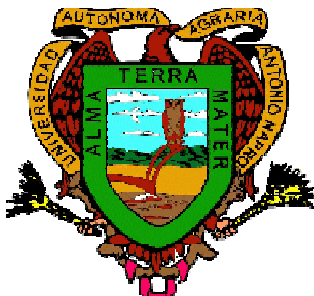


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Calidad fisiológica de semillas en genotipos de maíz poliembriónico de alto contenido de aceite comparada con materiales comerciales**

**POR**

**José Benito Godoy Godoy**

**TESIS.**

**Presentada como Requisito Parcial para**

**Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Octubre de 2010.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
DIVISION DE AGRONOMÍA**

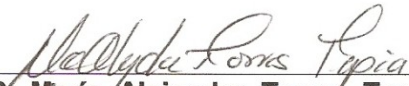
**Calidad fisiológica de semillas en genotipos de maíz poliembriónico de alto  
contenido de aceite comparada con materiales comerciales**


**POR:**

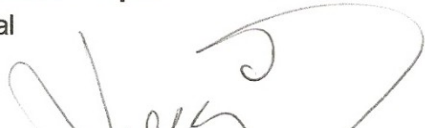
**José Benito Godoy Godoy**

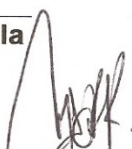
Que se Somete a Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial  
Para Obtener el Título de:


**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN  
A P R O B A D A**

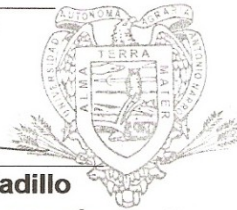
  
**M. P. María Alejandra Torres Tapia**  
Asesor principal

  
**Dr. Víctor Manuel Zamora Villa**  
Sinodal

  
**Dr. José Espinoza Velázquez**  
Sinodal

  
**M.C. Modesto Colín Rico**  
Sinodal

  
**Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo**  
Coordinador de la División de Agronomía  
Coordinación  
División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Octubre de 2010.

## DEDICATORIAS

**A mis padres:**

**Sra. FLORENCIA GODOY GUERRERO**

**Sr. BENITO GODOY HERNANDEZ**

Les dedico el presente trabajo con todo mi más grande amor y cariño hacia ustedes, ya que de no ser por ustedes yo no existiría y a quienes les debo la vida, gracias por confiar en mí por sus infinitos consejos, regaños y sus jalones de orejas, gracias a esto me formaron como una persona de bien, no tengo como agradecerles todo lo que me han brindado, porque se han quitado el pan de la boca para dármele, por su lucha incansable en demostrarme cuanto me quieren, espero nunca defraudarlos. ¡GRACIAS PADRES!

**MAMA:** Tú que no descansaste días enteros hasta el día de hoy porque te has preocupado y esforzado por que sea una persona de bien gracias por tus constante consejos y amor hacia a mí, tú eres a quien le debo la otra parte de lo que ahora soy, madre no tengo como agradecer todo lo que has hecho por mí, mil gracias.

**PAPA:** Tú que no has dormido días y noches enteros por trabajar para darnos de comer y no nos hiciera falta nada, mis más grandes respetos para ti eres un gran hombre al cual me falta aprender mucho de ti tienes mi más grande admiración por ser un padre al cual le debo gran parte de lo que ahora soy que gracias a ti este sueño se cumplió, por todo gracias.

**A mis Hermanas:Verónica Guadalupe, Norma Jaqueline, Sandra, Elizabeth y Flor Ivonne,** gracias por esos momentos buenos y malos que hemos pasado, gracias porque han colaborado en mi formación a quienes les debo mucho y no sé cómo agradecerles, muchas gracias a todas por sus consejos, amor y cariño, mis más grandes respetos y admiración a todas porque son unas mujeres con toda la extensión de la palabra.

**A mis Sobrinos:**

**John Kevin, Austin, Jesús Raúl, Alan Eduardo y a los que vengan** porque con su llegada han alegrado no solo a mi sino a toda la familia, por sus ocurrencias, travesuras me han hecho reír como nunca pequeñines, gracias por todos esos momentos inolvidables.

**A mis Abuelitos:**

**José Godoy Cruz†**

**Gregorio Godoy Cruz†**

**Dolores Hernández Godoy**

**Tomasa Guerrero González**

A quienes les agradezco por que han compartido muchas alegrías conmigo, por su infinita enseñanza de que todo se logra en la vida si uno quiere y se lo propone, por sus consejos y regaños por no hacer las cosas bien, gracias porque me han enseñaron a diferenciar entre lo bueno y lo malo, por todo muchas gracias.

**A mis Tíos y primos:**A todos ustedes por su apoyo emocional, consejos y todas esas motivaciones que me han dado para seguir adelante, gracias por el cariño brindado, porque han creído en mí y por ese sin fin de palabras que han tenido hacia a mí, gracias.

**A Deisy y José (Kakaroto):**Gracias amigos porque a pesar de todos los malos entendidos que tuvimos siempre perduro la amistad, gracias por todo el apoyo y cariño que me brindaron en esta etapa tan importante en mi vida, gracias por esos momentos buenos y malos que pasamos durante estos cuatro años que son inolvidables, que marcaron nuestra vida y yo sé que en el futuro cuando nos acuerdenos de todo lo que pasamos nos reiremos y lloraremos, quiero decirles que aun que ya no estemos juntos siempre los llevare dentro de mis recuerdos, gracias amigos.

**A Diana Zenteno Solís:** Porque eres una gran persona, por haber sido la única amistad en la carrera, mil gracias al verme brindado tu amistad y apoyo, por todas esas malas y buenas experiencias que pasamos estos cuatro años que serán inolvidables, a pesar de esas diferencias que hemos tenido te sigo estimando y considerando una gran amiga, mis respetos porque tienes las agallas para seguir adelante cuando te han querido pisotear gracias a ello te has fortalecido y sigues adelante, mil gracias he aprendido mucho de ti.

**Ana Karina Pérez Guzmán:** por los últimos meses de convivencia y de amistad que me brindaste por todas nuestras ocurrencias por esas largas pláticas que conversamos durante todas las tardes, por los ánimos y consejos que me diste y por toda esa ayuda gracias.

**Doña Enriqueta** gracias por haberme permitido vivir en su casa los últimos dos años aquí en la ciudad de Saltillo, por toda la confianza consejos y ayuda brindada.

**A quienes realmente fueron mis compañeros:** Nahum, Margarito, Oneida, Verito, Ana Elena, Blas, Santi, José Juan, José Antonio, Ademar, Elier, Tirzo, Araceli, Flor, Ana Moran, Hugo, Magalidia, Toribio, Marcelino, Ale, Mary chuy, Alejandra Reyes, Betty, Yoseni, Emma, Hermelindo, Ave Maria, Lizy, Chepetla, Elena Morgado, Tomy.

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios:** Quien ha permitido mi existencia, por creer en ti me has dado las fuerzas necesarias en los momentos difíciles que he pasado, gracias al guiar e iluminar cada paso que he dado en mi vida, gracias por la familia que me has dado y por permitir que culmine satisfactoriamente este proyecto tan importante en mi vida GRACIAS señor.

### A mi “ALMA TERRA MATER”

Por haberme albergado en tu seno y cubrirme con tu manto por las aportaciones en cada uno de los amplios conocimientos durante mi formación, porque me hiciste crecer y madurar, gracias a ti me abriré camino en el largo andar del resto de mi vida por ti comeré y tendré donde vivir en el futuro, te estaré eternamente agradecido gracias “ALMA MATER”.

**A M.P. María Alejandra Torres Tapia:** Primeramente gracias por aceptarme como tesista y dejarme trabajar con usted MAESTRA, por sus grandes aportaciones en este trabajo tan importante, por su paciencia y en el haber confiado en mí, por haberme guiado, orientado por su apoyo al compartir sus grandes conocimientos hacia a mí.

**Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa:** Gracias por su por su disponibilidad su grande contribución para poder culminar este trabajo.

**Al Dr. José Espinoza Velázquez:** Por formar parte de mi comité, por sus sugerencias comentarios y su aportación en este proyecto.

**Lic. Sandra López Betancur:** Por su ayuda y disponibilidad en la ayuda brindada durante los cuatro años en mi estancia en la Universidad.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
Dedicatorias.....	I
Agradecimientos.....	IV
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>VII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISION DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
Producción mundial y nacional.....	4
Composición química del maíz.....	6
Poliembrionía.....	10
Calidad de semillas.....	11
Germinación.....	15
Vigor.....	17
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
Localización geográfica del área de estudio.....	18
Material experimental.....	18
Descripción de materiales.....	19
Variables evaluadas .....	20
Diseño experimental.....	24
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
Capacidad de germinación.....	27

Vigor.....	32
Envejecimiento acelerado.....	36
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>VI. RESUMEN.....</b>	<b>47</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>49</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>N° de Cuadro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
3.1	Descripción de los materiales a estudiar con diferentes dosis de germoplasma de poliembrionía de alto contenido de aceite y materiales comerciales.....	19
4.1	Cuadrados medios y la comparación de medias en la prueba de germinación en las variables evaluadas (PN, PA, SSG, PE) a familias de maíz con diferentes porcentajes de germoplasma de poliembrionía de alto contenido de aceite y materiales comerciales (Abril, 2009).....	28
4.2	Cuadrados medios y comparación de medias en las prueba de vigor de las variables evaluadas (LMP, LMR, PS) en familias de maíz con diferentes porcentaje de poliembrionía de alto contenido de aceite y materiales comerciales (Abril, 2009).....	33
4.3	Cuadrados medios y la comparación de medias después del envejecimiento de las variables evaluadas (PN, PA, SSG, PE) a familias de maíz con diferentes porcentajes de germoplasma de poliembrionía de alto contenido de aceite y materiales comerciales (Abril, 2009).....	37
4.4	Cuadrados medios y comparación de medias después del envejecimiento de las variables evaluadas (LMPEA, LMREA, PSEA) en familias de maíz con porcentaje de poliembrionía de alto contenido de aceite y materiales comerciales (Abril 2009).....	42

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Z m L.*) es una de las plantas más domesticadas del reino vegetal; su origen y evolución han sido un misterio; pues en la actualidad es un cultivo altamente evolucionado, sin que se conozca sus formas intermedias (Asturias, 2004). En México, es por mucho el cultivo agrícola más importante, tanto desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social, debido a que forma parte de la dieta de la mayoría de los mexicanos, principalmente, los de escasos recursos.

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 de maíz; suficiente señalar la baja eficiencia de producción por hectárea comparada con los países desarrollados (Bergvinson, 2007). En nuestro país la producción es superior a los 20 millones de toneladas, el rendimiento medio nacional es de 2.4 toneladas por hectárea, y al año se importa 30% del maíz necesario. En el 2001 se produjeron 18.226 millones de toneladas y se importaron 5.577 millones más, para tener un total de 23.803 millones de toneladas (SAGARPA, 2002), siendo evidente la existencia de la cuantiosa demanda y diversificada en cuanto a tipos y calidades de grano.

Es indudable que el clima y su variabilidad juegan un papel importante en la productividad física de los cultivos agrícolas, así como en el riego de falta de tal productividad especialmente en zonas no irrigadas. Esto conlleva a una agricultura de subsistencia para los mejoradores de zonas áridas y semiáridas (Sánchez, 1994).

En la actualidad existen programas de mejoramiento sobre este cultivo en algunas instituciones privadas y públicas en las que se pretende contribuir al desarrollo integral de la nación y sus regiones, generando nuevos conocimientos mediante la aplicación del método científico, en las diversas disciplinas de su dominio, validando las experiencias de la tecnología tradicional, conservándolos, desarrollando y promoviendo investigación para contribuir a la solución de los grandes problemas de productividad, sustentabilidad del sector agrícola. Es de suma importancia destacar que el maíz de importación es mayormente de origen norteamericano, del tipo amarillo, su composición nutricional es favorable para la alimentación animal y la industria; pero ello no justifica que una parte se desvíe a la producción de tortilla para consumo humano.

Estos programas son generados por diferentes instituciones como es la UAAAN, que a través del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) a lo largo de 30 años se han generado poblaciones de maíz con diferentes características de valor nutricional y rendimiento como por ejemplo de poliembrionía de porte normal y enano. Este fenómeno de poliembrionía es de interés agrícola, por considerar dos a más embriones en cada semilla lo cual pudiera significar un mayor contenido de aceite y proteína embrionaria, aunado al ahorro en semillas para alcanzar una población determinada por unidad de superficie.

Los programas de mejoramiento genético dirigen la selección hacia los individuos cuyos genes expresen idealmente alguna característica de interés. La condición gemelar o de poliembrionía (PE) en semillas de maíz (*Zea mays* L.) es una

característica natural que puede utilizarse como vía alterna en el diseño de estrategias genotécnicas, pues además del potencial de rendimiento de grano se puede seleccionar por su valor nutritivo, *i. e.*, cantidad de aceite y calidad de proteína (Espinoza *et al.*, 1998).

La poliembrionía en maíz es un fenómeno poco estudiado, es la capacidad de la semilla para generar de dos y hasta siete plantas por semilla, donde esta característica puede ser utilizada en los aspectos de rendimiento, valor nutritivo de la semilla y/o grano, su calidad en aminoácidos, aceites, su capacidad de germinación mediante pruebas de laboratorio. Por ello, en el presente trabajo se planteó el siguiente objetivo e hipótesis

### **Objetivo**

- Comparar la calidad fisiológica de semillas en genotipos de maíz poliembriónico, de alto contenido de aceite y materiales comerciales mediante pruebas de germinación y vigor.

### **Hipótesis**

- Al menos uno genotipo obtendrá una mayor calidad fisiológica en su capacidad de germinación en comparación al resto de los genotipos estudiados.
- Al menos uno de los genotipos estudiados tendrá mayor calidad fisiológica en alguna de las pruebas de vigor evaluadas.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Producción mundial y nacional**

Los principales países productores de maíz (de acuerdo con el promedio de los últimos 10 años de información disponibles: 1996-2006) fueron en orden de importancia, Estados Unidos de América, que contribuyó con el 40% de la producción mundial, seguido de lejos por China con el 19%, Brasil con un 6% y México con 3%. Otros importantes países productores fueron Argentina, India, Francia, Indonesia, Sudáfrica e Italia.

La producción mundial de grano en 2007 es de 695 millones de toneladas de ellas, Estados Unidos obtuvo una producción de 282 millones de toneladas anuales, que en su mayor parte es maíz amarillo (692.3 millones de toneladas), y solamente 2.7 millones de toneladas es maíz blanco. Los países que le siguen son China, Brasil, México y Argentina; donde México pasó a ser el segundo productor de elote en el sexenio de 2000-2006 debajo de Estados Unidos (FAOSTAT, 2007).

En el país, este cultivo ocupa 8.07 millones de hectáreas equivalente al 40 % de la superficie agrícola sembrada. Del total de los productores de maíz, aproximadamente 90% tienen parcelas menores de cinco hectáreas y más de 80% utilizan semilla propia, adaptada a una enorme diversidad de situaciones geoclimáticas (SAGARPA, 2007).

El maíz es imprescindible en la dieta nacional por representar la mitad del volumen total de alimentos que se consumen anualmente en nuestro país, su consumo *per cápita* es de 330  $\text{gd}^{-1}$ , (Hartcampet *al.* 2000). Los principales estados productores de maíz blanco aportaron el 57% de la producción total en 2005; Sinaloa produjo 23% del total, Jalisco, 13%; Michoacán, Chiapas y Guerrero contribuyeron con el 7% cada uno. Para el 2006 el Servicio de información Agroalimentaria de consulta registró en la producción para maíz amarillo fueron los estados de Chihuahua 35%, Jalisco 25%, Tamaulipas 21% y Chiapas 13% dando un el 94% de la producción total nacional.

Sin embargo, en los últimos años la producción no ha tenido incrementos significativos, ya que algunos indicadores señalan que a partir de 1998, la superficie sembrada no rebasa los 8 millones de hectáreas, en cuanto a la evolución del volumen de la producción del cultivo, la tasa media anual de crecimiento (TMAC) de 1996 a 2006 fue de 2.0%, no obstante los decrementos registrados en 2002 y 2005 en la producción obtenida de -4.1 y -10.8%, respectivamente.

Entre 1995 a 2007, la producción nacional de maíz (blanco y amarillo) se incrementó 29.7%, mientras la importación (blanco y amarillo) creció 185%. En 1995, el 87.3% del consumo aparente de maíz fue abastecido con producción nacional; en 2007 esa proporción cayó a 75%. En todo el período, la superficie sembrada y cosechada se redujo 10.7%. No obstante, el rendimiento creció 30% alcanzando 2.8 toneladas de maíz por hectárea en promedio. En los estados productores, el rendimiento fue de 9 a 14 toneladas por hectárea, es decir, más de cuatro veces el promedio nacional (Suárez y Polanco, 2007).

Durante el ciclo otoño-invierno 2006-2007 la producción fue de 6, 477, 813 toneladas, de las cuales 4, 717,683 las aportó Sinaloa (73%), Tamaulipas con

470,973 toneladas (7%); Veracruz con 386,290 (6%); Chiapas con 166,462 (3 %) y 682,405 (11 %) otros estados (SAGARPA, 2007).

## Composición química del maíz

### Carbohidratos

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón (que es en la forma en la que los cereales almacenan energía en el grano) al que corresponde hasta el 72 ó 73 % del peso del grano.

El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopéctina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30% del almidón. El polímero amilopéctinatambién consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75 % del almidón.

A nivel genético existen diferentes factores y unidades de transcripción que influyen directamente en la composición del almidón en el endospermo (Fisher *et al.*, 1996; Opsahl-Ferstadet *et al.*, 1997; Boyer y Hannah, 2001; Gómez *et al.*, 2002).

Con respecto a la cantidad total de almidón en la semilla, el endospermo aporta en promedio 87%; además, contiene diversos tipos de proteínas: albuminas, globulinas, prolaminaszeninas y gluteinas, así como cantidades menores de aceites, cenizas y azúcares (FAO, 1993)

## Lípidos

El aceite de maíces un subproducto derivado de la industria del almidón. Casi todo el aceite está en el germen de la semilla. El aceite refinado de la semilla de maíz tiene un elevado valor nutritivo y es de fácil digestión. Además, la investigación médica sobre la influencia de las grasas saturadas sobre el colesterol, sitúa al aceite de germen de maíz en una posición ventajosa respecto a otros aceites vegetales en este aspecto

En contexto, el Instituto Mexicano del Maíz “ Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Narro (IMM-UAAAN), ha generado dos poblaciones de alta frecuencia poliembriónica, denominadas UA-IMM-BAP (enana) y UA-IMM-NAP (altura normal), (Rodríguez y Castro 1978; Castro, 1979; Espinoza *et al.*, 2008); estas poblaciones, además de alta poliembriónía, presentan características deseables como: alto contenido de aceite (5.5 a 6 %) y lisina (3 a 4 %).

En México, el estado y desarrollo de variedades de alto contenido de aceite ha sido limitado, por lo que aún no existen en el mercado nacional, variedades comerciales con alto contenido de aceite (Coutiño *et al.*, 2008).

El maíz HOC (high-oil-corn) se debe su alto contenido de aceite al incremento en la porción del germen; también hay un incremento correspondiente de 0.38 % en proteína por cada incremento de 1 % en aceite. Un incremento de 1 % en la concentración de grasa cruda resulta por lo general en una disminución de 1 % de almidón. El aumento en la fracción del germen a costa del endospermo, mejora la calidad de la proteína del todo el grano de HOC. Las variedades HOC contienen entre 6 y 8 % de aceite y 8 % de proteína cruda (FeedGrain, 1998; Thomison *et al.*, 2003).



Un caso especial de maíces de alto contenido de aceite lo presenta Valdez, (2005), donde al realizar un análisis bromatológico en dos poblaciones poliembriónicas del IMM-UAAAN, denominadas Normal de Alta Poliembriónía (IMM-UAAAN-NAP) y Braquítica de Alta Poliembriónía (IMM-UAAAN-BAP), encontrado alrededor de 6 % de aceite en el grano, una relación de ácidos grasos oléico/linoléico muy cercana a uno (0.98 en promedio), calidad que fue estadísticamente superior a la presentada por la población Tuxpeño Alto Aceite de CIMMYT, la cual presentó una relación oleico/linoléico de 0.86.

Existe una considerable variación en el contenido de aceite en el genoma del maíz donde la mayor parte del cual está contenido en el embrión. Los triglicéridos son el componente mayoritario del aceite de maíz, estos contienen una mezcla de ácidos grasos (AG) saturados e insaturados; en su mayor parte los AG insaturados son el linoleico (58%) y oleico (27%), que se emplea para el consumo humano, (Amadori, 1989). Generalmente, se acepta el aceite de maíz como de alta calidad cuando el contenido de AG oleico es superior al reportado en el maíz común. (Can, *et al.*, 1999). El ácido oleico contribuye a aumentar en el organismo los niveles de lipoproteínas de alta densidad HDL (colesterol bueno); estas lipoproteínas se encargan principalmente de retirar el exceso de colesterol malo de los tejidos, equilibrando de esta forma la alimentación, además el ácido oleico representa una fuente de energía asimilable, es de fácil digestión.

Estudios de Wyndstrom y Jellum (1976) relativos a la herencia de los ácidos grasos oleico y linoleico en maíz informan de una correlación negativa entre ellos y que los genes que controlan su composición se localiza en el brazo largo del cromosoma 5; también encontraron indicios de que existen genes que controlan al ácido linoleico en el brazo corto del cromosoma 4 y en el corto del cromosoma 1.

El aceite del grano de maíz está fundamentalmente en el germen y viene determinado genéticamente, con valores que van del 3 al 18%.

El aceite de embrión tiene 2.5 veces más energía por unidad de peso que el almidón del endospermo, con base en peso seco, por lo que al incrementar el contenido de aceite se incrementa la eficiencia energética del grano oleico (Watson y Freeman, 1975).

## **Proteínas**

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 por ciento del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo.

La proteína de maíz, y en general la de los cereales, es de bajo valor nutricional cuando se compara con la proteína de origen animal. Esta deficiencia es el resultado de un desbalance de aminoácidos y de un bajo contenido proteico (Azevedo *et al.* 2006).

En el caso de maíz, la mayor cantidad de la proteína se encuentra en el endospermo (75 a 85%), y es deficiente en dos aminoácidos esenciales: Lisina y Triptófano (Huang *et al.* 2004).

Con respecto a la cantidad total de almidón en la semilla, el endospermo aporta en promedio 87%; además, contiene diversos tipos de proteínas: albuminas, globulinas, prolaminas, zeínas y gluteinas, así como cantidades menores de aceites, cenizas y azúcares. En el caso de maíz, la mayor cantidad de proteína se encuentra

en el endospermo con un (75 a 85%), y es deficiente en dos aminoácidos esenciales: lisina y triptófano (FAO, 1993), (Huanget *al.* 2004; Azevedoet *al.* 2006).

### **Poliembrionía**

Poliembrionía o embriones múltiples dentro de una misma semilla, ocurre espontáneamente en varias especies de plantas. Este fenómeno es común en gimnospermas y menos frecuente en angiospermas (Martínez y Gradziel, 2003).

En el maíz se han estudiado ampliamente sus características físicas, químicas, evolutivas, moleculares etc., y mediante selección recurrente se han desarrollado nuevas líneas de poblaciones con diferentes características una de las cuales ha sido a favor de la poliembrionía (Espinoza *et al.*, 1998).

La condición gemelar o poliembrionía en semillas de maíz es una característica que puede ser aprovechable como una vía alterna en el diseño de variedades de aplicación especial, buscando además de potencial de rendimiento, el valor nutritivo del grano, incrementando cantidad y calidad de aceites y proteína, esto bajo la hipótesis de que dos o más embriones por semilla, permitirán incrementar la capacidad de almacenamiento de nutrientes de calidad (Espinoza *et al.*, 1999).

Las características favorables de la poliembrionía son: 1) Proliferación de la semilla al dar origen simultaneo a dos o más plántulas completas funcionales; 2) capacidad competitiva de las plantas hermanas *in situ* y sus vecinas; 3) calidad físico-química sobresalientes del grano. Esta calidad nutrimental ha sido corroborada (Valdez *et al.*, 2004<sup>1</sup>; Comentario personal; Valdez, 2005<sup>2</sup>) al resaltar la superioridad de los maíces PE en grasa y lisina, con 33 y 100 %, respectivamente, comparada con los niveles de un maíz común.

Los tipos principales de PE en maíz, detectados a partir de un análisis histológico, está en función del origen de los embriones su localización en el grano, diferencias en su estructura (tejidos comunes) y el tipo de germinación, Erdelska (1996). De acuerdo con este autor, la PE se origina de tres maneras: embriones pares que provienen de sacos embrionarios múltiples, se ubican en lados opuestos, o distancia, en el grano, los cuales carecen de tejidos comunes y germinación independientemente; casos de gemelos o triples que provienen de células huevo individuales del saco embrionario de células con capacidades multi-huevo que están estrechamente adheridas, pero estrictamente separados por capas epidérmicas; con un endospermo en común; las plúmulas y radículas son independientes; y el caso de los poliembriones originados por multiplicación de la célula huevo (cleavaje), en vivo y de manera espontánea o después de alguna inducción, comparten un suspensor común, parte del esqueleto y capas superficiales de radícula; por ello, los embriones germinan con plúmulas separadas pero con un solo complejo radicular.

### **Calidad de semillas**

Una semilla de calidad puede subdividirse en cuatro cualidades básicas: genética, fisiológica, sanitaria y física. La presencia de las cuatro cualidades esenciales en su máximo nivel permite que la semilla esté 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 está fisiológicamente deteriorada mostrando mala germinación.

Una semilla de calidad es altamente viable, es decir, susceptible de desarrollar una plántula normal aún bajo condiciones ambientales no ideales, tal como puede ocurrir en el campo, por lo que debe tener propiedades que aseguren su germinación bajo condiciones agro-climáticas (Perreti, 1994).

## **Calidad Física**

Se le asocia con el color, brillo, daños mecánicos (fracturas, cuarteos), la presencia o ausencia de cualquier contaminante distinto de la semilla deseable. Estos contaminantes pueden ser: materiales inertes, semillas de malezas comunes y nocivas, formas reproductivas de plagas y enfermedades. Siendo exigentes en la calidad física se puede evitar la diseminación de enfermedades, insectos y malezas.

Entre las principales características físicas de interés están: la pureza analítica, el contenido de humedad, peso de la semilla y el color. Estas son indicadores de la calidad de un lote de semillas. Así mismo, todos los componentes juegan un papel importante en la aptitud de la semilla para la siembra, y la calidad de ésta puede ser calificada a partir de ciertos atributos como: pureza genética, viabilidad, vigor, magnitud de daño mecánico, grado de sanidad, contenido de humedad, pureza física, uniformidad, apariencia, peso de la semilla y otros (Garay, 1989).

Los dos componentes físicos esenciales son: el tamaño y la uniformidad; el tamaño es una característica varietal y la uniformidad tiene su origen en las condiciones ambientales(Thomson, 1979).

## **Calidad Fisiológica**

La calidad fisiológica de una semilla incluye a los atributos de viabilidad, capacidad de germinación y vigor. Es importante el que cuente con la capacidad de reproducir una planta para lograr su establecimiento en campo y obtener rendimientos de forraje o grano (Bustamante, 1995).

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.

Las características de una semilla son: alta capacidad de germinación y vigor; así mismo, que la calidad fisiológica depende de muchos factores y puede ser muy fácilmente dañada en cualquiera de sus etapas; maduración, cosecha, trillado, secado, desgrane, acondicionamiento, almacenamiento, distribución, siembra y aún en el suelo mismo (Thomson, 1979).

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); además, esta calidad de la semilla depende del clima y de las condiciones de crecimiento y desarrollo del cultivo (Delouche, 1973).

Las causas de las diferencias en el vigor de las semillas son definidas por la constitución genética, el ambiente, el contenido de humedad de la semilla y daño físico (Powell 1988).

La rápida emergencia uniforme y alto nivel de emergencia de la semilla son el reflejo del alto vigor de la misma; contrariamente, las diferencias en el vigor de la semilla es la causa de la emergencia no uniforme en campo (Matthews, 1980).

La disponibilidad de una semilla con alta calidad es esencial para la utilidad de la industria semillera y el mantenimiento o crecimiento de una agricultura productiva (Barnes, 1986).

## **Calidad Genética**

Se produce en la etapa del mejoramiento genético. Los trabajos de cruzamiento, selección y las redes de verificación que han desarrollado los centros especializados en mejoramiento genético (públicos y privados), están orientados a obtener variedades e híbridos de mayor productividad, precocidad, adaptabilidad, calidad del grano, mayor eficiencia en el uso del agua y nutrientes. Obtenida una nueva variedad o híbrido comienza la etapa de multiplicación bajo normas estrictas de aislamiento, eliminación de plantas fuera de tipo y verificación permanente que permitan asegurar la identidad y pureza genética evitando la degeneración o dilución del genotipo.

La calidad genética es determinada por el genotipo de la variedad o híbrido. Cuando una institución libera una variedad y recomienda que se implemente en un programa de certificación, ha cumplido con este componente de primer importancia (Bustamante, 1979).

Estas características presentan variaciones entre y dentro de las fuentes parentales las cuales 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;).

## **Calidad Sanitaria**

Las actividades de investigación y desarrollo de variedades o híbridos son capaces de incorporar características de resistencia y tolerancia a enfermedades. Estas actividades se deberán complementar en la etapa de producción de semilla utilizando semilla original sana, sanidad de los lotes de producción, rotación de cultivos, aislamiento, tratamiento de la semilla, acondicionamiento y almacenamiento adecuados.

La ISTA (1996) define como sanidad de semillas, principalmente a la ausencia de organismos causantes de enfermedades, tales como hongos, bacterias, virus, animales y plagas como son nematodos o insectos; además, condiciones fisiológicas como vestigio de deficiencia de elementos que pueden estar incluidos.

## **Germinación**

Se llama germinación al acto por el cual la semilla en estado de vida latente entra de pronto en actividad y origina una nueva planta. La germinación es el proceso reactivación de la maquinaria metabólica de la semilla, junto con la emergencia de la radícula (raíz) y plúmula (tallo), conducentes a la producción de una plántula (Jann y Amen, 1977)

Thomson (1979) dice que el embrión dentro de la semilla es una planta miniatura, que está vivo y que respira lentamente, y cuando las condiciones son favorables para el crecimiento vegetal, el embrión empieza su desarrollo provocando la ruptura de las cubiertas de la semilla y la emergencia de una nueva planta.



De acuerdo a la ISTA (1996) y para los propósitos de siembra de ensayos de semillas, la germinación es la emergencia y desarrollo a partir de un embrión de aquellas estructuras esenciales que son indicadoras de su aptitud para producir una plántula normal bajo condiciones favorables. Las estructuras que se consideran esenciales para que una plántula se desarrolle satisfactoriamente a una plántula normal son: eje embrionario, cotiledones, brotes terminales. Coleoptilo (Gramineae). Las plántulas normales muestran un potencial de desarrollo continuo a plantas, cuando crecen en el suelo de buena calidad y bajo condiciones favorables de humedad, temperatura y luz.

Moreno (1996) describe a la germinación como la emergencia y desarrollo de las estructuras que son las esenciales, provenientes del embrión, y donde la semilla, propicia la capacidad para producir una planta normal en condiciones favorables.

Los principios de optimización y maximización de las pruebas de germinación son relativamente moderados por los conceptos de plántulas normales y anormales. La germinación de una semilla en una prueba de laboratorio es la emergencia y desarrollo de la plántula hasta una etapa donde el aspecto de sus estructuras esenciales indica si es o no capaz de desarrollarse en una planta bajo condiciones favorables en el suelo. Mientras que el porcentaje de semilla reportado sobre el Certificado de Análisis indica la proporción del número de semillas que han producido plántulas clasificadas como normales bajo las condiciones y dentro de un periodo especificado para cada especie. Las siguientes estructuras son esenciales para el desarrollo continuado de una plántula hacia una planta satisfactoria: sistema radical (raíz primaria, en ciertos casos raíces seminales), eje del tallo (hipocotilo, epicotilo; en ciertas gramíneas, el mesocotilo), cotiledones, yemas terminales y coleoptilo (ISTA, 1985).

## Vigor

El vigor es la suma de los atributos de la semilla que favorecen un establecimiento rápido y uniforme en el campo aún bajo condiciones desfavorables. Sin embargo, los atributos como peso seco de la planta, velocidad de emergencia y germinación de la semilla son dañados por factores, trayendo como consecuencia un bajo establecimiento de plántulas en el campo debido al bajo vigor de la semilla (Barrie y Drenan, 1971).

Las semillas que son capaces de extender la raíz durante la germinación, pueden no tener vigor para establecer una planta en condiciones de campo. El vigor es por lo tanto indicador de la calidad de la semillas, denota la completa habilidad de la semillas para funcionar bien bajo condiciones de campo (Bustamante, 1995).

La rápida emergencia uniforme y alto nivel de emergencia de la semilla son el reflejo del alto vigor de la misma, contrariamente las diferencias en el vigor de la misma es la causa de la emergencia no uniforme en campo (Matthews, 1980).

El vigor es un concepto relativamente nuevo comparado con el de la germinación y surgió de la observación de las diferencias del establecimiento de plántulas entre los lotes de semillas, trayendo como resultados una prueba adicional de calidad capaz de predecir la emergencia de plántulas bajo condiciones, ambas adversas y favorables de campo (Sayers, 1982).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

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

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Ensayos de Semillas “Msc. Leticia Alejandra Bustamante García” del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de semillas Ubicado en la Universidad Autónoma Agraria “Antonia Narro” en Buenavista, Saltillo, Coahuila, situado a 25° 22 de latitud N y 101° 00 de Longitud Oeste, con una Altitud de 1742 msnm.

### **Material experimental**

Se evaluaron genotipos de maíz (*Zea mays* L.) teniendo como testigos a variedades convencionales como un híbrido comercial AN-447 y la variedad VAN-210 y no convencionales considerando a genotipos con diferentes porcentajes de poliembrionía en su germoplasma y al genotipo denominado tuxpeño de alto contenido de aceite mostrados e identificados en el Cuadro 3.1. Todos los genotipos fueron producidos y cosechados en el ciclo Primavera-Verano, 2008 de la localidad Buenavista, Saltillo, Coahuila.

**Cuadro 3.1 Descripción de los materiales a estudiar con diferentes dosis de germoplasma de poliembrionía de alto contenido de aceite y materiales comerciales.**

Identificación	Genealogía	Dosis de germoplasma PE	Identificación	Genealogía	Dosis de germoplasma PE
1	G	50	16	D X EF	62.5
2	GG	50	17	D X DF	87.5
3	GGG	50	18	E X DF	37.5
4	EG	25	19	E X EF	12.5
5	DG	75	20	E	0
6	E X EG	12.5	21	C	100
7	D X DG	87.5	22	C X E	50
8	E X DG	37.5	23	E X C	50
9	D X EG	62.5	24	AN-447	0
10	D	100	25	VAN-210	0
11	F	50			
12	FF	50			
13	FFF	50			
14	E X F	25			
15	D X F	75			

C= Normal de alta Poliembrionía; D= Braquítica de alta Poliembrionía; E= Tuxpeño de Alto Aceite; G= cruce de E x D; AN-447= Híbrido comercial del IMM-UAAAN; VAN-210=Variedad temporalera del IMM-UAAAN. PE= Germoplasma poliembriónico; D; E; G; GG; GGG; EG; DG; E x EG; D x DG; E x DG; D x EG; F; FF; FFF; E x F; D x F; D x EF; D x DF; E x DF; E x EF; C; C x E; E x C; AN-447 y VAN-210.

Los genotipos resultan del cruzamiento entre D y E, directa y recíproca (D x E = F y E x D = G): las filiales de cada una de ellas (F<sub>2</sub> y F<sub>3</sub>) y un sistema de retrocruzamiento (RC<sub>1</sub> y RC<sub>2</sub>) hacia ambos pregenitores en forma directa y recíproca que permitió generar dosis de germoplasma que combinan PE y alto aceite (AA) con distancias de 12.5 %, en el rango de 0 a 100 % de germoplasma PE.

Las dosis fueron generadas por diferentes vías, combinando a los tres tipos de materiales (poblaciones, Filiales y retrocruza), por lo que se tiene un número variable de genotipos con la misma dosis; por ejemplo la ruta para lograr la dosis de 75:25 %,

PE:AA, genera cuatro genotipos que se logran con la utilización de las  $F_1$ 's (D x E, denominada "F" y E x D, denominada "G") en retrocruza hacia la población Braquíticade alta Poliembrionía (D), directa y reciproca; por lo tanto, son cuatro los genotipos obtenidos para estas dosis.

### **Variables evaluadas**

Se determinó en los diferentes experimentos su calidad fisiológica tanto en su capacidad de germinación como de vigor mediante la pruebas de envejecimiento acelerado (EA), longitud media de radícula (LMR), longitud media de plúmula (LMP), tasa de crecimiento de plántula (PS) y porcentaje de poliembrionía (PE); además para hacer un poco más estricta la evaluación de los materiales se consideraron las pruebas de LMP, LMR y PS después de un envejecimiento acelerado de los materiales

### **Capacidad de Germinación**

Para determinar la capacidad de germinación se realizó la prueba de germinación estándar conforme a las reglas internacionales de la ISTA (2004). Para ello se colocaron 25 semillas con tres repeticiones por cada material estudiado con el embrión hacia abajo de forma equidistante sobre una línea marcada en el centro de una hoja de papel germinador "Anchor" previamente humedecido como sustrato y se colocó otra hoja de papel humedecida para cubrir la semilla, posteriormente se enrollaron formando "tacos" y sujetos con ligas en los extremos.

Los tacos fueron colocados en una bolsa de polietileno en posición vertical y llevada a una cámara germinadora marca BiotronetteMark III de alta capacidad a una temperatura de  $25 \pm 1$  ° C. Las condiciones de luz y temperatura fueron las mismas durante todo el periodo de prueba. Al cuarto día de la siembra se realizó el primer conteo, en el cual se cuantificaron las plántulas normales (PN). Al séptimo día se realizó el conteo final de germinación donde se anotaron plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA) y semillas sin germinar (SSG); descritas por el manual de la AOSA (1992).

### Plántulas Normales (PN)

En el primer y segundo conteo se consideraron plántulas normales aquellas que presentaron sus estructuras esenciales intactas como; El sistema radicular bien desarrollado, la plúmula intacta es decir una hoja verde y que tuvieran más de 2.5 cm de longitud para poderse considerar como normales.

### Plántulas Anormales (PA)

Para el primer y segundo conteo se consideró como plántula anormal a aquellas que por tener una deficiencia en el desarrollo de sus estructuras esenciales para su evaluación, *i. e.*; defectos en sus estructuras que limitan su crecimiento y desarrollo de plúmulas retorcidas en espiral; tallos hinchados, coleótilos sin hojas verdes, que miden menos de 2.5 cm.

### Semillas sin Germinar (SSG)

Para considerar como semilla sin germinar a aquellas semillas que se mantuvieron duras durante y al final de la prueba de germinación, ya que no absorben agua porque tienen cubierta impermeable, no muestran ningún signo de desarrollo y comúnmente están flácidas, decoloradas y con presencia de hongo.

### Porcentaje de poliembrionía (PE)

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

### **Pruebas de vigor**

#### LMP (Longitud media de plúmula)

Para determinar la LMP se realizó conforme a Perry (1987)). Sembrando 25 semillas 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 germinador "Anchor" seguida hacia arriba de otras cinco líneas equidistantes de 2 cm. entre cada paralelaal punto medio entre dichas paralelas horizontales se le asignó un valor de 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 cm. Evaluando tres repeticiones por cada material.

Al séptimo día de la siembra se cuantificaron las plántulas normales (PN), descritas por el manual de la AOSA (1992). El número de 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 semilla sembradas (25) expresando el resultado en centímetros.

#### Longitud media de radícula (LMR)

Considerando las plántulas normales de la prueba anterior, se tomaron al azar 10 plántulas y a cada una de éstas se midió la raíz principal con la ayuda de una regla métrica registrando su longitud en centímetros en la hoja de anotaciones.

#### Tasa de crecimiento de plántula (Peso seco)

Para determinar la tasa de crecimiento de plántulas se evaluaron las plántulas consideradas como normales de la prueba de germinación, obtenidas del segundo conteo, descartando el resto del grano de cada plántula y colocadas en bolsas de papel estraza perforadas, llevándolas a una estufa marca IMPERIAL V LABORATORY OVEN a una temperatura de  $75 \pm 1$  °C por un lapso de 24 horas. Una vez transcurrido el tiempo, las bolsas se llevaron a un desecador con silica gel por 15 minutos para enfriar y luego se pesó cada bolsa en una balanza analítica de 0.001 g de precisión, determinando la tasa de crecimiento con el peso de la plántula (mg) dividida entre el número de plántulas normales.



## Envejecimiento acelerado (EA)

Esta prueba se efectuó de acuerdo a la metodología propuesta por AOSA (1992); se evaluaron 75 semillas por material colocadas una malla metálica de una cámara interna soportada la malla en un cilindro de alambre inoxidable dentro de un vaso de precipitado con 100 ml de agua destilada, cubierto cada vaso con plástico grueso, el cual se ajustó con ligas. Las cámaras internas se colocaron en una cámara de envejecimiento acelerado marca VWR Scientific a temperaturas de  $42^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  por 96 horas con una humedad relativa de 90 %. Posterior al envejecimiento, las semillas fueron sometidas a una prueba de germinación estándar.

Para este método de envejecimiento acelerado se realizó la prueba estándar bajo la metodología descrita anteriormente, tres repeticiones de 25 semillas por variedad, realizando solamente un conteo a los 7 días de sembrado para las 25 variedades en estudio.

En este ensayo se evaluaron las plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), semillas sin germinar (SSG) y porcentaje de poliembrionía (PE) Otra de las pruebas que se implementaron fue la de LMP, LMR y PS en las plántulas normales resultantes de la prueba de envejecimiento acelerado.

### **Diseño experimental**

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones para evaluar los tratamientos.

## Análisis Estadístico

Todos los análisis se realizaron mediante el paquete estadístico SAS versión 6.0 (1989) con el siguiente modelo estadístico:

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

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable observada.

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

$G_i$  = Efecto del i-ésimo genotipo.

$E_{ij}$  = Error experimental.

Las medias de cada variable se compararon mediante la prueba de Tukeysegún Steel y Torne (1980) al nivel de significancia al 0.05 %, cuya fórmula consiste en:

$$W = q_{(trat, glee, \alpha)} \sqrt{CME/r}$$

Donde:

W: comparador Tukey

q: valor de las tablas de Tukey que depende del número de tratamientos (trat), grados de libertad del error (glee) y nivel de significancia (alpha).

CME: Cuadrado medio del error.

r: número de repeticiones.

Además de cada variable se le estimó su coeficiente de variación de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{C.V.} = \frac{\sqrt{\text{C.M.E.E.}}}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

C.V.= Coeficiente de variación.

C.M.E.E. =Cuadrado medio del error experimental.

$\bar{x}$ = Media general.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Capacidad de germinación**

El análisis de varianza como se muestra en el Cuadro 4.1 refleja que para las variables PN y PA en la prueba de capacidad de germinación hubo diferencias altamente significativas entre los genotipos estudiados teniendo un Coeficiente de Variación (C.V.) 9.10 % para PN y 148.02 % para PA; mientras que en SSG y PE solo fueron significativas, dando un CV de 218 y 242 % respectivamente; es necesario mencionar que se tuvieron estos coeficientes por el hecho de tener en algunos genotipos porcentajes de cero en las variables.

### **Plántulas Normales**

En la prueba de comparación de medias aplicada en la prueba de germinación, se mostró las diferencias generadas entre los genotipos, obteniendo tres grupos estadísticos, donde en el primer grupo resaltaron 25, 23, 22, 8, 1, 2, 9, 21, 19, 18, 4, 3, 13, 20, 6, 11, 12, 5, 16, 7, 24 y 14 con porcentajes del 86.7 al 100 % de PN; por los altos valores de germinación obtenidos en este grupo se puede mencionar que todos ellos contaron una alta calidad fisiológica en la capacidad de germinación, este por lo que la combinación de los genotipos 1 y 11 y sus combinaciones presentaron muy buen comportamiento en estas variables.

**Cuadro 4.1 Cuadrados medios y la comparación de medias en la prueba de germinación en las variables evaluadas (PN, PA, SSG, PE) a familias de maíz con diferentes porcentajes de germoplasma de poliembrionía de alto contenido de aceite y materiales comerciales (Abril, 2009)**

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Plántulas Normales	Plántulas Anormales	Semillas Sin Germinar	%Poliembrionía
<b>Genotipos</b>	24	250.19**	210.08**	7.24*	98.70*
<b>Error</b>	50	72.32	67.41	4.91	68.27
<b>C.V. (%)</b>		9.10	148.02	218.59	242.06
<b>Comparación de Medias</b>					
Identificación	Genotipos				
1	G	100 a	0.0 d	0.0 c	0.0 c
2	GG	100 a	0.0 d	0.0 c	0.0 c
3	GGG	97.3 a	2.7 d	0.0 c	0.0 c
4	EXG	97.3 a	0.0 d	2.7 abc	10.7 abc
5	DXG	94.7 a	0.0 d	5.3 a	21.3 a
6	EXEG	94.7 a	4.0 d	1.3 bc	5.3 bc
7	DXDG	90.7 ab	9.3 bcd	0.0 c	0.0 c
8	EXDG	100 a	0.0 d	0.0 c	0.0 c
9	DXEG	100 a	0.0 d	0.0 c	0.0 c
10	D	62.7 d	33.3 a	4.0 ab	16.0 ab
11	F	94.7 a	4.0 d	1.3 bc	5.3 bc
12	FF	94.7 a	5.3 d	0.0 c	0.0 c
13	FFF	97.3 a	2.7 d	0.0 c	0.0 c
14	EXF	86.7 abc	10.7 bcd	2.7 abc	10.7 abc
15	DXF	78.7 cb	20.0 abc	1.3 bc	5.3 bc
16	DXEF	90.7 ab	8.0 cd	1.3 bc	5.3 bc
17	DXDF	76.0 cd	22.7 ab	1.3bc	5.3 bc
18	EXDF	98.7 a	1.3 d	0.0 c	0.0 c
19	EXEF	98.7 a	1.3 d	0.0 c	0.0 c
20	E	96.0 a	4.0 d	0.0 c	0.0 c
21	C	98.7 a	1.3 d	0.0 c	0.0 c
22	CXE	100 a	0.0 d	0.0 c	0.0 c
23	EXC	100 a	0.0 d	0.0 c	0.0 c
24	AN-447	88.0 abc	8.0 cd	4.0 ab	0.0 c
25	VAN-210	100 a	0.0 d	0.0 c	0.0 c

\*\* Altamente significativo C.V.=Coeficiente de Variación. Valores con la misma literal son estadísticamente iguales

El segundo grupo estadístico dado en la prueba se tiene a 17 y 15, siendo estos sus valores de 76 y 78.7 %, a pesar de que son dos materiales con menor germinación en comparación a las anteriores, estos ya no cumplen con lo establecido por con la norma establecida para la comercialización, pues el mínimo porcentaje de germinación para su comercio es de 85 % según el Servicio Nacional de Inspección y

Certificación de Semillas (SNICS, 2009). Es de resaltar al genotipo 10 solo o en combinación se detectaron valores reducidos en las tres primeras variables.

En el tercer grupo estadístico fue conformado por el genotipo 10 con un 62.7 % de PN (Cuadro 4.1), lo cual muestra que por la baja germinación, son materiales con baja calidad fisiológica, dada posiblemente por varios factores como la herencia, origen de la semilla, si hubo contaminación en el campo de producción, las condiciones durante el crecimiento, o las condiciones post-maduración y precosecha, así como en la cosecha o en las condiciones en el proceso agroindustrial y posiblemente en las condiciones de almacenamiento como lo menciona Besnier(1989).

### **Plántulas Anormales**

El resultado de la comparación de medias de los genotipos en esta variable, se encontraron cuatro grupos estadísticos, donde el primer grupo con mayor número de PA fueron los genotipos 10 (33 %), 17 ( 22.7 %) y 15 (20 %) mostrados en el Cuadro 4.1; esto confirma que son materiales de baja calidad fisiológica por tener porcentajes elevados de anomalías, como menciona Moreno (1996), que la baja calidad es el resultado del deterioro de la semilla dada por un aumento en las PA y SSG.

Un segundo grupo lo comprenden los genotipos 14, con valor siendo de 10.7 % y 7 con 9.3 %; en seguida los materiales 16 y 24 con 8.0 % de PA se colocaron en el tercer grupo estadístico, obteniendo mayor calidad fisiológica al tener un valor menor en la anomalía.

El cuarto grupo fue el que presentó mayor calidad por obtener valores más bajos como fueron los genotipos 12 con 5.3 %; seguidos de 20, 6 y 11 con un valor de 4 %, así como 13 y 3 con 2.7 %, en el mismo grupo se presentaron a 21, 18 y 19 con 1.3 %, mientras que el resto de los genotipos no presentaron anomalías implicando que son los mejores en la prueba de capacidad de germinación dados en el anteriormente mencionado Cuadro 4.1.

### **Semillas sin germinar**

En la prueba de medias resultaron dos grupos estadísticos como lo muestra el Cuadro 4.1, teniendo el porcentaje más alto en semillas sin germinar se constituyó por los genotipos 5, 24, 10, 4, y 14 con valores que van de 2.7 a 5.3 %, aunque este valor no puede reflejar por sí solo la calidad fisiológica del material de los genotipos.

Otro grupo estadístico se formó por los genotipos 17, 15, 16, 11 y 6 con 1.3 %, posiblemente su baja capacidad de germinación se deba a que en cualquiera de sus etapas pudo haber sido dañada (Thomson, 1979).

Los diferentes resultados encontrados en estas dos últimas variables se obtuvieron posiblemente a las condiciones climáticas que pueden afectar directamente a la semilla presentando porcentajes de semillas sin germinar, coincidiendo con Togani, (1982) quien menciona que puede existir daño de la semilla en el campo por demora de la cosecha, efecto de heladas en lotes de madures tardía y otros factores que, en su mayoría, se deben a las condiciones ambientales tales como nubosidad, niebla, lluvia persistente, temperatura todos los elementos de difícil control. Otros daños son producidos después de la cosecha, como pueden ser: granos alterados, ardidos y hasta podridos por haberse cosechado, embolsado y

almacenado verdes o húmedos sin previo sacado todos estos factores dan lugar a importantes fallas de germinación o la cuantificación fenotípica.

### **Porcentaje de Poliembrionía**

Dentro de la comparación de medias mostradas en el Cuadro 4.1 anterior resultaron dos grupos estadísticos, dado en el primer grupo estadístico por 5, 10, 4 y 14 siendo sus valores de 10,7 a 21.3 % de PE, obteniendo más o menos la tendencia que se esperaba, ya que teóricamente contiene un 25 a 75 % de su germoplasma poliembriónico; a diferencia de Braquítico de alta poliembrionía (10) quien se esperaba tener una tendencia más alta sin embargo obtuvo un 16 % de PE perteneciente al mismo grupo estadístico, seguramente este dato se debe a efectos de muestreo al tomar las semillas para estudio.

Por otra parte los genotipos 17, 16, 15, 11 y 6, presentaron un valor de 5.3 % mostrando escasa apariencia de esta característica por su poca presencia de PE; es de resaltar que los primeros cuatro genotipos teóricamente cuentan con porcentaje de PE del orden 87.5, 62.5, 75 y 50 % respectivamente, por lo cual era de esperarse similares resultados a los del primer grupo; sin embargo en la prueba de capacidad de germinación resultaron con poca presencia de poliembrionía, tal vez influidas por la combinación de cruzamientos para llegar a la dosis de germoplasma PE, o por el tipo de herencia del carácter PE, que podría ser de dos loci una interacción epistática doble recesiva (Espinoza V, comunicación personal). De acuerdo con esto, los genotipos de 25 % o menos de PE tendrían probabilidades menores de generar este fenotipo por tamaño de muestra reducido; de hecho ninguno de ellos presentó el carácter.



## Vigor

El análisis de varianza mostrado en el Cuadro 4.2, resultó con diferencias altamente significativas en las variables PS y LMR con un CV de 16.3 y 8.9 % respectivamente, mientras que en LMP mostró diferencias significativas con un CV de 15.6 %; lo cual indica que los genotipos tuvieron respuestas diferentes en el vigor. A pesar de que los valores resultantes en las variables de vigor (LMP, LMR y PS) no fueron tan distantes, la prueba de comparación logró reflejar diferentes grupos estadísticos.

### Longitud media de plúmula

La prueba de comparación de medias como se aprecia en el Cuadro 4.2, los genotipos 11, 18, 12, 13, 19, 7, 20, 16, 1, 14, 23, 24, 6, 17, 9, 3, 2, y 22 formaron el primer grupo estadístico con valores entre 12.2 cm y 9.5 cm de longitud de plúmula considerados de alto vigor, ya que según Perry (1987), el más alto vigor en prueba de LMP está dado por un valor de 13 cm; sin embargo en materiales híbridos pudieron rebasar este valor hasta un 15 ó 17 cm como lo mencionan Torres (2004) y Grajales (2009), quienes establecen que la longitud media de plúmula con valores altos puede ser una característica propia de materiales híbridos .

En el siguiente grupo estadístico se encontraron a 4, 10 y 25 ambos resultando tener un valor de 9.3 cm de longitud; seguido de los genotipos 5 y 15 con 9.1 y 9.2 cm de longitud los cuales obtuvieron longitudes similares entre ellos.

Un último grupo fue dado por el normal de alta poliembrionía (21) y (8) con una LMP de 8.2 cm y 7.6 cm, respectivamente mostrando ser los genotipos con más bajos valores en esta variable. La falta de vigor es una cuestión diferente, ya que se puede apreciar en plántulas que se consideran normales, es decir, completas, intactas y sanas aunque, evidentemente, las plántulas con defectos leves muestran a veces escaso vigor en la LMP como lo menciona Besnier (1989).

**Cuadro 4.2 Cuadros medios y comparación de medias en las prueba de vigor de las variables evaluadas (LMP, LMR, PS) en familias de maíz con diferentes porcentaje de poliembrionía de alto contenido de aceite y materiales comerciales (Abril, 2009).**

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Longitud Media de Plúmula	Longitud Media de Radícula	Tasa de Crecimiento de Plúmula (Peso Seco)
Genotipos	24	4.97*	6.29**	909.35**
Error	50	2.67	2.30	330.92
C. V. (%)		15.63	8.97	16.33

Comparación de medias				
Identificación	Genotipos	Longitud Media de Plúmula	Longitud Media de Radícula	Tasa de Crecimiento de Plúmula (Peso Seco)
1	G	11.3 abc	17.3 bcdefg	123.5 abcdef
2	GG	10.2 abcde	16.3 cdefghi	101.7 defgh
3	GGG	9.8 abcde	18.1 abcde	129.9 abcd
4	EXG	9.3 bcde	18.6 abcd	94.7 fghi
5	DXG	9.1 cde	19.2 ab	107.6 bcdefgh
6	EXEG	10.5 abcd	17.4 bcdefg	86.1 hi
7	DXDG	11.7 abc	13.9 i	131.4 abcd
8	EXDG	7.6 e	15.8 efghi	128.4 abcde
9	DXEG	10.3 abcd	15.9 efghi	124.9 abcde
10	D	9.3 bcde	14.5 hi	137.1 ab
11	F	12.2 a	17.8 bcdef	91.8 ghi
12	FF	12.1 a	17.3 bcdefg	113.5 abcdefgh
13	FFF	11.9 ab	20.4 a	69.9 i
14	EXF	11.1 abc	17 bcdefg	137.7 a
15	DXF	9.2 cde	16.9 bcdefgh	108 abcdefgh
16	DXEF	11.3 abc	16.3 cdefghi	105.4 cdefgh
17	DXDF	10.4 abcd	14.9 ghi	132.1 abc
18	EXDF	12.1 a	16.8 bcdefgh	100 efgh
19	EXEF	11.9 ab	16.8 bcdefgh	90 ghi
20	E	11.5 abc	16.2 defghi	115.8 abcdefgh
21	C	8.2 ed	16.9 bcdefgh	103.4 cdefgh
22	CXE	9.6 abcde	17.5 bcdef	102 defgh
23	EXC	10.7 abcd	18.7 abc	117.2 abcdefg
24	AN-447	10.6 abcd	15.6 fghi	108.6 abcdefgh
25	VAN-210	9.3 bcde	16.8 bcdefgh	123.7 abcdef

\*\* Altamente significativo , C.V.=Coeficiente de Variación. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

## Longitud media de Radícula

En el análisis estadístico para LMR se obtuvieron 9 grupos estadísticos, colocándose en el primer grupo los genotipos 13, 5, 23, 4, y 3 quienes mostraron longitudes que van de 20.4 a 18.1cm, seguidos de 11, 22, 6, 1, 12, 14, 15, 21, 18, 25 y 19 con longitudes de que oscilan de 16.8 a 17.7 cm los cuales formaron el segundo grupo; mientras en el tercer grupo se encontraron los genotipos 2 y 16 dando LMR de 16.3 cm respectivamente; es interesante mencionar que todos ellos presentaron similares de LMP como era de esperarse, sin embargo fueron de los genotipos con una valor aceptable en el vigor como se había mencionado. Un cuarto grupo estadístico lo conforma el genotipo 20 obteniendo 16.2 cm, donde pueden considerarse aún como de alta calidad fisiológica en su vigor en LMR; en el quinto grupo estadístico está, 8 y 9 con 15.8 y 15.9 cm, continuando el genotipo 24 quien reflejo solo 15.6 cm, todos ellos considerados de un vigor alto por los valores dados.

El séptimo grupo se tiene a 17 con un valor de 14.9 cm de LMR mostrando un vigor medianamente bajo, Bustamante (1995), quien menciona que las semillas que son capaces de extender la raíz durante la germinación, pueden no tener vigor para establecer una planta en condiciones de campo. El vigor es por lo tanto indicador de la calidad de la semillas, denota la completa habilidad de la semillas para funcionar bien bajo condiciones de campo, lo cual puede decirse que estos materiales probablemente tengan un buen papel en campo aún a pesar de su LMR.

Un octavo grupo estadístico fue conformado por el genotipo 10 obteniendo 14.5 cm, dando al final al genotipo 7 de 13.9 cm de longitud siendo el último grupo y obteniendo el valor más bajo.

## **Tasa de crecimiento de plúmula (PS)**

Dentro del análisis de comparación de medias mostrado en el Cuadro 4.2 entre los genotipos se obtuvieron nueve grupos estadísticos, destacando en el primer grupo los genotipos 14, 10, 17, 7, 3, 8, 9, 25, 1, 23, 20, 12, 24 y 15 con pesos de 137.7 y 108.02 mg/plántula; el siguiente grupo estadístico lo fue 5 resultando con un peso de 107.6 mg/plántula, el tercer grupo fue constituido por 16 y 21 con 103.3 y 105.4 mg/plántula cada uno.

El cuarto grupo está conformado por los genotipos 2 y 22 con 101.7 y 102.02 mg/plántula respectivamente. Algunos genotipos poliembriónicos así como el material 10 se encontraron en los primeros grupos y esto se debe a que contiene cierta dosis de poliembriónía mostrando doble o triple plúmula sobresaliendo de los demás por dar altos valores de peso seco, reflejando un alto contenido de nutrientes como lo describen Espinoza y colaboradores (1999) llevando a resultar que estos genotipos por contener mayor peso seco sean considerados de alta calidad por su vigor.

Un siguiente grupo fue dado por 18 con 100 mg/plántula en su tasa de crecimiento, dentro del sexto grupo se encontró al genotipo 4 obteniendo un peso de 94.7 mg/plántula respectivamente. En un séptimo grupo lo conformaron 11 y 19 con sus pesos secos de 90.02 y 91.8 mg/plántula. Otros material que se agrupó en el octavo grupo fue 6 con 86.14 mg/plántula; y por último se encontró el grupo formado por 13 quien obtuvo 69.9 mg/plántula, siendo los valores más bajos de todos los materiales estudiados.

Es interesante hacer la comparación entre los dos genotipos estudiados, como ya se mencionó, 10 por tener alta poliembriónía resultó con mayor PS y 20 Tuxpeño por tener un mayor contenido de aceite se esperaba que tuviera la misma tendencia, sin embargo no sucedió, lo que sugiere que genotipos que contienen alto contenido

de aceite no tienen suficiente calidad fisiológica como para ser reflejada en la producción de materia seca como fue en 10 y tal vez se deba a que el contenido de aceite que tiene la semilla, más bien es utilizado como fuente energía en el metabolismo de la misma para su proceso de germinación, esto se pudiera haber detectado al realizar una prueba índice de velocidad de emergencia, donde se determina la velocidad de una semilla de poder emerger evaluada diariamente.

### **Envejecimiento Acelerado**

Los resultados del análisis de varianza para la prueba de envejecimiento acelerado se presentan en el Cuadro 4.3, mostrando que todas las variables resultaron tener diferencias altamente significativas teniendo coeficiente de variación de 12.17 % en las plántulas normales después del EA, 141.91 %, en plántulas anormales, 120.07 % en las semillas sin germinar y 69.05 % en el porcentaje de poliembriónía; lo anterior permite establecer que la respuesta entre los materiales estudiados fue diferente en cada uno de ellos.

### **Plántulas Normales después del Envejecimiento Acelerado (PNEA)**

El resultado de la prueba de comparación de medias resultaron cuatro grupos estadísticos, donde en el primer grupo como se puede apreciar en el Cuadro 4.3, dados los siguientes genotipos 22, 11,12, 6, 3, 13, 9, 23, 15, 19, 25, 4, 14, 1, 5, 7, 24, 8, 2, 16 y 20 donde estos obtuvieron porcentajes que van del 100 al 82.7 % de plántulas normales.

Es interesante observar que estos genotipos fueron los mismos que obtuvieron altos porcentajes de germinación en la prueba anterior a envejecimiento,

indicando que tienen alta calidad fisiológica coincidiendo con Perreti (1994) que menciona que la calidad es dada por el alto número de plántulas normales en una prueba tanto de germinación como de vigor, que en este caso es un comportamiento sostenido de buena germinación a pesar de una prueba de estrés.

**Cuadro 4.3 Cuadrados medios y la comparación de medias después del envejecimiento de las variables evaluadas (PN, PA, SSG, PE) a familias de maíz con diferentes porcentajes de germoplasma de poliembrionía de alto contenido de aceite y materiales comerciales (Abril, 2009)**

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	PNEA	PAEA	SSGEA	Poliembrionía
Genotipos	24	351.95**	278.97**	17.03**	555.59**
Error	50	120.53	101.33	11.52	36.48
C. V. (%)		12.17	141.91	120.07	69.05
Comparación de Medias					
Identificación	Genotipos	PNEA	PAEA	SSGEA	PEEA
1	G	93.3 ab	5.3 cd	1.3 bc	0.0 g
2	GG	89.3 ab	6.7 bcd	4 abc	16 de
3	GGG	98.7 a	0.0 d	1.3 bc	17.3 de
4	EXG	93.3 ab	4 cd	2.7 bc	5.3 fg
5	DXG	92 ab	6.7 bcd	1.3 bc	33.3 b
6	EXEG	98.7 a	1.3 d	0.0 c	0.0 g
7	DXDG	90.7 ab	5.3 cd	4 abc	54.7 a
8	EXDG	89.3 ab	5.3 cd	5.3 abc	0.0 g
9	DXEG	97.3 a	1.3 d	1.3 bc	29.3 bc
10	D	78.7 bc	18.7 bc	2.7 bc	22.7 cd
11	F	100 a	0.0 d	0.0 c	0.0 g
12	FF	100 a	0.0 d	0.0 c	4 fg
13	FFF	97.3 a	2.7 cd	0.0 c	2.7 g
14	EXF	93.3 ab	4 cd	2.7 bc	1.3 g
15	DXF	94.7 ab	1.3 d	4 abc	0.0 g
16	DXEF	89.3 ab	9.3 bcd	1.3 bc	4 fg
17	DXDF	78.7 bc	12 bcd	9.3 a	13.3 def
18	EXDF	70.7 c	22.7 b	6.7 ab	0.0 g
19	EXEF	94.7 ab	1.3 d	4 abc	2.7 g
20	E	82.7 abc	13.3 bcd	6.7 ab	0.0 g
21	C	52 d	44 a	4.0 abc	2.7 g
22	CXE	100 a	0.0 d	0.0 c	0.0 g
23	EXC	96 ab	1.3 d	2.7 bc	0.0 g
24	AN-447	90.7 ab	6.7 bcd	2.7 bc	0.0 g
25	VAN-210	93.3 ab	4 cd	2.7 bc	0.0 g

C.V.=Coeficiente de Variación, LMPEA=Longitud Media de Plúmula Envejecimiento Acelerado, LMREA=Longitud Media de Radícula Envejecimiento Acelerado, PSEA=Peso Seco Envejecimiento Acelerado.

Dentro del segundo grupo correspondieron 10 y 17 quienes obtuvieron un valor de 78.7 %, lo cual muestran tener un efecto de baja calidad en el vigor ya que se encuentra en más bajo porcentaje que los anteriores.

El tercer grupo estadístico lo incluye el genotipo 18 obteniendo 70.7 % de PN, y en último lugar al normal de alta poliembrionía(21) quien mostro un 52 %, indicando que todos los genotipos con porcentaje de germoplasma de poliembrionía no tienen alto vigor al ser sometidos a un estrés como es el envejecimiento acelerado. (Cuadro 4.3)

### **Plántulas Anormales después del Envejecimiento Acelerado (PAEA)**

En la comparación de medias para esta variable se encontraron cuatro grupos estadísticos donde en el primer grupo con mayor porcentaje de anomalías, lo integra el normal de alta poliembrionía(21) expresando 44 % de PA, plasmado en el Cuadro 4.3. Lo cual indica que al ser sometido a estrés verdaderamente se ve afectado dando una baja calidad expresando una influencia negativa por el ambiente, donde obtuvo el mayor porcentaje de anomalías que los demás genotipos, consideradas por Besnier (1989), menciona que las plántulas emergidas no se desarrollan satisfactoriamente, debido a cuestiones de tipo morfológico provocando plántulas que difícilmente puedan dar lugar a plantas capaces de vegetar adecuadamente, Ramírez (2010), hace mención que hay la posibilidad que necesiten más días para su desarrollo.

Esto se observó con frecuencia en los genotipos PE, que requieren 2 ó 4 días más que las semillas no-PE (para germinar).

Otro de los grupos con alto porcentaje de anomalías incluyen 18, 10, 20, 17, 16, 2, 5 y 24 los cuales adquirieron porcentajes de 6.7 a 22.7 %, seguido de los

genotipos 1, 7, 8, 4, 14, 25 y 13 que presentaron valores que oscilan entre el 2.7 al 5.3 %.

Como se ha estado mencionando, los genotipos que contienen tanto poliembrionía como altos contenidos de aceite, al ser sometidos a un estrés de EA, tienen una respuesta negativa en la germinación por presentar mayor número de plántulas anormales posiblemente se deba a que el metabolismo de la semilla se ve afectado por la temperatura (42°C) y por el tiempo de exposición de la prueba presentando tal vez desnaturalizando de proteínas en el caso de los poliembriónicos y oxidando a los aceites en el Tuxpeño reflejando el aumento de las anormalidades, a diferencia de los genotipos 16 y 24 quienes en ambas pruebas (germinación y envejecimiento acelerado) se ubicaron en el mismo grupo estadístico teniendo el mismo porcentaje de anormalidades, conservando la misma tendencia o característica, aun sometiéndolos a estrés.

El tercer grupo estadístico lo integran 6, 9, 15, 19 y 23 ambos reflejaron un 1.3% y el restante de los genotipos con 0%, marcando que pudieran una buena calidad fisiológica en vigor sobresaliendo a 6 por tener los valores más bajos y coincidiendo en su capacidad de germinación.

### **Semillas Sin Germinar después del Envejecimiento Acelerado (SSGEA)**

Dentro de la comparación de medias de SSGEA, se encontraron dos grupos estadísticos en donde el primer grupo está constituido por 17, 18, 20, 2, 7, 15, 21 y 19 con valores del 4 y 9-3 %, expresando tener en la prueba de capacidad de germinación este porcentaje lo cual muestra que pudieron ser afectados por el ambiente del envejecimiento artificial, lo cual pudiera ser a lo descrito por Serrano



(2009), donde hace mención que hay un efecto negativo de las condiciones climáticas aunado a las características hereditarias de los genotipos.

Como era de esperarse, los mejores materiales fueron los que se encontraron en el último grupo estadístico, donde se ubican 10, 14, 23, 24, 25, 4, 1, 3, 5, 9 y 16 quienes mostraron valores de 1.3 a 2.7 % de SSGEA teniendo alto vigor por obtener el menor porcentaje en esta variable, sobresaliendo los genotipos 10, 5, 16, 14, y 24, por comportarse similarmente tanto en la germinación como en la prueba de estrés de esta forma comprobando su calidad, en donde el genotipo (10) es bajo en germinación y otras variables pero en SSG mantiene muy buena calidad fisiológica.

### **Porcentaje de Poliembrionía después del Envejecimiento Acelerado (PEEA)**

En el Cuadro 4.3 muestra la comparación de medias donde resultaron seis grupos estadísticos, en el primer grupo se sitúa al genotipo 7 con un porcentaje de poliembrionía del 54.7 %, es interesante marcar que este genotipo no presentó tanto porcentaje como en la capacidad germinación. En el segundo están los genotipos 5 y 9 aportando un 29.3 y 33.3 %, mostrando que en una germinación normal su porcentaje de poliembrionía es más bajo y al ser sometido a un estrés como el de EA aumento pudo influir el estrés al cual fueron sometidos, o lo mas probable es efecto de muestras.

El siguiente grupo lo integra el braquítico de alta poliembrionía (10) quien mostraro 22.7 %, en germinación éste obtuvo el segundo valor más alto en germinación. Los genotipos 3, 2 y 17 reflejaron porcentajes de 13.3 a 17.3 % formaron el siguiente grupo, cabe mencionar que éstos en germinación inicial no presentaron poliembrionía.

Para el cuarto grupo estadístico contiene a 4,12 y 16% con un valores de 4 y 5.3 %, teniendo un valor menor que en su germinación inicial, lo cual nos puede indicar que al ser sometido a estrés no muestren su característica de poliembrionía.

Es interesante observar que en el último grupo está conformado por 21, 19 y 13, mostrando 2.7 %, era de esperarse que el genotipo 21 manifestara una poliembrionía más alta sin embargo no fue así, pudo haber sido que su carácter no fue heredable al momento de reproducirse en campo y por ello no tuviera los porcentajes de alta poliembrionía ya que en germinación inicial tuvo el mismo comportamiento; otro genotipo con bajo porcentaje lo fue 14 con un valor de 1.3 %, confirmando su bajo porcentaje de germoplasma poliembriónico, sin embargo este había presentado un porcentaje mayor en la germinación inicial mientras que después del estrés disminuyó drásticamente lo cual puede indicar que su poliembrionía se ve afectada por las condiciones del estrés del EA.

### **Longitud Media de Plúmula después del Envejecimiento Acelerado (LMPEA)**

En el análisis de varianza para dicha variable se encontró diferencias significativas LMPEA siendo su CV 97.44 %, como se puede observar en el Cuadro 4.4 encontrando que los genotipos tuvieron una respuesta de vigor diferente, la cual se muestra en el resultado de la prueba de comparación de medias para esta variable en el mismo Cuadro; donde existieron dos grupos estadísticos en la comparación de medias dado el primero por el genotipo 19 con 15.1 cm de longitud dejando una marcada diferencia con el resto de los genotipos, lo que hace pensar que el estrés al cual fueron expuestos no le afectó en su calidad mostrando un vigor alto.

El segundo grupo lo integra el resto encabezado por el resto de los genotipos, este grupo todos los genotipos se comportaron estadísticamente similar entre ellos; quizás se debió a que se vio afectado por el EA como menciona Serrano (2009), donde dice que la calidad de la semilla se fuertemente afectada por las condiciones ambientales.

**Cuadro 4.4 Cuadrados medios y comparación de medias después del envejecimiento de las variables evaluadas (LMPEA, LMREA, PSEA) en familias de maíz con porcentaje de poliembrionía de alto contenido de aceite y materiales comerciales (Abril 2009)**

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	LMPEA	LMREA	PSEA
Genotipos	24	145.80*	7.96*	1747.95**
Error	50	139.17	7.83	607.53
C. V. (%)		97.44	17.31	22.90

Comparación de Medias				
Identificación	Genotipos	LMPEA	LMREA	PSEA
1	G	11.9 b	17.8 abcd	95.5 cdef
2	GG	9.9 b	13.5 d	104.3 bcdef
3	GGG	11.5 b	16 abcd	110.1 bcdef
4	EXG	10.9 b	15.5abcd	99.5 cdef
5	DXG	11.7 b	14.3 cd	127.6 bcde
6	EXEG	11.9 b	17.3 abcd	103.9 bcdef
7	DXDG	9.9 b	19.3 ab	103.9 bcdef
8	EXDG	11.5 b	13.3 d	141.3 b
9	DXEG	10.9 b	15.3 abcd	93.7 cdef
10	D	9.3 b	18.3 abc	90 cdef
11	F	11.7 b	15.3 abcd	101.2 bcdef
12	FF	11.8 b	16 abcd	108.6 bcdef
13	FFF	12.2 b	15.4 abcd	82.7 f
14	EXF	10.2 b	14.5 cd	88.7 def
15	DXF	10.8 b	15 bcd	87.5 ef
16	DXEF	9.5 b	17.6 abcd	111.5 bcdef
17	DXDF	9.6 b	16.3 abcd	103.8 bcdef
18	EXDF	6.9 b	15.3 abcd	130.1 bc
19	EXEF	15.1 a	15.3 abcd	97.2 cdef
20	E	9.6 b	15.9 abcd	97 cdef
21	C	11.7 b	17.4 abcd	199.9 a
22	CXE	11.9 b	15.9 abcd	101.3 bcdef
23	EXC	9.9 b	19.7 a	94.1 cdef
24	AN-447	11.5 b	16.2 abcd	127.9 bcd
25	VAN-210	10.9 b	17.6 abcd	88.7 def

C.V.=Coeficiente de Variación, LMPEA=Longitud Media de Plúmula Envejecimiento Acelerado, LMREA=Longitud Media de Radícula Envejecimiento Acelerado, PSEA=Peso Seco Envejecimiento Acelerado.

### **Longitud Media de Radícula después de Envejecimiento Acelerado (LMREA)**

Dentro del análisis de varianza para esta variable se encontraron diferencias significativas y un CV de 17.31 %. En la comparación de medias plasmadas en el Cuadro 4.4, se encontraron cuatro grupos estadísticos, en el primer grupo se tiene a 23, 7, 10, 1, 25, 16, 21, 6, 17, 24, 12, 3, 22, 20, 4, 13, 18, 19, 9 y 11 obteniendo longitudes de 15.3 y 19.7 cm cada uno, seguidos del genotipo 15 con 15 cm de longitud, de esta forma sus porcentajes no fueron muy elevados entre ellos y de acuerdo a la prueba de medias tuvieron un comportamiento estadísticamente similar en donde su calidad de LMR no se vio afectada después del EA.

El tercer grupo está integrado por 14 y 5 siendo sus longitudes de 14.5 y 14.3 cm, estos revelaron tener longitudes de radícula parecidas y de bajo vigor de la misma forma que el último grupo donde están los genotipos 2 y 8 mostrando de 13.5 y 13.3 cm cada uno, conformando el último lugar por su baja calidad de LMR, teniendo escasa longitud de radícula después de ser sometidos a un EA.

### **Tasa de Crecimiento de Plúmula después del Envejecimiento Acelerado (PSEA)**

Los resultados de comparación de medias mostradas en el Cuadro 4.4, se obtuvieron seis grupos estadísticos donde el primer grupo lo integra el normal de alta poliembriónía(21) donde obtuvo 199.9 mg/plántula, donde sobresalen del resto del grupo por presentar calidad en su materia seca ya que ambos presentan características poliembriónicas.

Este grupo estadístico está dado por 8, 18, 24, 5, 16, 3, 12, 2, 7, 6, 17, 22 y 11 siendo sus pesos de 101.2 a 141.3 mg/plántula respectivamente, mostrando

valores similares y con alta calidad de PS entre los genotipos, y haciendo comparación entre ellos donde las cruzas que contienen germoplasma de poliembrionía haciendo que sus dos a más plúmulas generan materia seca y el genotipo 24 se destaque por ser éste un híbrido que compite en rendimiento y se vea reflejado en materia seca.

El tercer grupo está dado por los genotipos 4, 19, 20, 1, 23, 9 y 10, los cuales reflejaron valores de 90 hasta 99.5 mg/plántula de peso en materia seca, teniendo valores similares donde la poliembrionía tuvo una participación muy importante por calidad de PS, por presentar dos o más plántulas que no se viera afectada durante el tiempo que fue sometida a estrés.

El cuarto grupo estadístico contiene a los genotipos 14 y 25 obteniendo ambos 88.7 % mg/plántula de peso seco cada uno. Un siguiente grupo tenemos a 15 quien mostraron 87.5 mg/plántula, siendo de baja calidad por expresar un valor bajo. Quien integra el quinto grupo es el genotipo 13 con 82.7 mg/plántula, el cual tienen la calidad más baja en cuanto a peso seco ya que obtuvo el valor más bajo del grupo y probablemente después del EA se vean afectados.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo una vez expuestos todos los resultados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Existe una diferencia en la calidad fisiológica de los materiales estudiados por los diferentes genotipos por ser poliembriónicos, con contenido de alto aceite y por otros materiales convencionales.
- Los materiales estudiados reflejaron que su calidad fisiológica es muy variada por presentar varios grupos estadísticos en la comparación de medias de las semillas en la capacidad de germinación en PN, PA y SSG; en el porcentaje de poliembrionía; así como en el vigor de la semilla mediante LMP, LMR y PS.
- Los genotipos 22, 9, 6, 11, 12, 13 y 3 fueron los de más alta calidad fisiológica, en la prueba de capacidad de germinación antes y después de un envejecimiento acelerado por presentar siempre en el primer grupo estadístico; sobresaliendo 22 con mayor porcentaje de PN y no haber presentado anomalías y SSG en ambas pruebas.
- Los genotipos 10, 17, 5, 4 y 14 fueron los que presentaron mayor poliembrionía en la capacidad de germinación antes y

después de un envejecimiento, destacando a 7 y 9 como los de más altos porcentajes en la prueba de envejecimiento acelerado donde dicha característica no se afectada al ser sometida a estrés y conserva su genética, envejecimiento acelerado.

## RESUMEN

En la actualidad existen programas de mejoramiento sobre el cultivo de maíz en algunas instituciones privadas y públicas en las se pretende contribuir al desarrollo integral, de la nación y sus regiones. Estos programas son generados por diferentes instituciones como es la UAAAN, que a través del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) a lo largo de varios años han generado poblaciones de maíz con diferentes características de valor nutricional y rendimiento como por ejemplo de poliembrionía de porte normal y enano.

El trabajo experimental se llevó a cabo bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, evaluando y comparando la calidad fisiológica de genotipos con características poliembriónica, de alto contenido de aceite y dos variedades comerciales, considerando su capacidad de germinación mediante las variables plántulas normales (PA), plántulas anormales (PA), semillas sin germinar (SSG); el porcentaje de poliembrionía (PE) y el vigor dado por la longitud media de plúmula (LMP), longitud media de radícula (LMR), tasa de crecimiento de plántula (PS), así como una prueba de estrés, envejecimiento acelerado (EA) en tres repeticiones por cada genotipo. Los datos registrados se analizaron en un diseño completamente al azar, así como una prueba de comparación de medias, utilizando el paquete estadístico SAS; encontrando una diferencia altamente significativa en todas las variables evaluadas; dentro de la comparación de medias en la prueba de germinación sobresalieron los genotipos 1, 2, 8, 9, 22, 23 y 25 con 100 % de PN y 0 % de PA, quienes después del EA presentaron la mejor calidad fisiológica fueron los genotipos 22, 11 y 12 con 100 % de PN, ya que presentaron mejor germinación y desarrollo de PN. Además de 19 y 6 con un porcentaje de 1.3% en PA después del EA.



Los genotipos 5, 6, 16, 1 y 3 ambos con un valor de 1.3 %, teniendo alto vigor por obtener menos porcentaje de SSGEA. Así como 7 con un porcentaje de poliembrionía de 54.7 % resaltando de los demás ya que mostro en porcentaje más alto en PEEA.

En cuanto a LMPEA sobresalió 19 con 45.1 cm de longitud dejando una marcada diferencia con el resto de los materiales y en la prueba de LMREA se destacaron 23 con 19.7 cm, el genotipo 7 con un valor 19.32 cm y a 10 con 18.3 cm de longitud, comprobando en esta prueba la calidad en tasa de crecimiento de plántula peso seco el normal de alta poliembrionía 21 con un valor de 199.9 mg/plántula y así como también 8 con 141.3 mg/plántula mostraron tener mejor calidad en PSEA.

En maíz con porcentajes de germoplasma poliembriónico puede ser mejorada su calidad fisiológica cuando se cruza con otros materiales generando nuevos materiales que pueden competir con los convencionales como el AN-447 y VAN-210.

Los materiales 22, 9, 6, 11, 12, 13 y 3 fueron los de más alta calidad fisiológica, en la prueba de capacidad de germinación antes y después de un envejecimiento acelerado por presentarse siempre en el primer grupo estadístico; sobresaliendo 22 con mayor porcentaje de PN y no haber presentado anomalías y SSG en ambas pruebas. Los materiales 10, 17, 5, 4 y 14 fueron los que presentaron mayor poliembrionía en la capacidad de germinación antes después de un envejecimiento, destacando a 7 y 9 con los más altos porcentajes en la prueba de envejecimiento acelerado.

Palabras clave: Poliembrionía, Aceite, Semilla.

## LITERATURA CITADA

Amadori, M. 1989. Ácidos grasos esenciales. Divulgación 14:76-78.

AOSA (Association of Official Seed Analysts) 1992. Vigor Testing handbook. Contribution No. 32 to the handbook of seed testing. USA. 6:1-126.

Austrias, M.A. 2004. Maíz de alimento sagrado a negocio del hombre. Ed. Accion ecológica. Quito Ecuador. pp 945.

Azevedo R. A, Lancien M, Lea PJ 2006. The aspartic acid metabolic pathway, an exciting and essen pathway in plants. Amino Acids 30: 143-162.

Barnes, R. F. 1986. Foreword: *In*: M.B. McDonald, Jr.; C.J. Nelson (eds). Physiology of seed deterioration. CSSA special publication, USA. No. 11. P. 7.

Barrie A.M. M and Drenan, D. S. H. 1971. The effect of hydration- dehydration on seed germination. *New Phytol.* 79:135-142.

Bergvison, D. J. and García-Lara, S. 2007. Programa integral para reducir perdidas poscosecha en maíz. *Agricultura Técnica en México.* 33(2):181- 189.

Besnier F.R. 1989. Semillas. *Biología y tecnología* (2ª edición) Ed. Mundi prensa. Madrid p. 637.

- Boyer, C. D. and Hannah, L. C. 2001. Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura Técnica en México*. 33(1):53-61.
- Bustamante, G. L. A. 1995. Pruebas de germinación y vigor en semillas y sus aplicaciones. Curso de actualización sobre tecnología de semillas Memoria Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Bustamante, L. A. 1979. La pureza varietal en la producción de semillas. Curso de tecnología de semillas en opción a tesis. Escuela Superior de Agricultura Hermanos escobar. Ciudad Juárez, Chihuahua. pp 245-25.
- Can, H. *et al.*, 1999. Identification of de soluble starch synthesis activities of maize endosperm, *Plant phisiol.*126, 205, 199.
- Castro, G.M. 1978. Informe de avances de investigación en el mejoramiento genético de Maíz. Boletín Técnico No. 1 universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México, p 47.
- Coutiño, E.B., A. Ortega C., V.A. Vidal M., G. Sánchez g., García A. 2008. Selección recurrente para incrementar el contenido de aceite en maíz comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 31 (3): 5-8.
- Delouche, J. C. and Baskin, C.C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *SeedSci. Technol.* 1:427-452.
- Erdelska, O., 1996. Clavagepolyembryony in vivo and in vitro. *ActaBotanicorumPoloniae* TOM 65(1-2) CTOP.001123-00125.
- Espinoza, J., S, JM., Jasso, D.1999. Contenido de grasa y proteína cruda en semillas de maíces poliembrionicos. En: Espinoza V., y J. del bosque Celestino (eds).

“Memoria del 2do taller nacional de especialidades de Maíz. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Espinoza, J., Vega, M.C. Navarro, E., Burciaga, G.A. 1998. Poliembriónía en maíces de porte normal y enano. *Agronomía mesoamericana*. 9(2):83-88.

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. pp. 4-7.

Fisher, D.; Gao, K. M.; King, K. N.; Boyer, C. D. and Gultinan, M. j. 1996. Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura Técnica en México*. 33(1):53-61.

Food y Agriculture Organization (1993). Informes de organizaciones internacionales sobre sus políticas, programas y actividades en relación con la diversidad biológica agrícola. Parte ii: Centros internacionales de investigación Agrícola del grupo consultivo sobre investigación Agrícola Internacional. México. p 13. FAO: <http://faostat.fao.org/site>.

Garay, A E. 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. pp. 2-1.

Gómez, E.; Royo, J.; Thompson, G. R. and Hueros, G. 2002. Establishment of cereal endosperm expression domains: identification and properties of a maize transfer cell-specific transcription factor, ZmMRP-1. *Plant Cell* 14:599-610.

- Hartcamp AD, White JW, Rodríguez-Aguilar A, Banzinger M, Hernández G, Bates L A  
2000. Modified method for rapid tryptophan analysis in maize. CIMMYT  
Research Bulletin 13: 3-6.
- Huang S, Whitney RA, Zhou Q, Kathleen PM, Dale AV, Jan A, Alan LK, Luethy MH  
2004. Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad  
proteica y normal. Universidad y ciencia. 22(2):153-161.
- International Seed Testing Association (ISTA), 2004. International Rules for Seed  
Testing P.O. BOX 308, 8803, Bassedorf CH- Switzerland ISBN3-906549-38-  
OChapter, 3, 4, 5 y 9.
- International Seed Testing Association (ISTA).1996. International rules for seed  
testing. Rules 1996. Seed Sci. Technol. 13(2):322. Holanda.
- Jann, R. C., and Amen. R. D. 1977. Whatts is germination. In the physiology and  
biochemistry of seed germination, A. A: khan, ed. Amsterdam: North Holanda  
Publishing Co., pp 7- 28.
- López S R. 2010. Calidad de semilla de cebada forrajera imberbe bajo diferentes  
dosis de fertilización nitrogenada. Tesis, Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro.
- Martínez, G.P. and T.M. Gradziel.2003. Sexual polyembryony in almond. Sex Plant  
Reprod 16:135-139.
- Matthews, S. 1980. Controlled deterioration: a new vigour test for crops seeds. *In*: P.  
D. Hebblethwaite (eds). Seed Production. London: Butterworths. pp. 467-660.
- Moreno M., E. 1996. Analisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa  
universitario de alimentos. Tercera edición. UNAM. México.

- Niño Grajales O. A. 2009. Calidad de semilla de trigo forrajero imberbe bajo dos métodos de producción. Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Opsahl-Ferstad, H. G; Deunff, E. L.; Dumas, C and Rogowsky, P.M. 1997. ZmEsr, a novel endosperm specific gene expressed in a restricted region around the maize embryo. *Plant J.* 12:235-246.
- Perreti, A. 1994. Manual para el análisis de semillas. INTA. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 281 p.
- Perry D.A. 1972. Seed vigour and field establishment. *Hort. Abstract* 42:334-342.
- Powell, A.A. 1988. Seed vigour and field establishment. *Advances in research and technology of seeds.* 16:419-426.
- Ramírez Mendoza L. E. 2010. Calidad de semilla en cereales producidos bajo tres densidades de siembra. Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp 43,54.
- Rodríguez, H.S y Castro, G.M.E. 1978. Estudio sobre herencia de semillas con dos embriones. *Avances de investigación en maíz.* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila. pp. 19.
- Sánchez C., I. 1994. Comparación de genotipos de maíz bajo condiciones deficientes de humedad en el suelo. *Terra Latino Americana.* 16(4): 331-335.
- SAS Institute Inc. 1989. SAS/ STAT User's Guide. Version 6. Fourth Edition. SAS Institute Inc. Cary. N.C.

Sayers: R. 1982. Pruebas de germinación y vigor. En: Memorias del curso de actualización sobre tecnología de semillas. UAAAN, México. 129-136p.

Secretaría de Agricultura, Desarrollo, Ganadería, desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación. <http://www.Sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2007/agosto/conferencia070807a.pdf>.

Serrano P B. 2009. Calidad fisiológica de semilla en líneas endogámicas recombinantes de sorgo (*Sorghum bicolor* L.). Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp 34, 39, 44.

Snook, L.K., cámara-cabrales, L. y Matthew, J.K. 2005. Six years of fruit production by mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King): patterns of variation and implications for sustainability. *Forest Ecology and Management* 206 (1-3): 221-235.

Steel, G. D. and JH Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill, New York. USA.

Suárez, Víctor e Iván Polanco: 2007 "El campo en cifras: los resultados de las políticas neoliberales 1982-2006" Estudio de la cámara de diputados al respecto al campo mexicano publicado en el diario *Ovaciones* el 31 de diciembre de 2007.

Thomson P.R., A.B. Geyer, L.D. Lotz, H.J. Siegrist, and T.L. Dobbels. 2003. Topcrossing oil corn production: Select grain quality attributes. *Agron. J.* 95:147-154.

Thomson, J. R. 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 TM. A. 2004. Identificación y cuantificación de proteínas en semillas de maíz relacionadas con germinación y vigor. Tesis de posgrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Valdez, L.E.L. 2005. Ganacia en calidad nutrimental del grano como repuesta asociada a la seleccion para poliembrionía en maíz. tesis de Maestria. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coaguila, Mex. 92 p.

Watson S A, J E Freeman 1975. Breeding corn for increased oil corn tent. *in*: Proc. 30th Annual Corn and Sorghum Res. Conf. Chicago, IL. 4-5 Dec. 2005. H D Lodem, D Wilkinson (eds). Am. Seed Trade Assoc., Washington, D.C. 30:251-275.

Wydstrom, N. W. and Jellem, M.B, 1976. Chromosomal location of genes controlling oleic and linoleic acid composición in the germ oil of two maize inbreds, *croms crop Sci.* 24:1113, 1984.



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.