{X}$ ) CAIMAN
<b>Primera etapa (-20°C)</b>	LMP	4.81*	5.11cm	5.69 cm
	PS	6.7*	45.16 mg/pl.	49.42 mg/pl.
	PNEA	4.7*	98.42 (%)	96.45 (%)
<b>Segunda etapa (42°)</b>	PAEA	14.3**	1.14 (%)	2.24 (%)
	PSEA	25.7**	67.88 mg/pl.	77.31 mg/pl.

\* Significativo. \*\*Altamente significativo.  $\bar{X}$ : Promedio. LMP: Longitud media de plúmula. PS: Peso seco. PNEA: Plántulas normales después de envejecimiento acelerado. PAEA: Plántulas anormales después de envejecimiento acelerado. PSEA: Peso seco después del envejecimiento acelerado.

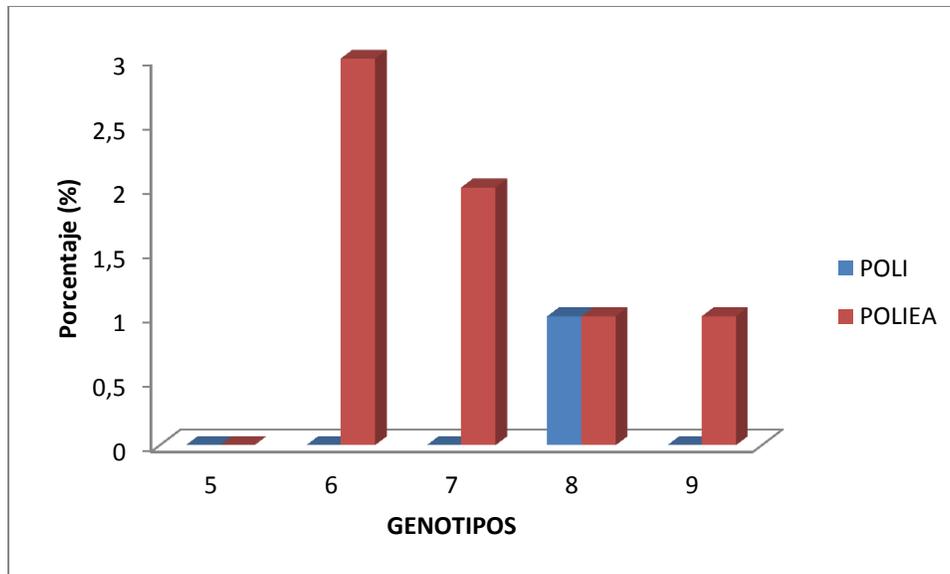
Así mismo, se encontró que en el análisis de contrastes ortogonales el genotipo 3 (NAP IND<sup>3, 2</sup>) vs genotipo 4 (NAP IND<sup>3, 3</sup>) tuvieron una diferencia significativa al  $p < 0.05$  % y  $p < 0.01$ % respectivamente en la variable de vigor LMR y LMPEA, donde la densidad de población es la misma en ambos genotipos (93, 000 plantas ha<sup>-1</sup>), pero la diferencia está dada por la dosis de fertilización, donde a una dosis menor (120-60-00), se obtiene menor vigor en la producción de raíz en la plántula, que a una dosis alta (240-90-00). Sin embargo, en el mismo contraste después del envejecimiento acelerado se encontró que el desarrollo de la longitud de plúmula aumentó cuando la planta madre estuvo expuesta a una dosis de fertilización alta (240-90-00).

En otro contraste ortogonal, entre el genotipo 6 (NAP PE <sup>2,2</sup>) vs genotipo 9 (NAP PE <sup>3,3</sup>), se encontró diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$  %) en las variables de LMR y PSEA en su vigor, respondiendo positivamente en el desarrollo radicular de las plántulas a una densidad de 93 mil plantas ha<sup>-1</sup> y fertilización de 240-90-00, observando que el genotipo poliembriónico responde a altas densidades y fertilización, sin que se vea afectado su calidad fisiológica en la semilla, una vez que fue sometida a temperaturas de congelación; así como, después del envejecimiento acelerado, al encontrar en las variables de vigor muestra una respuesta positiva en el mismo sistema de producción (alta densidad y fertilización).

### **Porcentaje de Poliembriónía**

El porcentaje de Poliembriónía en los materiales genéticos fue bajo, debido a que se generaron en lotes de polinización abierta (PL), por lo tanto hubo mucha recombinación genética entre los materiales, provocando la penetración incompleta en la expresión de la poliembriónía, o por el tipo de herencia del carácter PEm, que es de dos loci una interacción epistática doble recesiva (Rebolloza *et al.*, 2011).

Sin embargo, al comparar las condiciones a las que fue sometida la semillas de los genotipos, se logró detectar que la característica de poliembriónía se vio afectada en la temperatura de -20°C, ya que suprimió su manifestación, posiblemente se debió a las alteraciones que la temperatura causó en la composición de ácidos grasos, fluidez de membranas celulares y su tasa de actividad metabólica de la semilla como menciona Nishida y Murata (1996), que causan las bajas temperaturas en la semilla, y puede haber afectado el embrión como lo menciona Frusato *et al.*, (1957) (citado por Gutiérrez, 2014).



**Figura 4.7** Respuesta de la variable Poliembrionía en la prueba de vigor de los genotipos estudiados en las condiciones baja y alta temperatura.

Mientras que en una condición de alta temperatura, favoreció la característica poliembriónica en aquellos materiales genéticos que se derivan de poliembriónicos, por ejemplo los genotipos 6, 7 y 9, no llegaron a presentar porcentajes de poliembriónia a una condición baja de temperatura (-20°C), pero al ser sometidos a una temperatura de 42°C por 96 horas, se manifestó la poliembriónia de 3 % en el genotipo 6; 2 % en el genotipo 7; y 1% el genotipo 9; mientras en el genotipo 8 se mantuvo la característica de 1 % de Pem.

## CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados y resultados que se obtuvieron en el presente estudio, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Los materiales segregantes de maíz con y sin poliembrionia de alto contenido de aceite del estudio, obtuvieron respuestas fisiológicas diferentes, al ser sometidos a las dos condiciones de temperatura, marcando una mejor respuesta en su capacidad de germinación y vigor al ser sometidos a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  y luego a  $42^{\circ}\text{C}$ , además de ser favorable para expresar la característica poliembriónica.
- Los materiales genéticos segregantes de maíz estudiados al ser sometidos a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$ , tuvieron una respuesta fisiológica diferente, sobresaliendo los genotipos 1, 8 y 11 con mayor porcentaje de capacidad de germinación, lo que pueden posiblemente considerarse como materiales tolerantes a bajas temperaturas, a diferencia de los genotipos 5 y 3 que presentaron altos porcentajes de plántulas anormales y semillas sin germinar y siendo los más susceptibles a estas condiciones.
- Se observó correlación entre vigor y variables evaluadas como la longitud media de plúmula, longitud media de radícula en la acumulación de su peso seco.
- La población de los genotipos NAP PE muestran mejor respuesta en la capacidad de germinación, sin embargo en la prueba de vigor no superan a la población comercial "Caimán".
- La población comercial (caimán) mostró respuesta positiva en el desarrollo de sus estructuras al ser producido a una densidad alta  $93 \text{ mil plantas ha}^{-1}$  a una dosis de fertilización alta (240-90-00) esto reafirma que los materiales generados por las empresas semilleras están diseñados para tolerar las altas densidades de población habiendo una correlación entre la dosis de fertilización.

## LITERATURA CITADA

- Alcalá R. J. S.G. 2016. Selección de genotipos de maíz poliembriónico por sus aptitudes poliembriónicas. Tesis de maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México p.7.10
- Andrio E. E., Castellanos A. S., Covarrubias J.P. 2012. Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos en maíz. Revista mexicana de ciencias agrícolas. Mex. Vol.3 (4):633-641
- Antuna, GO, Rincón F, Gutiérrez E, Ruíz NA, Bustamante L. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. UAAAN. México.
- Arias MD y Sánchez JJG. 1997. Universidad genética y flujo genético entre especies de Zea en México. In: Memoria del taller sobre maíz transgénico. Del 13 al 16 de Octubre. Serratos, J.A y López, H.A. México, DF. 31p.
- Association of oficial Seed Analysts (AOSA) 1992. Seedling evaluation handbook. Contribution No. 35 the Handbook of oficial Seed United States of Americ. 76-80 p.
- Avendaño. S. M.C. 2012. Relación entre poliembriónía, apomixis y xenia en maíces poliembriónicos. Tesis de maestría. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. p. 7-15
- Ávila UG. 2006. Estrategias para la producción de semillas de maíz criollo mejorado. Tesis de maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. p. 2,5.
- Besnier F.R. 1989. Semillas. Biología y tecnología (2ª edición) Ed. Mundi prensa. Madrid p. 637
- Bewley, J. D.; BLACK, A. M. 1994. Seeds: Physiology of development and germination. 2 ed. Plenum Press. N. Y. USA. 445 p.
- Boshier, D.; Amaral, W. 2004. Amenazas a los ecosistemas silvícolas y desafíos para la conservación y uso sostenible de los recursos genéticos silvícolas.. Ed. IPGRI, (Roma). p. 7-32.

- Bustamante. G L A. 1995. Pruebas de vigor en semillas y sus aplicaciones. VII Curso de actualización en tecnología de semillas, Memorias. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 26-27 Octubre. p. 10-20. Tesis maestría Componente Fisiológico p.8.
- Butler, T.J., A.E. Celen, S.L. Webb, D. Krstic, and S.M. Interrante. 2014. Temperature affects the germination of forage legume seeds. *Crop Science* 54:2846-2853.
- Cano Octavio., Hugo T. O. 2001. Fertilización y densidad de población en genotipos de maíz cultivados bajo condiciones de temporal. *Agronomía mesoamericana* 12(2). p. 199-203
- Carter P., Pioneer Hi-Bred International, Inc. y Daniel Wiersma, University of Wisconsin. "Daños por Heladas tardías en Maíz". *Conocimientos Agrícolas*. Registered trademark of Pioneer Hi-Bred International, Inc. ©2000, PHII, VOL. 10 • NO. 14 • PAGINA 4.
- Carvalho, N.M. e E.J. Nakagawa. 2000. *Sementes: ciencia, tecnologia e producao*. Jaboticabal, Funep, Brasil.
- Castillo RA, 1994. Mejoramiento comprensivo aprovechando una base genética amplia y selecta de maíces para regiones semiáridas de México. Tesis de maestría en ciencias. UAAAN., Saltillo, Coahuila, México.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 2012. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Disponible en; [www.cimmyt.org/es/](http://www.cimmyt.org/es/).
- CIMMYT. 1994. CIMMYT, 1993/94. World maize facts and trends. Maize seed industries, revised: Emerging roles of the publics and private sectors. México, D.F. CIMMYT.
- Copeland, L.O. and McDonald, M. B. 2001. Seed germination. In *Principles of Seed Science and Technology*. Springer US. p. 72-123
- Cuniberti, M.; R. Herrero, S. Distefano, L. MIR, O. Berra y S. Macagno. 2007. Calidad industrial y sanitaria de la soja en la región núcleo sojera. Cosecha 2006/07. Soja. Actualización 2007. Informe de Actualización Técnica N° 7, pp. 63-65
- Delouche, J. C. 1978. Preceptos para el almacenamiento de la semilla. En Boyd, A. H y R. Echandi. (comp.). Seminario internacional sobre tecnología de semillas para Centroamérica, Panamá y el Caribe. Univ. Edo. Mississipi. San José, Costa Rica. p 218-255.

- Espinoza, J., Vega, M.C. Navarro, E., Burciaga, G.A. 1998. Poliembrionía en maíces de porte normal y enano. *Agronomía mesoamericana*. 9(2):83-88.
- FAO. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Pocketbook, World Food and Agriculture Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>
- Feed- Grain. 1998. La influencia del maíz alto en aceite en los alimentos para aves. *Revista para fabricantes de alimentos balanceados, operaciones integradas y procesadores de grano*. ISSN1085-0503. Johnson Hill Press. Cygnus Publishing, Inc. Fort Atkinson, WI. USA. p. 4-7.
- Finch-Savage, W.E. 2004. The use of population-based threshold models to describe and predict the effects of seedbed environment on germination and seedling emergence of crops. p. 51-96. In R.L. Benech-Arnold and R.L. Sánchez (eds.). *Seed physiology: applications to agriculture*. Haworth Press, New York, USA.
- Flores H., A. 2004. Introducción a la tecnología de semillas. Universidad Autónoma Chapingo. p. 160.
- Garay AE. 1989 La calidad de la semilla y sus componentes. En: *Memorias del primer curso avanzado sobre sistemas de semillas para pequeños agricultores*. CIAT. Cali, Colombia. p. 2-11.
- García L.S., Bergvinson D.J. 2007. Programación integral para reducir perdidas de pos cosecha en maíz. *Agricultura técnica de México*. V. 33(2). p. 2-5.
- Godoy G., 2010. Calidad fisiológica de semillas en genotipos de maíz poliembriónico de alto contenido de aceite comparada con materiales comerciales. P 3, 10
- González V., Espinoza V., Mendoza V., De León C., Torres T., 2011. Caracterización de Germoplasma de Maíz que combina con un alto contenido de aceite y poliembrionía. P 157,158.
- Guillen PLA; Sánchez Q; Mercado D. y Navarro G. 2000. Análisis de atribución causal en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz. *Agrociencia*. 36:377-387.
- Gutiérrez- López A.J. 2014. Validación de concordancia entre los fenómenos reproductivos poliembrionía, apomixis y efecto del polen de maíz. Tesis de maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México p.8-15
- Hadas, A. 2004. Seedbed preparation: The soil physical environment of germinating seeds. p. 3-49. In R.L. Benech-Arnold and R.A. Sánchez

(eds.). Handbook of Seed Physiology: Applications to Agriculture. Food Product Press, New York, USA.

Hampton JG. 2001. Revisit. Seed News. Septiembre/Octubre Vol. 5(5).

Hernández CJM.1999. La biodiversidad del maíz mexicano y su conservación. In: 2do. Taller nacional de especialidades del maíz. Dr. Mario E. Castro Gil. Del 09 al 10 de Septiembre de 1999. UAAAN (Ed). Saltillo, Coahuila, México. p.1-15.

Hernández- Hernández. S. 2012. Análisis de la calidad fisiológica en semillas de algodón transgénico y convencional. Tesis de maestría. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. p. 16-22.

Holland JB, Goodman MM y Castillo GF., 1996. Identification of agronomically superior Latin American maize accessions via multistage evaluations. Crop Sci. 36:778-784.

International Seed Testing Association (ISTA) 1996. International Rules for Seed Testing. Rules 1996. Seed Sci. Technol. p. 13(2): 299-355.

ISTA. 2004 International Seed Testing Association International Rules For Seed Testing. Chapter 3and. ISBN 3-906549-38-0. Zurich, Suzie. p. 243.

Ladlie, J.S. 1993. Corn diagnostic manual. Sandoz Crop Protection, Hollandale, Arbués Osés 105 Minnesota, EUA.

Lamkey, K.R., and Lee M. 2006. Plant breeding in: The arnel R. Hallauer international symposium. 1era ed. Ed. Blackwell Publishing. Australia. p. 18,19.

Luna F. M. y J. R. Gutiérrez S. 1998. Mejoramiento genético de maíz en México: el largo camino de la obtención de semillas mejoradas. Agric. Tec. Méx. p. 24 2: 165-198.

Marín, G.; Riestra, O.; Exebio, G.A.; Martínez, G.A. 1989. Respuesta del maíz CP-561 a presión poblacional, nitrógeno y balance hídrico bajo temporal en la Región Central Costera de Veracruz. Agrociencia (Méx.) p. 78: 79-98

Marquez SF, 1990. Backcross Theory of maize. L. Homozigosis and heterosis. Maydica p. 35:17-22.

- Márquez SF, Carrera VJA, Barrera GE, Sahún CL. y Sierra MM. 1999. Influencia del ambiente de selección en el mejoramiento de razas de maíz por retrocruza limitada. *Fitotec. Mex.* vol.22 (1): p. 1-15.
- Medina ME; 1989. Importancia de la longevidad de la semilla de maíz. Tesis maestría. UAAAN. Saltillo, Coah. Méx.46p
- Molina, G. J. D. 1996. La selección recurrente en el fitomejoramiento. In: López B., A., S. A. Rodríguez H. y G. Martínez Z. Memorias del curso internacional de actualización en fitomejoramiento y agricultura sustentable. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. pp: 124-142.
- Mora M.E. 2011. Calidad física, fisiológica y bioquímica en genotipos de maíz que combina poliembriónía y alto contenido de aceite. Tesis de maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Octubre, 2011. p. 14, 32,76.
- Moreno ME, Vázquez ME, Rivera A, Navarrete R, Esquivel F; 1988. Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays L.*) Stored under adverse conditions. *Seed Sci. Technol.* 26:439-448.
- Moreno. ME; 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa universitario de alimentos. Tercera edición. UNAM. México. p. 237, 249, 259,260.
- Namkoong, G. 1997. A gene conservation plan for loblolly pine. *Canadian J. Forest Res.* 27(3):433-437.
- Nishida, I. and Murata, N. 1996. Chilling sensitivity in plants and cyanobacteria: the crucial contribution of membrane lipids. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47: 541-568.
- Olivares, A.; Johnston, M. y Fernández, G. 1990. Efecto de la temperatura en la germinación de siete especies de la pradera anual mediterránea y caracterización de su emergencia. *Simiente* 60: 123-131.
- Perretti, A. 1994. Manual para el análisis de semillas. INTA. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. P. 281.
- Perry DA. 1972 Seed vigor and field establishemen. *Hort. Abstr.* 42:334-342.
- Popinigis F. 1985. Fisiología de Semente. 2da Ed. Brasilia. 289 p.
- Powell, A. A. 1988. Seed vigour and field establishment. *Advances in research and technology of seeds* 16:419- 426.

- Probert, R.J. 2000. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. p. 261-292. CAB International, Wallingford, United Kingdom.
- Rajjou, L., M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, C, Job, and D. Job. 2012. Seed germination and vigour. *Annual Review of Plant Biology* 63:507-33.
- Ramírez M, Márquez SF, Rodríguez HSA y Ron PJ. 2003. Comportamiento de retrocruzas divergentes y cruzas entre retrocruzas de maíces criollos y mejorados. *Fitotecnia. Mex.* Vol.26 (4):215-221.
- Ramírez M.L.E. 2010. Calidad de semillas en cereales producidos bajo tres densidades de siembra. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp.43- 54.
- Rebolloza, H., Espinoza, J., Samano, D. y Zamora, V. 2011. Herencia de la poliembriónía en dos poblaciones experimentales de maíz. *Rev. Fitotecnia. Mex.*, 34, 27–33.
- Roberts EH.1981. Physiology of ageing and its application to drying and storage. *Seed Sci.Tech.* 2:350-372.
- Rodríguez, A. 2013. Respuesta bioquímica de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes condiciones de temperaturas nocturnas. *Rev. Colombiana de Ciencias Hortícolas.* 7(2):252-262.
- Rojas BA and Sprangue F. 1952. A comparison of variance components in corn yield traits. III general and specific combatitiong ability and their interaccionss with locations and years. *Agron. J.* 44:462-466. USA.
- Ruíz VA.2011. Análisis de efectos ambientales en la expresión de calidad fisiológica de semillas de maíz. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila; Mex. pp.13.
- Sánchez M, Aguilar C, Valenzuela N, Sánchez C, Jiménez M, Villanueva C. 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía mesoamericana.* Vol. 2. San Pedro, diciembre. Disponible en; [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1659-13212011000200005](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212011000200005)
- Sellar I. 2015. Evaluación de la respuesta a la fertilización variable nitrogenada en maíz en el norte de la provincia de Buenos Aires. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/evaluación-respuesta-maiz-arrecifes-pdf>.

- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), 1998. Resumen del programa anual de actividades.
- SIAP. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por estado en grano de maíz del año 2014. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- Snook, L.K., cámara-cabrales, L. y Matthew, J.K. 2005. Six years of fruit production by mahogany tree (*Swietenia macrophylla King*); patterns of variation and implications for sustainability. *Forest Ecology and Management* 206 (1-3): 221-235.
- Tallury SP and Goodman MM, 1999. Experimental evaluation of the potential tropical germplasm for temperature maize improvement. *Theor. Appl. Genet.* 98:54-61.
- Thomson JR. 1979. An introduction to seed technology. Thomson Litho Ltd. Great Britain. p.1-15.
- Togani H. 1982. El sorgo. Editorial Albatros. Buenos Aires, Argentina. P. 90-92.
- Torres T. M. A. 2004 Identificación y cuantificación de proteínas en semillas de maíz relacionadas en germinación y vigor. Tesis de Posgrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- USDA. World Agricultural Supply and Demand Estimates (WASDE). Oct /12/2016.
- Villegas H. H. 1996. La densidad específica de la semilla de maíz (*Zea mays L.*) como un atributo de calidad. Tesis de licenciatura. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. p. 7-14
- Woodstock. L.W. 1973. Physiological and biochemical test for seed vigor. *Seed Sci. Tech.* 1: 127-157. Netherlands.