

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**



**COMPARACIÓN DE LA IMBIBICIÓN, GERMINACIÓN Y VIGOR
EN NUEVE GENOTIPOS DE MAÍZ**

POR:

LUCILA VELÁZQUEZ GARCÍA

T E S I S

**Presentada como Requisito Parcial Para
Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo del 2004

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

**COMPARACIÓN DE LA IMBIBICIÓN, GERMINACIÓN Y VIGOR EN NUEVE
GENOTIPOS DE MAÍZ**

POR:

LUCILA VELÁZQUEZ GARCÍA

**Que Somete a la Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito
Parcial para Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por

Presidente del H. Jurado

Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo

Asesor

Dr. Víctor Manuel Zamora Villa

Asesor

Q.F.B. Alejandra Torres Tapia

Asesor

Ing. Modesto Colin Rico

M.C. Arnoldo Oyervides García
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo del 2004

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso

Por darme la oportunidad de vivir, y permitirme seguir adelante en el camino de la sabiduría y el amor. Por estar conmigo en todo momento de mi vida y por ser fuente de inspiraron y vida.

A mi "Alma Mater"

Por haberme recibido con los brazos abiertos y otorgado las facilidades para mi superación profesional. Siempre llevaré en alto tu nombre.

En especial al Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo, **por los conocimientos, paciencia y dedicación brindado para la realización de esta investigación y sobre todo por su valiosa amistad.**

Al Q.F.B. Alejandra Torres Tapia, **por su valiosa colaboración y orientación en la conducción y revisión de esta investigación.**

Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa, **por su apoyo y colaboración en el análisis estadístico, así como sus sugerencias y revisión del documento.**

Al Ing. Modesto Colin Rico, **por su valioso apoyo y revisión de este trabajo de investigación.**

A los profesores de la División de Fitomejoramiento **que compartieron conmigo gran parte de sus experiencias y conocimientos y que gracias a su dedicación contribuyeron de una manera u otra en mi formación profesional.**

A mis amigos y compañeros de la Generación XCVI de Ingenieros Agrónomos en Producción, **con quienes compartí buenos y malos momentos durante mi estancia en la universidad.**

DEDICATORIA

Con respeto y admiración

A mi Madre:

A mi

Padre:

Sra. Eva García Morales

Sr. Roselino

Velázquez Luna

*Por su amor, motivación
y confianza depositada en
mí para salir adelante en
este largo caminar.*

*por su alto ejemplo de padre
incondicional, que siempre
lucha buscando lo mejor
para sus hijos.*

**Especialmente a ellos, por el gran amor que siempre me
han brindado y por transmitirme los valores necesarios para mi**

formación personal y profesional y por hacer de mi una persona de bien, motivándome a salir adelante en los momentos de mi vida. Por esto y más.....Gracias.

A mis hermanos

Con cariño y amor

Lourdes, Micael, Ma. Olga, Antonieta, Jesús, Ericel y Aída Guadalupe, por sus comprensión y apoyo moral que me han brindado durante el transcurso de mi vida y por todos los momentos de sacrificio en ustedes. Especialmente a Jesús, Antonieta y Ericel, quienes me han brindado apoyo constante tanto económico como moral.

A mis abuelitos:

Isabel Velázquez (q.e.p.d)

Guadalupe Luna (q.e.p.d)

Mauro García (q.e.p.d)

Dolores Morales (q.e.p.d)

Si existieran, tengo la plena seguridad de que estarían orgullosos de mí

A mis cuñados

Rafael Calderón y Marisabel Fernández, por sus consejos y apoyo brindado como motivo de superación.

Al Sr. Francisco Gómez y Sra. Arely Roblero, por sus consejos, amistad incondicional y por la confianza depositada en mí.

A mis sobrinos (as).

Porque son inocencia, alegría y esperanza, lo cual han llenado de alegría y entusiasmo mi vida, pero sobre todo porque los quiero mucho.

A todos ustedes, porque el triunfo no es solo mío, sino de todos.

INDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
INDICE DE CUADROS	
INDICE DE FIGURAS	
1. INTRODUCCIÓN.....	
Objetivos.....	
Hipótesis.....	

2. REVISIÓN DE LITERATURA.....

- Concepto de semilla.....
- Calidad de la semilla.....
- Importancia de la calidad de semillas.....
- Factores que afectan la calidad de semillas.....
- Componentes de calidad de semillas
- Calidad genética.....
- Calidad fisiológica.....
- Calidad sanitaria.....
- Calidad física.....
- Germinación.....
- Requerimientos para la germinación.....
- Proceso de germinación.....
- Etapas de germinación.....
- Imbibición de agua por semilla.....
- Vigor.....
- Factores que influyen en el vigor de las semillas.....
- Trabajos relacionados con imbibición de semillas de maíz.....

3. MATERIALES Y METODOS.....

- Localización del área de estudio.....

Material

experimental.....

Parámetros evaluados.....

Diseño estadístico.....

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....

Análisis de varianza.....

Comparación de medias.....

VARIABLES EVALUADAS.....

Prueba de imbibición.....

5. CONCLUSIONES.....

6. RESUMEN.....

7. LITERATURA CITADA.....

8. APÉNDICE

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág
3.1	Características físicas de los genotipos de maíz evaluados en laboratorio.....	22
4.1	Cuadrados medios y significancia de las variables fisiológicas evaluadas en la prueba de germinación estándar y envejecimiento acelerado, en nueve genotipos de maíz.....	28
4.2	Comparación de medias para germinación estándar, longitud media de plúmula y peso seco de plúmula en nueve genotipos de maíz.....	31
4.3	Comparación de medias para el vigor, longitud media de plúmula (EA) y peso seco de plúmula (EA) en nueve genotipos de maíz.....	34
4.4	Cuadrados medios y significancia para los tiempos de imbibición en nueve genotipos de maíz.....	36
4.5	Resultados de la comparación de medias para la variable volumen de agua absorbida en la prueba de imbibición de nueve genotipos de maíz.....	37

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
A.1	Porcentaje de germinación y vigor en prueba de envejecimiento acelerado en nueve genotipos de maíz	51
A.2	Longitud media de plúmula (LMP) en germinación estándar y envejecimiento acelerado en nueve genotipos de maíz.....	51
A.3	Peso seco de plúmula (PSP) en germinación estándar y envejecimiento acelerado en nueve genotipos de maíz	52
A.4	Peso seco de plúmula (PSP) y longitud media de plúmula (LMP) en germinación estándar y envejecimiento acelerado en nueve genotipos de maíz	52
A.5	Volumen de agua absorbida en nueve genotipos de maíz	53

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevo acabo en el Laboratorio de Ensayos de Semillas, del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con los objetivos de cuantificar y caracterizar los atributos de calidad, como la germinación, vigor y la imbibición de la semilla, de nueve genotipos de maíz cosechados en las localidades de Villagran, Gto. en el periodo de Primavera- Verano del 2003.

La germinación estándar y el vigor se realizó de acuerdo a las reglas de la ISTA (1996), midiendo las variables: plántulas normales(PN), longitud media de plúmula (LMP), peso seco de plúmula (PSP), tanto en la prueba de germinación estándar como en la de envejecimiento acelerado. Además se realizaron pruebas de imbibición de la semilla a intervalos de 4 horas hasta las 52 horas, con la finalidad de conocer la capacidad que tienen las semillas de absorber suficiente agua (volumen) en la prueba de imbibición.

Los resultados mostraron que los genotipos de maíz presentaron mayor comportamiento en la prueba de

germinación estándar, que aquellas que se sometieron a la prueba de envejecimiento acelerado, excepto el G2, quien presentó un comportamiento similar al registrado en la germinación, ya que tuvo un 99% de germinación y vigor respectivamente, indicando que es un material con la capacidad de tolerar condiciones desfavorables en campo.

Se encontró que los mejores genotipos fueron el G2, G6, G7 y G9, quienes son capaces de tolerar condiciones adversas de temperatura y humedad, indicando que son materiales de mejor calidad fisiológica. Por otro lado, el genotipo con menor calidad fisiológica fue encontrado por el G1, quien presentó valores bajos en todas sus características evaluadas en ambas pruebas, esto debido a su constitución genética o que probablemente presenta problemas sanitarios.

En cuanto a la cantidad de agua absorbida por las semillas en los nueve genotipos de maíz, se observó que en las primeras ocho horas a partir de haber iniciado la imbibición se presentó la mayor cantidad de agua absorbida, lo cual, podría ser un suceso crítico para el inicio de la germinación y el establecimiento del cultivo, esto dependiendo de la condición genética, física, fisiológica y sanitaria de las semillas.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura moderna, gran parte del éxito productivo destinado a la producción de semilla fundamentalmente depende del uso de semilla de alta calidad. De ahí, la importancia de evaluar periódicamente la calidad de la misma mediante ensayos de laboratorio, que permitan al agricultor garantizar la calidad de su semilla con la información real y confiable.

Dicha importancia dio lugar al desarrollo de métodos adecuados para evaluar los diferentes atributos de calidad de las semillas, donde llegaron a diseñar pruebas en laboratorio basadas en estos atributos, permitiendo orientar el manejo de los lotes de semilla en su producción, almacenamiento y comercialización; y tratar de reproducir las condiciones naturales que la semilla encontraría en el campo.

La calidad de semilla está determinado por diferentes componentes como los genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios; cuando alguno de ellos es alterado, puede ocasionar problemas en la emergencia en campo y esto nos da como resultado menor rendimiento del producto. Dentro de estos, el componente fisiológico permite a la semilla cumplir su rol de establecimiento del cultivo y es afectado en gran medida por los demás componentes. Entre los parámetros utilizados en el

componente fisiológico, se encuentran la germinación y el vigor, sin embargo, los resultados que arrojan estas pruebas solo discriminan genotipos que presentan diferencias y resistencia genéticas, así como la posible presencia de contaminación por microorganismos vivos que modifican los resultados en las pruebas fisiológicas.

Otro indicador de la calidad fisiológica es el vigor, que denota la completa habilidad de las semillas para funcionar bien bajo condiciones de campo, ya que existen semillas que tienen la capacidad de extender la raíz durante la germinación, pero realmente no tienen un buen potencial para establecer una planta en condiciones de campo.

Dentro de las etapas en el proceso de germinación y vigor de las semillas, está la imbibición, donde la hidratación es condición indispensable en las semillas secas para la activación del metabolismo y la subsiguiente germinación. La absorción de agua suele efectuarse en tres fases; una fase inicial de rápida absorción, una intermedia, en la cual, el contenido de agua de la semilla permanece casi constante y una fase final de intensa absorción que está relacionada con el alargamiento de las células y la aparición de la radícula. Sin embargo, durante este proceso existen materiales que por sus diferentes características genéticas y composición química difieren en la capacidad de absorción de agua, la germinación y el vigor cuando la semilla es sembrada.

Por lo antes expuesto, es necesario cuantificar las características y atributos de la calidad fisiológica de las semillas, así como identificar diferencias entre genotipos en su comportamiento; por lo que la germinación, el vigor y la

imbibición (antes de que el pericarpio de la semilla sea fisurado por la emergencia de la radícula), juegan un papel importante para clasificar materiales genéticos.

En este sentido, el Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en coordinación con Monsanto S.A. de C.V, se realizó el presente trabajo con la finalidad de generar información que servirá de base para los técnicos de producción y de control de calidad en semillas y tomar medidas que conlleven a un buen establecimiento del cultivo durante las etapas de germinación en laboratorio y campo, por lo cual, en este trabajo se plantearon los siguientes:

OBJETIVOS

- ❖ Evaluar el volumen de agua absorbida por las semillas en la prueba de imbibición, de nueve genotipos de maíz.**

- ❖ Determinar el porcentaje de germinación y vigor de nueve genotipos de maíz a nivel laboratorio.**

HIPÓTESIS

- ❖ Al menos uno de los genotipos evaluados tendrá mayor imbibición (volumen) que repercuta con el mayor porcentaje de germinación.
- ❖ No existen diferencias de germinación y vigor entre los genotipos evaluados.

REVISIÓN DE LITERATURA

Concepto de Semilla

Moreno (1996), mencionó que en términos económicos y comerciales, se conoce como semilla a toda clase de granos, frutos y estructuras más complejas (unidad de semilla) que se emplean en las siembras agrícolas, y desde el punto de vista botánico, es un embrión en estado latente, acompañado o no del tejido nutricional y protegido por el epispermo.

Camacho (1994) y Hartmann y Kester (1995) mencionaron en un sentido botánico mas estricto, que la semilla es un óvulo fecundado, independiente de la planta madre, que ha madurado hasta adquirir la diferenciación y capacidad fisiológica para originar un nuevo ser. Por su parte, Serrato (1995) mencionó que la semilla verdadera es un óvulo fecundado que posee una planta enbriónica, material de reserva almacenado y una cubierta protectora.

Calidad de la Semilla

Fernández (1985) define a la calidad de la semilla como el grado de excelencia cuando se compara con un estándar aceptable.

Popinigis (1985) menciona que la calidad de semilla es la suma de todos los atributos genéticos, sanitarios, físicos y fisiológicos.

Thomson (1979), reporta que calidad de la semilla es un concepto múltiple que puede ser calificado particularmente a partir de ciertos atributos como: pureza varietal, germinación, vigor, sanidad, apariencia, uniformidad, pureza física, grado de daño mecánico, estado de madurez, entre otros. El mismo autor, menciona que la calidad de las semillas comprende diversos componentes, a pesar de que para muchos agricultores una semilla de calidad es aquella que germina y esta libre de especies invasoras no deseables.

Delouche (1985), define la calidad de la semilla en forma individual como aquellas características que incluyen pureza varietal, viabilidad, vigor, daño mecánico, infección por enfermedad, tamaño y apariencia. Para un lote de semillas, las características de calidad incluyen contenido de humedad, potencial de almacenamiento, incidencia de contaminantes, uniformidad del lote y potencial de rendimiento.

Serrato (1995) refiere a la calidad de la semilla como aquellas que además de satisfacer todos los requerimientos exigidos en el mercado, tienen cualidades que les confieren una rápida y uniforme emergencia y desarrollo de plántulas normales bajo un amplio rango de condiciones de rendimiento.

Importancia de la calidad de semillas

Krieg y Bartee (1975), mencionan que la calidad de la semilla es uno de los factores que afectan el comportamiento y productividad de la mayoría de los cultivos. Por su parte, Douglas (1982) indica que la calidad de la semilla es muy importante al ser un aspecto esencial para la supervivencia de la humanidad, por cuanto almacena el más alto potencial genético que la naturaleza pudiera llegar a desarrollar, y además, la considera como un elemento vital para el desarrollo de la agricultura moderna.

Miranda (1981), considera que la calidad de la semilla es una cualidad muy importante y útil en la agricultura, ya que es indispensable para que se alcancen altos rendimientos en la producción de grano y semilla de muchas especies de cultivos. Por otro lado, Perretti (1994) considera que una semilla viable es una semilla capaz de desarrollar una planta normal aun bajo condiciones ambientales no ideales, tal como puede ocurrir en el campo. Para ello, debe contar con propiedades que le aseguren germinar bajo un amplio rango de condiciones agro-climáticas.

Fornos (2003), reporta que aquel agricultor que utiliza semilla de calidad garantiza en parte el éxito de su producción.

Factores que afectan la calidad de semillas

Thomson (1979) reporta que la calidad de la semilla durante el período de fecundación y al momento de la siembra es afectada por distintos factores , siendo principalmente los ambientales antes de la cosecha; los métodos de cosecha, secado, el daño mecánico durante el manejo y procesamiento, contenido de humedad, condiciones de almacenamiento, ataque de insectos y enfermedades, etc.

Delouche (1971), considera que la calidad de las semillas refleja el efecto de los factores más significativos que actuaron sobre ella durante el transcurso de su formación, esto quiere decir, que la calidad de las semillas es el producto de su propia historia, ya que desde su fecundación hasta su siembra, las semillas se encuentran sujetas a muchas fluctuaciones del medio, mismas que determinan su calidad.

Villa (1982), menciona que después de cosechada la semilla, esta permanece con vida, por lo que ocurren reacciones bioquímicas que conducen al deterioro de la calidad, ya sea por su contenido de humedad, temperatura u otras condiciones propias del grano y su ambiente, por lo que es importante manejar practicas de secado y acondicionamiento.

Componentes de calidad de semillas

Bustamante (1995) y Moreno (1996), mencionan que el peso de la semilla forma parte de los componentes de calidad y puede ser afectado por factores ambientales, tales como la temperatura y el contenido de humedad, quienes inciden en el manejo y conservación de la semilla, ocasionando en cierta forma la pérdida de vigor y viabilidad.

Wood *et al.*, (1977) mencionan que en general, los lotes de semilla de maíz cosechadas tienen variación en cuanto a forma, tamaño, peso y calidad. Estas variaciones pueden presentarse dentro de un cultivo y en la misma planta, debido a factores genéticos y ambientales, entre los que destacan la competencia por luz, agua, nutrientes, período de floración y efectos por factores bióticos, como plagas, enfermedades y malezas. Además, los mismos autores mencionan que la mayor cantidad de semilla de maíz son planas, puesto que ocupan las tres cuartas partes de la mazorca y las bolas se encuentran en los extremos, por lo que es importante tomar en cuenta la forma de las mazorcas, ya que al comparar mazorcas cónicas y cilíndricas, las primeras presentarán mayor cantidad de semilla bolas que las mazorcas cilíndricas.

Martínez (1989) encontró que las semillas planas, grandes y pesadas de maíz son de mayor calidad que las otras categorías, al presentar mayor peso seco de plántulas, así como su germinación. Por su parte, Muchena y Grogan (1977), mencionaron que semillas pequeñas de maíz tienen ventajas sobre las categorías superiores para germinar, esto cuando se tienen problemas de sequía, ya que requieren absorber menor cantidad de agua para iniciar el proceso de germinación.

Garay *et al.*, (1992) afirman que la calidad de la semilla involucra cualidades básicas que están incluidas en cuatro componentes que son: físico, fisiológico, genético y sanitario; por lo que concluyen que el potencial productivo de la semilla estará en un máximo nivel cuando en ella estén incluidos todos y cada uno de estos componentes.

Calidad genética

Serrato (1995), reporta que el componente genético viene determinado por el genotipo y el fenotipo de la variedad o híbrido, refiriéndose a un material de características sobresalientes. Además, Garay (1989) menciona que este componente se produce en la etapa del mejoramiento genético, y que constituye el primer componente esencial de la calidad total de la semilla. El impacto de este componente está en su capacidad de producir plantas con las mismas bondades genéticas a través del tiempo. Sin embargo, los atributos más importantes de este componente son la pureza genética o varietal que se deberá mantener mediante un programa extensivo de certificación, asegurando así, la uniformidad de la población que en términos de producción significa uniformidad de madurez de cosecha.

Por su parte, Agrawal (1980), menciona que los factores más importantes en el deterioro aparente y real de la calidad genética son: variaciones en el desarrollo, mezclas mecánicas, mutaciones, cruzamiento natural, influencia selectiva de enfermedades y la técnica del fitomejorador. El mismo autor señala que de estos factores, los más importantes son el cruzamiento natural, las mezclas mecánicas y la influencia selectiva de las enfermedades, seguidos por la obtención de la semilla fuera de las áreas de adaptación de la variedad y que pueden proporcionar variaciones y derivas genéticas.

Garay (1989) menciona que la calidad genética se puede asegurar sembrando semillas auténticas y puras, manteniendo esta autenticidad y pureza durante su multiplicación con metodologías preventivas como aislamiento, selección de campos apropiados, eliminación de variantes, inspecciones de verificación, etc. En programas más avanzados se pueden utilizar las pruebas de pre y poscontrol, así como análisis de pureza varietal basado en pruebas de invernadero y laboratorio.

Calidad fisiológica

Moreno (1996), considera a la calidad fisiológica como un valor comercial de la semilla, ya que es el principal atributo para evaluar calidad y que consiste en la capacidad de la semilla para germinar y producir una planta normal. Así mismo, Garay (1989) indica que el resultado tangible de la calidad fisiológica está en la facultad de la semilla de germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas. Una buena calidad fisiológica implica integridad de estructuras y procesos fisiológicos que le permiten a la semilla mantenerse no solo vivas, sino con alto índice de vitalidad. Dada esta importancia, la industria semillera siempre busca formas apropiadas para producir y medir la calidad fisiológica. Además, Moreno *et al.*,(1998) describen que la germinación y el vigor de la semilla, son los dos atributos más importantes de la calidad fisiológica, y que dependen del genotipo y del cuidado de su desarrollo en el campo y del manejo poscosecha.

De la Torre (1992), menciona que el componente fisiológico se refiere a las características de viabilidad y alta capacidad de germinación y vigor, que propicien el establecimiento de nuevos individuos. El mismo autor indica que la calidad, es resultado de la expresión de factores propios del genoma de la semilla, de su interacción con el ambiente en el que se desarrolla la planta madre, y del manejo de posmadurez.

Delouche (1986), reporta que la calidad fisiológica de la semilla lleva atributos intrínsecos que determinan su capacidad para germinar y emerger rápidamente y para producir plántulas vigorosas y uniformes bajo condiciones de campo que se presentan durante la época de cultivos.

Calidad sanitaria

Moreno (1976), reporta que el componente sanitario se refiere principalmente a la presencia de organismos causantes de enfermedades, tales como: hongos, bacterias, virus, insectos; aunque también pueden estar involucradas condiciones fisiológicas, como la deficiencia de microelementos. En tanto, Garay *et al.*, (1992) mencionan que es una de las cualidades básicas que influye en el potencial productivo de la semilla.

Moreno (1996), considera que el producto terminado, después de cuidadosas prácticas de cultivo, como son: cosecha, secado, limpieza y selección, tiene la más alta calidad biológica y está en la mejor forma de expresar todo el potencial genético que el fitomejorador concentró para obtener el máximo rendimiento y calidad posible de ese genotipo, lo cual depende en gran medida de la sanidad de las semillas.

Calidad física

Garay (1989), menciona que las características físicas son indicadores de la calidad de un lote de semillas. Entre las principales características físicas de interés están; la pureza analítica, el contenido de humedad, tamaño, peso y color de la semilla, entre otras. La pureza analítica nos indica el grado de contaminación con semillas extrañas y material inerte. El contenido de humedad es un factor de interés, ya que puede afectar la calidad fisiológica de la semilla durante su almacenamiento. El tamaño y peso son indicadores de la excelencia de la semilla, ya que un cultivo sujeto a condiciones ambientales adversas presentará una disminución en su peso volumétrico o en el peso de mil semillas. Finalmente el color de la semilla es una característica propia de cada

variedad o híbrido y en ocasiones es un indicador de la presencia de microorganismos. Todos los componentes juegan un papel importante en la aptitud de la semilla para la siembra, por lo que 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.

Germinación

Moreno (1996), define la germinación como la emergencia y desarrollo de la semilla de aquellas estructuras esenciales, las cuales por el tipo de semilla en cuestión, son indicativo de la habilidad para producir una planta normal bajo condiciones favorables en el suelo.

La Internacional Seed Testing Association (ISTA) (1996), reporta 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 indican si son o no capaces de desarrollarse en una planta satisfactoria bajo condiciones favorables. El porcentaje de germinación indica la proporción en número de semillas que han producido plántulas clasificadas como normales. Las siguientes estructuras son esenciales para que una plántula continúe su desarrollo a una planta satisfactoria, estas son: sistema radicular, eje del tallo, cotiledones, yemas terminales y coleóptilo.

Moreno (1996) reporta que la germinación se expresa como el porcentaje de semillas puras que producen plántulas normales, y que no se consideran como germinadas aquellas plantas rotas, malformadas o claramente anormales. Los ensayos de germinación son el medio más objetivo para predecir y evaluar el potencial de germinación de una semilla, el cual es muy importante en el mercado de semillas; además, estas pruebas proporcionan una valiosa información sobre la capacidad fisiológica bajo condiciones favorables, pero que raramente se encuentran en el campo.

Meyer *et al.*, (1972); mencionan que la germinación se puede ver de diferentes puntos de vista, es decir, morfológicamente es la reanudación del crecimiento activo a partir del embrión, lo cual provoca la ruptura de los tegumentos seminales y el brote de la nueva planta. Fisiológicamente, es la reanudación del metabolismo y el crecimiento, incluyendo el cambio hacia la transcripción del genomio. En cambio, desde el punto de vista de tecnología de semillas, según la ISTA (1996), es la emergencia y desarrollo a partir del embrión de aquellas estructuras esenciales que por el tipo de semillas de que se trate, son indicadoras de su habilidad para producir una plántula normal bajo condiciones favorables dentro del tiempo determinado, al evaluar la germinación se determina la proporción de plántulas normales, anormales y semillas sin germinar (latentes y muertas).

Richard (1982) menciona que las pruebas de germinación son el medio más objetivo para producir y evaluar el potencial de calidad de la semilla, lo cual es muy importante en el mercado de semillas. El hecho de que las pruebas de germinación sean conducidas bajo condiciones óptimas o favorables limitan su uso en la determinación de su valor de germinación, ya que dichas condiciones favorables se encuentran rara vez en el campo.

De acuerdo a Moreno (1976), el objetivo de las pruebas de germinación, es el de obtener información con respecto al valor de la semilla con propósitos agrícolas, así como para recabar información que pueda ser usada para comparar el valor agrícola de diferentes lotes de semilla. Mientras que Copeland y McDonald (1985), mencionan que la capacidad de germinación, es el ensayo de rutina para determinar la calidad fisiológica y corresponde al porcentaje en número de semilla pura que produce plántulas normales en el laboratorio; además, indica el potencial de un lote de semilla para establecer plántulas en condiciones favorables de campo.

Por su parte, la ISTA (1996) indica que el objetivo del ensayo de germinación es obtener información con respecto a la capacidad de las semillas para producir plántulas normales; información que permite hacer comparaciones de diferentes lotes de semilla de la misma especie.

Moreno (1984) señala que para la prueba de germinación, se recomiendan 400 semillas y que se pueden utilizar diferentes tipos de sustratos tales como: papel secante, papel filtro, toallas de papel, tela, algodón, arena y tierra.

Requerimientos para la germinación

Hartmann y Kester (1982), mencionan que para que la germinación se inicie, deben cumplirse ciertas condiciones: 1) que la semilla debe ser viable, esto significa que debe estar bien constituida; el embrión debe estar vivo con capacidad para germinar y deben existir las suficientes sustancias de reserva. 2) las condiciones internas de la semilla deben ser favorables para la germinación, esto es, que las barreras físicas (testa dura, impermeable, etc), fisiológicas y químicas (embrión rudimentario, inmaduro, presencia de sustancias inhibitoras, etc.) deben haber desaparecido y 3) la semilla debe encontrarse en las condiciones ambientales apropiadas, tener suministro de agua y oxígeno apropiados, así como temperatura y en ocasiones luz favorable.

Proceso de germinación

Mayer y Poliakoff (1982) mencionan que cuando las condiciones de germinación se presentan, el proceso comienza. Se dice que la germinación de una semilla de una planta superior, es el número de pasos consecutivos que causan que una semilla quiescente muestre un aumento general en su actividad metabólica e inicie la formación de una plántula nueva.

Weaver (1980) reporta que el proceso de germinación se da de la siguiente manera:

- a).- El agua del medio entra en la semilla, mediante la diferencia entre el potencial hídrico del medio y el potencial hídrico de la semilla, tanto las células del embrión como del endospermo se hidratan y entra en actividad, por lo que la semilla se hincha. La absorción de agua es un proceso físico-químico y se lleva a cabo más rápido a temperaturas altas.
- b).- El embrión empieza a producir ácido giberélico (GA₃), que va a actuar en la capa de aleurona que rodea al endospermo y la induce a secretar enzimas hidrolíticas, como alfa-amilasa, glucosidasa, fosforilasa, lipasa, etc.
- c).- Por acción de la alfa-amilasa y otras enzimas, el almidón se transforma a glucosa, teniendo así el embrión energía para su desarrollo.
- d).- El embrión empieza a producir citocinas, que junto con el ácido giberélico inducen la síntesis de otras enzimas que degradan a las proteínas y lípidos en compuestos más simples.
- e).- Por acción de las citocinas y contando con la energía producto de la oxidación de la glucosa y con proteínas solubles, las células del embrión se dividen activamente y la radícula rompe la testa o pericarpio, dando por terminado el proceso de germinación.
- f).- Las células del endospermo y posteriormente las del embrión sintetizan auxinas, que inducen al alargamiento de los meristemos de la radícula primero y del tallo después. Con un rápido crecimiento inducido por la acción de las auxinas, las citocininas inician el proceso de la diferenciación de los tejidos, así como el crecimiento direccional del tallo hacia arriba y el de la raíz hacia abajo.

Etapas de la germinación

Copeland y McDonald (1985) y Serrato (1995), mencionan que las semillas durante su germinación siguen una secuencia de eventos, los cuales son:

- Imbibición.- Absorción física del agua.
- Hidratación y activación.- Activación de las enzimas y formación de vacuolas.
- División celular y extensión.- Iniciación del crecimiento del embrión.
- Resurgimiento.- Ruptura de la cubierta de la semilla.
- Emergencia de la plántula.- Emergencia física del embrión de la semilla.

Imbibición de agua por semillas

Bidwell (1979), define la imbibición de la semilla como un mecanismo de actuación de procesos bioquímicos, la cual esta aplicada en la absorción del agua mediante el movimiento de ésta, de un área de alto potencial hídrico, a otra de bajo potencial. Por su parte, Kozlowski (1972) menciona que durante la germinación, el primer evento es la absorción de agua, lo que en semillas de maíz ocurre a través del pericarpio, provocando la reactivación de las células meristémicas de la raíz y el ápice de la plántula.

Copeland y McDonald (1985), mencionan que el primer proceso que ocurre durante la germinación es la absorción de agua por la semilla, proceso denominado imbibición. La extensión de la imbibición depende de tres factores: 1) composición de la semilla, 2) permeabilidad de la cubierta de la semilla y 3) disponibilidad de agua. De acuerdo a Popinigis (1985), la velocidad de imbibición de la semilla es afectada por la especie, permeabilidad de la cubierta, temperatura, área de contacto, composición química y condición fisiológica, cantidad de agua y presión hidrostática.

Tesar (1988) indica que la reactivación del sistema metabólico comienza con la imbibición de agua y la rehidratación de proteínas y enzimas, así como de organelos celulares. La respiración se incrementa seguida de una imbibición inicial que empieza a los 10 minutos, la duración de este incremento depende del sustrato almacenado en el eje embrionario.

Heydecker y Coolbear (1977), mencionan que las semillas pueden absorber agua en tres formas: por equilibrio con el vapor de agua de la atmósfera, por la imbibición de un sustrato húmedo y por inmersión de la misma semilla.

Devlin (1980) y Hebblethwaite (1983) reportan que el movimiento del agua que se realiza según el gradiente de presión entre la semilla y el agua que se absorbe, origina hinchamiento causado por imbibición, llegando a romper la testa de la semilla.

Vigor

La AOSA (1983), define al vigor, como “la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el potencial para una rápida y uniforme emergencia y desarrollo de plántulas normales bajo un amplio rango de condiciones de campo”. Por otro lado, la ISTA (1996) reporta que el vigor de la semilla, “es la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel de actividad y capacidad de la semilla o lote de semillas durante la germinación y emergencia de plántula”.

Perry (1972), menciona que el vigor es una característica fisiológica determinada por el genotipo y modificada por el ambiente, y que gobierna la capacidad de una semilla de producir rápidamente una plántula en el suelo.

Sayers (1982), menciona que el vigor es un concepto relativamente nuevo comparado con el de germinación y surgió de la observación de diferencias en el establecimiento de plántulas entre lotes de semillas, esto es

discrepancias entre los resultados de la prueba de germinación y la emergencia en el campo.

Moreno (1996), menciona que evaluar el vigor de las semilla 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, así como comparar el potencial biológico de los lotes con porcentajes de germinación similares, y también tomar decisiones sobre el tiempo de almacenaje al que pueden ser sometidas las semillas, ya que se ha visto que el vigor y la longevidad están altamente relacionadas.

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

Popinigis (1985), menciona que la variación de vigor en las semillas puede deberse a la constitución genética, estrés durante el desarrollo de la semilla, condiciones desfavorables de campo después de madurez fisiológica y antes de la cosecha, grado de madurez en la cosecha, tamaño, peso de la semilla, contenido de humedad durante el almacenamiento y presencia de patógenos.

Miranda (1984), menciona que el vigor máximo se logra cuando la semilla alcanza su madurez fisiológica en la planta, y es el punto donde se logran el peso seco máximo, el más alto vigor y viabilidad de la semilla, y a partir del cual, como la señala Copeland y McDonald (1985), la pérdida de vigor predice la pérdida de germinación y viabilidad. Por lo que las semilla de buen comportamiento se denominaran de alto vigor y aquellas de pobre comportamiento serán consideradas semilla de bajo vigor (Perry, 1987).

Factores que influyen en el vigor de las semillas

Perry (1977), reporta que normalmente el agrónomo y el analista no conocen todo el historial de los lotes de semillas bajo análisis, desconociendo así, las posibles razones que causan las diferencias en vigor.

Kovar (1987), menciona que las diferencias de vigor de la semilla durante la germinación dependen de la exposición de las plantas madres a condiciones de estrés durante y particularmente al final de su desarrollo, con un balance favorable de temperatura y precipitación con una humedad adecuada del suelo.

Perry (1972), indica que a pesar de las diferencias de opinión concernientes a los factores que afectan el vigor de la semilla, la noción de variación en el comportamiento y actividad de la semilla que germinan están presentes, por lo tanto, queda claro que el vigor es un concepto múltiple y no la única propiedad cuantificable, no obstante, este mismo autor menciona que varias causas que afectan el vigor se han establecido y agrupado en dos grupos:

- 1.- Variaciones intrínsecas debidas al genotipo.
- 2.- Variaciones inducidas por las condiciones externas del medio ambiente que interactúan sobre el genotipo.

El mismo autor, las agrupa en: constitución genética, medio ambiente, nutrición de la planta madre, estado de maduración a la cosecha, tamaño, peso, gravedad específica, integridad mecánica, deterioro y patógenos. En cambio, Copeland y McDonald (1985), la sintetizan en: vigor híbrido, dureza de la semilla, posmaduración y medio ambiente a la cosecha y finalmente almacenamiento. Se advierte entonces, que el vigor es parte fundamental como índice de calidad y que particularmente podrá verse afectado en cualquier etapa de la obtención de la semilla.

Perry (1987) reporta que los procesos que influyen en el comportamiento de la semilla sobre el vigor, pueden presentar variaciones asociadas con diferencias en el vigor propio de las semillas, dentro de estos están los procesos bioquímicos durante la germinación, las reacciones enzimáticas, la actividad respiratoria, la tasa y uniformidad de germinación de la semilla, el crecimiento de plántula en el campo y la habilidad de emergencia de plántula bajo condiciones no favorables. Así mismo, mencionan que los efectos del nivel del vigor pueden persistir para influir en el desarrollo de la planta, uniformidad del cultivo y rendimiento.

Moreno (1995) menciona que los factores que afectan el vigor de una semilla, son:

- a).- Genotipo.- La constitución genética determina el vigor de las plántulas.
- b).- Madurez de la semilla.- según maduran la semillas, el potencial de germinación y vigor aumenta. Semillas maduras dan su máxima expresión de vigor en contraste con semillas inmaduras. Plantas con floración indeterminada dan diferentes grados de madurez.
- c).- Condiciones ambientales.- La temperatura y disponibilidad de humedad, temperatura del aire y disponibilidad de humedad del suelo durante el desarrollo afectan el tamaño de semilla, rendimiento posterior, germinación y vigor. Altas temperaturas y baja humedad del ambiente, dan como resultado un bajo vigor y bajo rendimiento.
- d).- Tamaño de la semilla.
- e).- Daño mecánico.- Semillas dañadas mecánicamente pueden parecer normales, pero presentan menor vigor que las semillas sin dañar. Puede ser en la trilla, limpieza, tratamiento, envasado, transporte, y durante la siembra.

f).- Envejecimiento.- Disminuye el vigor.

g).- Ataque de microorganismos.

Trabajos relacionados con imbibición de semillas

Bahena (2003), al trabajar con genotipos de trigo harineros y duros cosechados en diferentes localidades y ciclos de producción, encontró que los genotipos de trigos duros producidos en Navidad, N.L. durante el ciclo 1998 – 1999, mostraron en promedio mayor peso inicial de la semilla seca, (característica de la especie) y mejor capacidad de absorción de agua (gluten más duro). Donde los genotipos harineros producidos en Celaya, Gto., en el ciclo 2000 a 2001, presentaron niveles más altos de calidad fisiológica. Encontrando finalmente, que la mayor tasa de imbibición se da a los primeros cuatro horas de haber iniciado el contacto de la semilla con el agua.

Huerta (1990), encontró que en el osmoacondicionamiento de la semilla con NaCl a potenciales osmóticos de -1.0 MPa, estimuló una mayor germinación de 33%, y un mayor crecimiento de plántulas, que cuando la semilla fue imbibida en agua u osmoacondicionada con NaCl a -2.0 y -3.0 MPa; ya que con esto, el resultado fue negativo, esto quiere decir que no hubo germinación.

McDonald *et al.*, (1998), al trabajar con semillas de soya, encontraron que después de 72 horas del inicio de la imbibición, el eje embrionario se hidrato más que cualquier otra parte de la semilla en más de 50 g de agua/kg de peso fresco.

Murdock y Foley (1992), al realizar estudios con semilla de avena silvestre (*Avena fatua*), encontraron que la germinación se inicio a las 24 horas después del inicio de la imbibición, alcanzando el 100 % a las 48 horas.

Soqui (1981), al realizar estudios con semillas de maíz para determinar las condiciones de osmoacondicionamiento, utilizando soluciones salinas a potenciales osmóticos de - 0.5, - 1.0, -1.5 MPa, permitieron una mayor germinación y emergencia de plántulas, mientras que el osmoacondicionamiento con KH_2PO_4 a - 1.0 MPa mejoró la emergencia de plántulas de semillas de maíz en comparación con los efectos negativos obtenidos cuando el tratamiento se realizó con $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$ y $\text{Zn} (\text{NO}_3)_2$.

MATERIALES Y METODOS

Localización del área de estudio

El presente trabajo de investigación se efectuó en el Laboratorio de Ensayos de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, durante el período de Septiembre del año 2003 a Marzo del 2004.

Material experimental

El material experimental utilizado fueron nueve genotipos de maíz (*Zea Mays L.*), proporcionados por la empresa semillera de Monsanto, S.A de C.V, que por motivo de confidencialidad no se proporcionarán sus nombres comerciales y solo se denominan como genotipos, cabe mencionar que estos materiales fueron cosechados durante el ciclo de Primavera – Verano del 2003.

Cuadro 3.1. Características físicas de nueve genotipos de maíz evaluados en laboratorio.

Genotipo (G)	P.V (Kg/HL)	PMS (Grs)
1	75.4	310.53
2	86.3	343.24
3	75.3	371.78
4	78.0	240.34
5	82.1	410.54
6	80.7	368.93
7	81.9	360.37
8	82.4	281.75
9	79.6	318.76

PV: Peso volumétrico (Kg/HL).

PMS: Peso de mil semillas (grs).

Parámetros evaluados

Germinación estándar (GS)

Esta prueba se realizó conforme a las reglas de la International Seed Testing Association (ISTA, 1996), utilizando el método de papel toalla. El ensayo consistió en poner cuatro repeticiones de 25 semillas tomadas al azar por cada tratamiento (genotipo), estas se sembraron entre dos toallas de papel secante de tipo anchor, humedecidas; donde se enrollaron y se aseguraron con ligas, formando los “tacos”. Posteriormente los rollos o tacos se identificaron con sus respectivos genotipos y repetición correspondiente, indicando la fecha y guardándolas en bolsas de polietileno, colocándolas después en cestas metálicas y en una cámara germinadora a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ por 6 días. Al término del período de incubación se evaluaron registrándose las plántulas normales (PN), donde los resultados se registraron en porcentajes (%).

Longitud media de plúmula (LMP)

La estimación de esta variable se realizó con la finalidad de determinar la longitud media de plúmula como indicadora del vigor. Las plántulas utilizadas para determinar esta variable provinieron de la prueba de germinación estándar (GS), trazando una línea paralela en la parte central de la hoja y fijando una cinta adhesiva sobre la línea, a partir de ahí se trazaron seis líneas paralelas separadas a dos cm, denominándose los puntos medios entre las líneas los números 3, 5, 7, 9, 11 y 13 cm. En el papel y sobre la cinta adhesiva se colocaron las semillas orientadas con el embrión hacia la parte inferior de la línea, posteriormente se cubrieron con otra toalla húmeda, enrollándose y asegurándolas con ligas, donde los resultados son reportados en centímetros.

Las longitudes de plúmula se tomaron de las plántulas normales, obteniéndose a través de los números de plúmulas, multiplicado por el valor correspondiente que toman los puntos medios entre líneas. Después, los productos se sumaron y se obtuvo la longitud total, donde este valor se dividió entre el número total de semillas utilizadas en cada repetición (25 semillas), la cual se representa por la siguiente fórmula:

$$L = \frac{(X_{1n} + X_{2n} + X_{3n} \dots X_{13n})}{N}$$

Donde:

L = Longitud media de plúmula por repetición.

N = Número total de semillas en cada repetición.

n = Número de plúmulas entre cada par de paralelas.

X = Distancia media desde la línea central.

Peso seco de plúmula (PSP)

Para llevar a cabo la medición de esta variable, se tomaron las plántulas normales provenientes de la prueba de germinación estándar, separando la plúmula del resto de las semillas, colocándolas en bolsas de papel estraza perforadas y sometiéndolas a un proceso de secado de estufa a 65 °C por un período de 24 horas. Al finalizar este período se colocaron en un desecador para llevar a cabo su enfriamiento para luego determinar el peso seco expresado en miligramos por plúmula (mg/plúmula) en una balanza analítica con una precisión de 0.0001gr. El resultado se obtuvo restando el peso de la

bolsa más la plúmula, menos el peso de la bolsa, dividiendo el total entre el número de plántulas normales, expresada en la siguiente formula:

$$\text{mg/PI} = \frac{(\text{PB}+\text{P}) - (\text{PB})}{\text{N}}$$

Donde:

mg/PI = Miligramo por plúmula.

PB+P = Peso de la bolsa más la plúmula (gr).

PB = Peso de la bolsa (gr).

N = Número total de plántulas normales.

Envejecimiento acelerado (EA)

En esta prueba se utilizó una cámara de envejecimiento artificial que mantiene condiciones de temperatura de $42 \pm 1^\circ\text{C}$ y una humedad relativa del 100 por ciento. La cámara interna constó de un vaso de precipitado de 500 ml de capacidad, agregándosele 100 ml de agua, en su interior se colocó un soporte de material galvanizado para sostener una malla de alambre, esto con el fin de evitar el contacto del agua con las semillas, colocando 200 semillas y tapándolas con papel aluminio. El tiempo de exposición a la que se sometió fue de 96 horas (4 días) con una temperatura de 42°C . Al finalizar el período se sacaron las semillas y posteriormente se procedió a realizar pruebas de germinación (GS), según lo establece la ISTA (1996), LMP y PSP.

Prueba de imbibición (volumen)

Se realizaron cuatro repeticiones de 100 semillas tomadas naturalmente al azar por cada genotipo, donde se colocaron en vasos de precipitados de vidrio, a los que se le agregó 100 ml de agua, a intervalos de cada cuatro horas, se prosiguió a recolectar la cantidad de agua no absorbida por las semillas utilizando un colador de plástico, midiéndola mediante una pipeta de 100 ml la cantidad de agua recolectada. Para finalizar con este procedimiento, las semillas se regresaron a sus vasos correspondientes agregándole nuevamente 100 ml de agua para continuar la medición, hasta obtener semillas brotadas en un total del 50 + 1 por ciento, por cada repetición.

Cálculo del volumen de agua absorbida por las semillas

Para estimar el volumen de agua absorbida de las semillas de los nueve materiales evaluados en la prueba de imbibición, se tuvo que medir la cantidad de agua no absorbida por las semillas, esta se obtuvo restando el total de agua (100 ml) menos la cantidad de agua no absorbida, dando así, la cantidad de agua absorbida por la semilla, representada mediante la siguiente formula:

$$\begin{array}{rcl} \text{Cantidad de agua} & & \text{Volumen total} & & \text{Volumen no absorbido} \\ \text{absorbida (ml)} & = & \text{(100 ml)} & - & \text{(ml)} \\ & & \text{por la semilla} & & \end{array}$$

Diseño estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar para las variables evaluadas en las pruebas de germinación estándar, envejecimiento acelerado e imbibición. Para el análisis estadístico se llevó a cabo mediante el paquete estadístico SAS, utilizando el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + v_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor observado.

μ = Efecto de la media general.

v_i = Efecto del tratamiento.

ε_{ij} = Error experimental.

Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey al nivel de significancia de 0.05 de probabilidad en todas las variables evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Análisis de varianza

De acuerdo a los análisis de varianza (Cuadro 4.1), se presentan los cuadrados medios de las variables estudiadas dentro de la prueba de germinación estándar y envejecimiento acelerado. En la prueba de germinación estándar (GS) se encontraron diferencias altamente significativas ($\alpha= 0.01$) para: la longitud media de plúmula y peso seco de plúmula, mientras que en germinación, se presentaron diferencias significativas ($\alpha= 0.05$). Con lo que respecta a los coeficientes de variación, estos oscilaron entre 3.83 a 7.0%. Con

respecto a la prueba de envejecimiento acelerado de la semilla, se observó en el mismo cuadro que se encontraron diferencias altamente significativas para las variables de vigor, longitud media de plúmula y peso seco de plúmula. Con relación a los coeficientes de variación, estos oscilaron entre 6.90 a 12.87%. Lo anterior nos indica, que hubo una aceptable confiabilidad en los datos dentro de las características antes señaladas entre los materiales evaluadas antes y después del estrés.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y significancia de las variables fisiológicas evaluadas en la prueba de germinación estándar y envejecimiento acelerado, en nueve genotipos de maíz.

		GERMINACIÓN ESTÁNDAR			ENVEJECIMIENTO ACELERADO		
F.V	G.L	(GS)	LMP(GS)	PSP(GS)	VIGOR (EA)	LMP(EA)	PSP(EA)
GENOTIPO	8	53.111111*	3.06950**	768.28737**	380.000**	13.93299**	720.08885**
E.E.	27	13.62962963	0.34282963	20.7418389	39.7037037	0.91271111	27.8946944
C.V (%)		3.83	5.11	7.0	6.9	12.87	12.15

*, ** = Significativo al 5 y 1% de nivel de probabilidad respectivamente.

E.E. = Error experimental.

C.V. (%)= Coeficiente de variación.

GS = Germinación estándar.

LMP(GS) = Longitud media de plúmula en germinación estándar.

PSP (GS) = Peso seco de plúmula en germinación estándar.

VIGOR (EA) = Envejecimiento acelerado.

LMP(EA) = Longitud media de plúmula después del envejecimiento acelerado.

PSP(EA) = Peso seco de plúmula después del envejecimiento acelerado.

Comparación de medias

A continuación se presentan los resultados de la comparación de medias para cada una de las variables estudiadas en la prueba de germinación estándar y envejecimiento acelerado.

Germinación estándar (GS)

Con lo que respecta a la germinación estándar, en el Cuadro 4.2 se muestra que los genotipos con alto porcentaje de germinación fueron los genotipos G4 y G8 con 100 por ciento, seguidos por los genotipos G2, G5, G6, G7 y G9 con valores de 99, 98, 97, 97 y 96 por ciento respectivamente, siendo estadísticamente similares entre sí. Mientras que las germinaciones más bajas fueron registradas para los genotipos G1 y G3 con valores de 90 y 91 por ciento. Con lo anterior, los genotipos que presentaron comportamiento superior al resto de los genotipos estudiados en el porcentaje de germinación, se deben a su constitución genética de la semilla y que probablemente no presentaban problemas sanitarios; aunque en general, los materiales presentaron altos valores de germinación por lo que para su comercialización no tendrían ningún problema, ya que el valor mínimo sería de un 85%.

Longitud media de plúmula (GS)

Para la longitud media de plúmula (Cuadro 4.2), el genotipo con el valor más alto fue el G6 con 12.59 cm y numéricamente superior al resto de los genotipos, pero no difirió estadísticamente del G3, G4, G7 y G9, quienes presentaron longitudes que van de 12.30 a 11.24 cm, seguidos por los genotipos G2 con 11.03 cm y G8 con 11 cm. Por lo contrario, las longitudes más bajas las presentaron los genotipos G5 con 10.68 cm y G1 con 9.97 cm. Los valores obtenidos indican que el G6 es de alto vigor en su característica de longitud media de plúmula, la cual, coincide

con el rango de alto porcentaje de germinación, siendo un material de buena calidad fisiológica. Lo que no sucede con el G3, donde su germinación fue la más baja dentro de los genotipos estudiados, pero reportó buena longitud media de plúmula. Por lo contrario, el G5 al tener una alta germinación, sus plántulas no crecieron tanto al presentar una baja longitud, mientras que el G1 presentó el valor más bajo para esta característica, coincidiendo con el de bajo porcentaje de germinación entre los genotipos evaluados, considerado éste como material de bajo vigor.

Peso seco de plúmula (GS)

Con respecto al peso seco de plúmula (Cuadro 4.2) la comparación de medias para los diferentes genotipos oscilaron entre 43.18 a 84.04 mg/pl, de los cuales, los mejores genotipos fueron el G7 con 84.04 mg/pl y G6 con 77.97 mg/pl, siendo estadísticamente similares entre sí; mientras que G9 (72.97 mg/pl), G8 (69.03 mg/pl), G2 (69.09 mg/pl) y G5 (67.98 mg/pl) no difirieron entre sí. Los genotipos que manifestaron un comportamiento menor fueron G1 con 47.35 mg/pl y G4 con 43.18 mg/pl. De acuerdo a los resultados obtenidos, los genotipos que presentaron alto vigor en su característica de peso seco de plúmula, también coincidieron con el rango de alto porcentaje de germinación y longitud media de plúmula, considerándolos como material de alta calidad fisiológica, excepto el G5 quien reportó alta germinación, alto peso seco de plúmula, pero presentó bajo LMP, indicando que es un material de buenas características fisiológicas en condiciones óptimas para su desarrollo, presentando plántulas de una altura mediana. Por otro lado, el G1 tiene una menor calidad para el PSP, coincidiendo con los valores de bajo porcentaje de germinación y longitud media de plúmula, siendo este material de baja calidad fisiológica en relación al resto de los materiales estudiados, siendo sus posibles causas los efectos genéticos y probablemente problemas sanitarios.

El genotipo con el valor más bajo para esta característica de PSP es el G4, quien presentó el valor más bajo después del G1. Sin embargo presentó el nivel más alto de germinación y longitud media de plúmula con 100 % y 12.04 cm, indicando que producirán plántulas de buena altura pero no vigorosas.

Cuadro 4.2. Comparación de medias para germinación estándar, longitud media de plúmula y peso seco de plúmula en nueve genotipos de maíz.

Genotipo	GERMINACION ESTANDAR		
	GS	LMP(GS)	PSP(GS)
1	91 bc	9.97 d	47.35 cd
2	99 ab	11.03 bcd	69.09 b
3	90 c	11.24 abcd	54.39 c
4	100 a	12.04 abc	43.18 d
5	98 abc	10.68 cd	67.98 b
6	97 abc	12.59 a	77.97 ab
7	97 abc	12.30 ab	84.04 a
8	100 a	11 bcd	69.03 b
9	96 abc	12.20 ab	72.97 b

Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes Tukey (0.05).

GS = germinación estándar.

LMP(GS) = Longitud media de plúmula en germinación estándar.

PSP (GS) = Peso seco de plántula en germinación estándar.

Envejecimiento acelerado (EA)

Para la prueba de envejecimiento acelerado (Cuadro 4.3), se encontraron genotipos que a pesar de someter a la semilla a un estrés, estas mostraron altos porcentajes de vigor, siendo numéricamente el genotipo G2 con un 99%, pero no difirió estadísticamente de los genotipos G8 (98%), G7 (97%), G4, G5 y G6 (94%), G9 (91%) y G3 quien mostró un 88%; por el contrario, la germinación más baja fue registrada por el genotipo G1, quien tuvo un 67% de vigor. Por lo anterior, el G2 y el G7 son materiales de alto vigor, la cual no fueron afectados por las condiciones desfavorables a la que fueron sometidas, presentando así, el mismo porcentaje de germinación en la prueba normal, indicando que genéticamente mantiene el vigor con relación a los demás genotipos y probablemente no presentan problemas sanitarios, esto le permite la capacidad de tolerar condiciones desfavorables que se le presenten en campo, mientras que el G1, su germinación fue la más baja dentro de los demás genotipos evaluados, señalando que genéticamente es de bajo vigor por presentar los valores menores antes y después del estrés.

Longitud media de plúmula (EA)

En la longitud media de plúmula después de la prueba de envejecimiento acelerado (Cuadro 4.3), la comparación de medias arrojó dos grupos estadísticos, de los cuales en el primer grupo se encuentran los genotipos: G8 (9.02 cm), G2, G3, G6, G7, y G9 con un rango de 8.31 a 8.76 cm y no difirieron entre sí, mientras que los genotipos con menor longitud de plumula fueron para G1, G4 y G5, presentando longitudes de 4.35, 5.10 y 5.48 cm respectivamente. Con los resultados obtenidos en esta variable se puede observar que el G8 genéticamente es de alto valor en su característica de LMP, coincidiendo con el rango de alto porcentaje de germinación, demostrando ser un material de buena calidad fisiológica, por lo contrario, el G4 y G5, por sus valores de longitud media de plúmula y por ciento de germinación que disminuyeron considerablemente a lo presentado en la prueba normal, nos

indica que en condiciones óptimas tiene la capacidad de desarrollarse perfectamente, mientras que en condiciones desfavorables serían afectados drásticamente y no le permitirían desarrollarse como tal. Por lo tanto, es importante recalcar que el G1 fue el que presentó la LMP más baja, coincidiendo con el rango de bajo valor dentro de los genotipos estudiados antes y después de un estrés para todas las variables evaluadas, esto indica que es un material de comportamiento inferior al resto de los genotipos estudiados, ya sea por problema genético o de sanidad.

Peso seco de plúmula (EA)

Con respecto al peso seco de plúmula (Cuadro 4.3) después del envejecimiento acelerado, la comparación de medias arrojó cinco grupos estadísticos, en donde se agrupan primeramente el genotipo G7 y G6, quienes mostraron un alto valor en peso seco de plúmula (63.88 mg/pl y 56.55 mg/pl), mientras que en el segundo grupo destacan los genotipos G9 (50.67 mg/pl), G2 (45.41 mg/pl) y G5 con un 44.38 mg/pl, mientras que los genotipos que manifestaron menor comportamiento fueron G8 (39.10), G3 (41.40), G1 (31.25) y G4, quien registró un 18.50 mg/plúmula. Estos resultados señalan que el G7 tiene alto valor en su característica de PSP, coincidiendo con el rango de alto valor en longitud media de plúmula y porcentaje de germinación, indicando que es un material genéticamente superior al resto de los genotipos evaluados y que tiene la capacidad de tolerar condiciones no óptimas para su desarrollo en campo, considerándose ser de alta calidad fisiológica.

En cuanto al G4, este reportó los valores más bajos en su característica de peso seco de plúmula antes y después del estrés. Sin embargo, posee un alto porcentaje de germinación y longitud media de plúmula, solo que estas características fueron afectados por las condiciones a la que fueron sometidas, indicando que en condiciones desfavorables no prosperarían para una exitosa cosecha, seguido por el G1, quien reportó ser de bajo vigor por presentar valores inferiores

al resto de los genotipos evaluados en la prueba de germinación estándar y envejecimiento acelerado.

Cuadro 4.3. Comparación de medias para el vigor, longitud media de plúmula (EA) y peso seco de plúmula (EA) en nueve genotipos de maíz.

Genotipo	ENVEJECIMIENTO ACELERADO					
	VIGOR (EA)		LMP(EA)		PSP(EA)	
1	67	b	4.35	b	31.25	d
2	99	a	8.31	a	45.41	bc
3	88	a	8.62	a	41.40	cd
4	94	a	5.10	b	18.50	e
5	94	a	5.48	b	44.38	bc
6	94	a	8.76	a	56.55	ab
7	97	a	8.67	a	63.88	a
8	98	a	9.02	a	39.18	cd
9	91	a	8.49	a	50.67	bc

Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes Tukey (0.05).

VIGOR = Envejecimiento acelerado.

LMP(EA) = Longitud media de plúmula después del envejecimiento acelerado.

PSP(EA) = Peso seco de plúmula después del envejecimiento acelerado.

Con el propósito de representar los comportamientos que manifestaron cada uno de los genotipos evaluados para las características de porcentaje de germinación, longitud media de plúmula y peso seco de la misma, se elaboraron gráficas (Figuras A1, A2, A3 y A4), donde se representa claramente los comportamientos de vigor que presentaron, tanto en la prueba

de germinación estándar como en la del envejecimiento acelerado. Mostrando que el genotipo que menor calidad fisiológica reporto fue el G1 en todas sus características evaluadas y los genotipos con mayor valor de vigor fueron G2, G6, G7 y G9.

Prueba de imbibición

Volumen de agua absorbida

Para cada uno de los tiempos de imbibición se realizó un análisis de varianza con el fin de comparar la capacidad de las semillas para absorber agua, encontrándose diferencias altamente significativos en la mayoría de los tiempos, a excepción de 36, 44 y 48 horas quienes solo mostraron diferencias significativas. Los coeficientes de variación oscilaron entre 12.21 a 33.41 por ciento (Cuadro 4.4).

Comparación de medias:

Los resultados de la comparación de medias para el volumen de agua absorbida evaluadas en la prueba de imbibición (Cuadro 4.5), nos muestra que el G2 presentó los volúmenes más altos para los tiempos 4, 8, 12, 20, 24, 32, 36 y 40 horas, con volúmenes de 13.50, 14.25, 7.75, 6.75, 6.50, 8.5, 6.0 y 5.25 ml respectivamente.

Cuadro 4.4. Cuadrados medios y significancia para los tiempos de imbibición en nueve genotipos de maíz.

F. v	G.L	T4	T8	T12	T16	T20	T24	T28
Genotipo	8	14.59027**	33.81944**	6.31944**	5.06250**	2.38194**	5.37500**	9.59027**
E. E	27	3.84027	4.18518	0.73148	0.52778	0.56481	0.50926	0.39583
C.V (%)		17.19	25.93	15.95	13.41	14.62	14.04	12.21

Continuación cuadro 4.4

F. v	G.L	T32	T36	T40	T44	T48	T52
Genotipo	8	15.43750**	4.90278*	3.90278**	1.36111*	3.73611*	11.81944**
E. E	27	0.78704	1.59259	0.50926	0.51852	1.25000	0.58333
C.V (%)		14.58	33.41	17.72	20.25	29.38	18.45

** , * = Significancia al 0.01 y al 0.05 de probabilidad.
 F.V = fuente de variación.
 E.E = Error experimental.
 C.V (%) = Coeficiente de variación.
 T4 = Volumen de agua absorbida a las cuatro horas.
 T8 = Volumen de agua absorbida a las ocho horas.
 T12 = Volumen de agua absorbida a las doce horas.
 T16 = Volumen de agua absorbida a las dieciséis horas.
 T20 = Volumen de agua absorbida a las veinte horas.

T24 = Volumen de agua absorbida a las veinticuatro horas.
T28 = Volumen de agua absorbida a las veintiocho horas.
 T32 = Volumen de agua absorbida a las treinta y dos horas.
 T36 = Volumen de agua absorbida a las treinta y seis horas.
 T40 = Volumen de agua absorbida a las cuarenta horas.
 T44 = Volumen de agua absorbida a las cuarenta y cuatro horas.
 T48 = Volumen de agua absorbida a las cuarenta y ocho horas.
 T52 = Volumen de agua absorbida a las cincuenta y dos horas

Cuadro 4.5. Resultados de la comparación de medias para la variable volumen de agua absorbida en la prueba de imbibición de nueve genotipos de maíz.

Genotipo	T4	T8	T12	T16	T20	T24	T28
1	9.625 bc	9.75 b	6.75 ab	7.75 a	5.0 bc	6.0 ab	7.0 a
2	13.50 a	14.25 a	7.75 a	5.75 b	6.75 a	6.5 a	6.375 ab
3	13.75 a	9.50 b	5.0 c	6.0 b	4.5 c	6.25 ab	7.25 a
4	10.25 bc	7.50 bc	3.5 d	4.25 d	4.25 c	5.5 abc	4.75 cd
5	12.75 ab	7.25 bc	5.75 bc	5.50 bc	5.0 bc	4.75 cd	5.5 bc
6	12.50 ab	5.75 c	4.5 cd	4.5 cd	5.0 bc	3.75 de	4.5 de
7	11 abc	6.5 bc	5.0 c	4.5 cd	6.0 ab	4.75 cd	3.75 e
8	8.0 c	5.0 c	4.75 cd	4.5 cd	5.0 bc	3.0 e	2.5 f
9	11.25 ab	5.50 c	5.25 c	6.0 b	4.75 c	5.25 bc	4.75 cd

Continuación del cuadro 4.5

Genotipo	T32	T36	T40	T44	T48	T52
1	8.5 a	3.25 bc	6 a	4 ab	5.5 a	5.5 b
2	8.5 a	6.0 a	5.25 a	4 ab	4.0 abc	4.0 cd
3	8.5 a	4.75 ab	3.75 b	4.25 a	4.0 abc	7.75 a
4	6.5 b	2.0 c	3.0 b	2.75 c	2.25 c	2.25 f
5	5.25 bc	4.0 bc	3.75 b	4.0 ab	3.75 abc	5.0 bc
6	5.0 cd	3.5 bc	4.0 b	3.5 abc	3.5 bc	3.5 de
7	4.5 cd	3.25 bc	4.0 b	3.75abc	3.75 abc	3.75 de
8	3.75 d	3.5 bc	3.25 b	2.75 c	2.75 c	2.75 ef
9	4.25 cd	3.75 bc	3.25 b	3 b c	4.75 ab	2.75 ef

Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes Tukey (0.05).

T4 = Volumen de agua absorbida a las cuatro horas.
T8 = Volumen de agua absorbida a las ocho horas.
T12 = Volumen de agua absorbida a las doce horas.
T16 = Volumen de agua absorbida a las dieciséis horas.
T20 = Volumen de agua absorbida a las veinte horas.
T24 = Volumen de agua absorbida a las veinticuatro horas.
T28 = Volumen de agua absorbida a las veintiocho horas.
T32 = Volumen de agua absorbida a las treinta y dos horas.
T36 = Volumen de agua absorbida a las treinta y seis horas.
T40 = Volumen de agua absorbida a las cuarenta horas.
T44 = Volumen de agua absorbida a las cuarenta y cuatro horas.
T48 = Volumen de agua absorbida a las cuarenta y ocho horas.
T52 = Volumen de agua absorbida a las cincuenta y dos horas.

Los volúmenes de agua absorbida a las cuatro horas oscilaron entre 8.00 a 13.75 ml. Los genotipos con mayor volumen de agua absorbida fueron G3 (13.750 ml), G2 (13.50 ml), G5 (12.75 ml), G6 (12.500 ml) y G9 con 11.25 ml. Los cuales no difieren estadísticamente entre sí, mientras que los genotipos que presentaron menor volumen de agua absorbida fueron G7 (11 ml), G4 (10.25 ml), G1(9.625 ml) y G8 con 8.0 ml de agua absorbida. Por lo anterior, el genotipo que menor capacidad de absorción de agua presentó en este tiempo, fue el G8, pero la poca agua que absorbe en la etapa de imbibición es claramente visto que es aprovechada por ella misma, ya que presentó alto porcentaje de germinación, longitud y peso seco de plúmula, considerando éste un material de alta calidad fisiológica.

A las ocho horas de imbibición, los genotipos se ubicaron en un rango de 5.0 a 14.25 ml de agua absorbida, en donde el G2 absorbió 14.25 ml, el G1 9.75 ml, y G3 con 9.5 ml, siendo el G2 estadísticamente diferente al G1 y G3. Mientras que los volúmenes de agua absorbida más bajos fueron registrados por los genotipos G4 (7.5 ml), G5 (7.25 ml), G7 (6.5 ml), G6 (5.75 ml), G9 (5.5 ml) y G8 con 5 ml. Para esta variable, el genotipo que presentó menor absorción de agua para este tiempo fue el G8, siendo inferior dentro de los demás genotipos estudiados.

Para el volumen de agua absorbida a las doce horas, los genotipos con mayor incremento fueron: G2 (7.75 ml), y G1 (6.75 ml), mientras que los genotipos que presentaron menor

volumen fueron para el G3, G4, G5, G6, G7, G8 y G9, presentando valores entre 5.75 a 3.5 ml de agua. Siendo los genotipos G3, G7 y G9 los que registraron los valores bajos, a la vez de que no difirieron entre sí, así mismo el genotipo con menor volumen en comparación con los demás genotipos fue el G4 con 3.5 ml de agua absorbida.

Con respecto al volumen de agua absorbida a las dieciséis horas, los genotipos con mayor volumen de agua fueron el G1 (7.75 ml), seguidos por el G2, G3 y G9 con valores de 5.75 a 6.0 ml, los cuales no presentan diferencias estadísticas entre sí. En cambio los genotipos con menor volumen de agua absorbida fueron para el G4 (4.25 ml), G5 (5.5 ml), G6, G7 y G8 con 4.5 ml.

Para este tiempo, el genotipo que menor volumen de agua absorbió en comparación con los demás genotipos fue el G4 con 4.25 ml de agua absorbida.

A las veinte horas sobresalieron los genotipos G2 con 6.75 ml de agua absorbida, seguida por el G7, quien tuvo 6.0 ml. Los genotipos con menor volumen de agua absorbida fueron el G9, G3 y G4 con 4.75, 4.5 y 4.25 ml.

Para el volumen de agua absorbida a las veinticuatro horas, los genotipos que presentaron los valores más altos de agua absorbida fueron el G1(6 ml), G2 (6.5 ml) y G3 con 6.25 ml; por el contrario, los volúmenes de agua absorbida más bajos las presentaron los genotipos G6 y G8, quienes presentaron volúmenes de 3.75 a 3.0 ml respectivamente, manifestando ser iguales entre sí, en forma estadística.

Referente al volumen de agua absorbida a las veintiocho horas, donde se muestran los mejores genotipos en cuanto a volumen de agua absorbida (Cuadro 4.5), siendo estos el G1 con 7 ml y G3 con 7.25 ml de agua, quienes mostraron ser estadísticamente iguales, mientras que los genotipos que manifestaron un comportamiento menor de agua absorbida fueron el G6, G7 y G8 con 4.5, 3.75 y 2.5 ml.

Con respecto al tiempo de las treinta y dos horas, los genotipos que presentaron mayor comportamiento fueron G1, G2 y G3 con un valor de 8.5 ml de agua absorbida, siendo estadísticamente iguales entre sí y superiores al resto de los genotipos. Mientras que los genotipos con menor volumen de agua absorbida fueron para el G6, G7, G8 y G9, quienes registraron un rango de 3.75 a 5.0 ml de agua.

Con respecto al volumen de agua absorbida a las treinta y seis horas, el genotipo que mayor comportamiento registró fue el G2 con 6.0 ml y el G3 con 4.75 ml, mientras que el resto de los genotipos tuvieron valores estadísticos muy similares entre sí, ya que estos oscilaron entre 2 y 4 ml, correspondiendo el menor al G4 con 2.0 ml.

Para el tiempo de las 40 horas de imbibición, los genotipos con mayor comportamiento fueron el G1 y G2 con 6.0 y 5.25 ml, quienes no difieren entre sí; por el contrario, el resto de los genotipos presentaron los volúmenes de agua más bajos, los cuales oscilaron de 4.0 a 3.0 ml, además no difieren estadísticamente entre sí. El valor más bajo fue registrado por el G4 con 3.0 ml de agua absorbida para este tiempo.

Los genotipos con mayor volumen de agua absorbida a las cuarenta y cuatro horas fueron el G3, G2, G1, G5, G6 y G7, quienes presentaron valores de 4.25 a 3.75 ml, siendo estadísticamente iguales entre sí, mientras que los genotipos que presentaron menor comportamiento fueron G4, G8 y G9 con valores de 2.75 , 2.75 y 3.0 ml respectivamente.

Con respecto a las cuarenta y ocho horas de imbibición, los genotipos con mayor incremento fueron G1, G9, G2, G3, G5 y G7, quienes presentaron valores de 5.5 a 4.75 ml. En cambio, los genotipos que presentaron menor volumen de agua absorbida fueron el G4 y G8, registrando valores de 2.25 y 2.75 ml de agua absorbida.

Para las 52 horas de imbibición de las semillas, los genotipos que presentaron mayor volumen de agua absorbida

fueron el G3 (7.75 ml) y G1 (5.5 ml). Por otro lado, los genotipos que menor volumen de agua absorbieron fueron G4, G8 y G9, quienes exhibieron valores de 2.25, 2.75 y 2.75 ml de agua.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que los genotipos que mantuvieron un comportamiento similar al G2 fueron los genotipos G3 y G1 durante todos los tiempos de imbibición. Mientras que el genotipo G8 presentó los menores comportamientos de imbibición a los 4, 8, 24, 28, 32 y 44 horas, seguida por el genotipo G4, quien en los tiempos de 4, 12, 16, 20, 36, 40, 44, 48 y 52 horas de imbibición, registro el segundo valor más bajo con 10.25, 3.5, 4.25, 4.25, 2.0, 3.0, 2.75, 2.25 y 2.25 respectivamente.

Con la finalidad de representar la dinámica de la absorción de agua por las semillas, se elaboraron gráficas de la cantidad de agua absorbida en la prueba de imbibición para cada genotipo en los diferentes tiempos evaluados (Figuras A.5 del Apéndice). Donde las gráficas mostraron que invariablemente, la mayor cantidad de agua absorbida por la semilla de maíz ocurre en las primeras ocho horas a partir de haber iniciado el contacto de la semilla con el agua, observándose claramente el pico de máxima absorción de agua a las cuatro horas. Además se observa claramente que el genotipo G2, mantiene una tendencia a través del tiempo en relación a los demás genotipos.

CONCLUSIONES

Los genotipos que tienen alto porcentaje de vigor fueron el G7, G6, G9 y G2, quienes reportaron altos valores para las características de porcentaje de germinación, longitud media de plúmula y peso seco de la misma, coincidiendo con los valores obtenidos antes y después del estrés, donde reportaron alta capacidad de absorción de agua en la etapa de imbibición, indicando que estos materiales tienen la capacidad de tolerar condiciones no óptimas para su desarrollo una vez establecidas en campo, siendo materiales de alta calidad fisiológica.

Los genotipos G4 y G5 establecidos en condiciones óptimas para su desarrollo, presentaron buenas características, pero no tienen la capacidad de tolerar condiciones adversas para su desarrollo en campo. El G4 no tiene buen comportamiento para absorber suficiente agua en la etapa de imbibición, la cual es reflejado en su peso seco de plúmula.

El G1 es de bajo calidad fisiológica, ya que presentó los valores más bajos en sus características evaluados antes y después del estrés, así como de absorber suficiente agua en la etapa de imbibición, pero no es reflejado en sus características evaluadas, indicando que probablemente existan microorganismos que estén aprovechando el agua que absorbe la semilla y esto le afecta en su potencial de germinación, dando como resultado plántulas con bajo vigor.

El G8 en condiciones óptimas es de alta calidad fisiológica, por presentar buena germinación, buena longitud y buen peso seco de plúmula, pero en condiciones desfavorables para su desarrollo es afectado en su peso seco, esto porque no tiene la capacidad de absorber suficiente agua en la etapa de imbibición.

Con respecto a la dinámica de absorción de agua en la etapa de imbibición de las semillas de maíz, es que independientemente del genotipo, la mayor cantidad de agua acumulada por la semilla de maíz ocurre en las primeras ocho horas a partir de haber iniciado el contacto de la semilla con dicho elemento, lo cual, puede representar un suceso crítico para el inicio de la germinación y el establecimiento del cultivo.

LITERATURA CITADA

Agrawal, R. L. 1980. Effect of relative humidity and temperature on germination of seeds of two F1 sorghum hybrids and their parents during storage. Seed Sci. Technol. 6:31 – 37.

Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1983. Seed vigor testing handbook. Contribution No. 32. The handbook of official Seed. United States of America. 88p.

Bahena G., M.S. 2003. Atributos de calidad en semilla de genotipos de trigo y su relación con el establecimiento en invernadero. Tesis de maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 67 – 68.

Bewley, J. D. and Black, M. 1986. Seeds physiology of development and germination plenum. Press, New York and London. pp. 1,3 - 5.

Bidwell, R. 1979. Fisiología Vegetal. AGT. S.A. México. pp. 277 - 286.

Bustamante, G. L. A. 1995. Pruebas de vigor en semillas y sus aplicaciones. Curso de actualización de tecnología de semillas. Memorias, Buenavista, Saltillo, Coah. México.

Camacho, M. F. 1994. Dormición de semillas. Ed. Trillas. México. p. 13-20.

Copeland, L. O. and McDonald, M.B. 1985. Principles of seed science and technology 2da. Edition Macmillan Publishing Company. Minneapolis, Minnesota. New York, N.Y. p. 63 – 75.

De la Torre V., J. D. 1992. Descripción y mantenimiento varietal en variedades de frijol. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

Delouche, J. C. 1971. Determinants of seed quality. Sc. Proc. Seed Technol. Lab. Mississippi State. University. pp. 53 – 68.

- Delouche, J. C. 1985. Quality Control Proc. Short course for seeds men. Mississippi State University, United states of America. Vol 27:83- 94.
- Devlin, R. M. 1980. Fisiología Vegetal. Ed. Omega, S.A. Barcelona, España. p. 52 – 54.
- Douglas, J. E. 1982. Programas de semillas. Guía de planeación y manejo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Serie CIAT. (82). Cali Colombia. p.123 –163.
- Fernández, S. J. 1985. Glosario de términos usados en semillas. Centro Internacional de Agricultura tropical. Cali, Colombia. p.11.
- 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 – 11.
- Garay, A. E., Preston S. P. Rosales J., y Landivar J. 1992. Desarrollo de sistemas de semilla, el novedoso enfoque en Bolivia. Edit. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Bolivia. p. 5 – 10.
- Hartmann, H. y D. E. Kester. 1982. Propagación de plantas. Ed. C.E.C.S.A. México. 693.p.
- Hartmann, H. y D. E. Kester. 1995. Propagación de plantas. Ed. Continental. México. p. 130 – 165.
- Hebblethwaite, P. D. 1983. Producción moderna de semillas. Ed. Agropecuaria. Montevideo, Uruguay.
- Heydecker W. and Coolbear, P. 1977. Seed treatments for improved performances survey and attempted prognosis. Seed Sci. and Technol. 5, 353 – 425.**
- Huerta, B. A. 1990. Efectos del osmocondicionamiento con NaCl y KH_2PO_4 sobre la germinación de semillas de tomate bajo condiciones de salinidad *in vitro*. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. p.47 – 48.
- International Seed Testing Association. (ISTA) 1996. International rules for seed testing. Rules 1996. Seed Sci. Technol.13 (2): 299 – 355.
- Koslowski, T.T. 1972. Seed Biology Academy press. U.S.A V.1. 232p.
- Kovar, M. 1987. Wheat seed vigour. SBORNIK uvtiz, Genetika a Slecteni, 23(4): 289- 297. Czechoslovakia.

Krieg, D. R. and S. N. Bartee. 1975. Cotton seed density associated germination and seedling emergence properties. *Agron. Jour.* 67 (3). 347 – 349.

Martínez, M. V. 1989. Efecto de las características físicas sobre la calidad de las semillas de maíz. Tesis. UAAAN. Saltillo, Coah, México.

Mayer, A. M, and Poliakoff - Mayber, A.1982. Germination of seeds. Second Edition. Pergamon Press. Oxford, N.Y.192.p.

McDonald Jr. MB., C.W. Vertucci and E.E. Roos.1998. Soybean seed imbibition: water absorption by seed parts. *Crop Science* 28(6): 993-997.

Meyer, B. S., Anderson D.B., y Bohning R.H.1972. Introducción a la fisiología vegetal. Universidad de Buenos Aires. Argentina. p.59 - 63.

Miranda, C. M. 1981. Evaluation of an electrical conductivity method for rapidly estimating germination and assessing deterioration of soybean (*Glycine – max (L) Merr.*) seed. Ph. D. Desertación. Mississippi State University. Mississippi, EUA. p.96.

Miranda F. 1984. Vigor y pruebas de vigor de semillas. Conferencia VIII Curso de postgrado en tecnología de semillas. CIAT, Cali Colombia. p.18.

Moreno, M. E.1976. Manual para el análisis de semillas. Productora Nacional de Semillas (PRONASE). México, D.F. p. 72.

Moreno, M. E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología, UNAM. México. p. 103.

Moreno, M. E.1995. Los hongos de almacén y las micotoxinas. Memorias del I Curso Taller Internacional sobre métodos para la detección de patógenos de semillas. Buenavista, Saltillo, Coah. México.pp

Moreno, M. E.1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. 3ª Edición. Instituto de Biología. UNAM. México. D.F. 393p.

Moreno M., E., M.E. Vázquez, A. Rivera, R. Navarrete and F. Esquivel.1998. Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays L.*) stored under adverse conditions. *Seed Sci Technol.* 26:439 – 448.

Muchena, C. S. and C. D. Grogan. 1977. Effects of seed size on germination of corn (*Zea mays L.*) under simulated water stress conditions *Can. J. Plant. Sci.* 57: 921 – 924.

Murdock H.L. And M. E. Foley. 1992. Imbibition of water indurmant and after ripened wild oat Caryopses and Embryos. *NCWS proceedings*, Vol. 47.

- Perretti, A.1994. Manual para análisis de semillas. Primera Edición. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.281p.
- Perry, D. A.1972. Seed vigour and field establishment. Hort. Abstr. 42: 334 – 342.
- Perry, D. A. 1977. A vigor test for seeds of barley (*Hordeum Vulgare*) based on measurement of plumule growth. Seed Sci. Technol. 5: 709 – 719.
- Perry, D. A. 1980. The concepts of seed vigor and its relevance to seed production techniques. En: Hebbethwaite, P.D seed production butter worth Co. Great Britain. p.5.
- Perry, D. A. 1981. The concepts of seed vigor and its relevance to seed production techniques. En: Hebblethwaite, P.D seed production butter worth Co. Great Britain.
- Perry, D. A. 1987. Introduction: methodology and application of vigour tests: Growth and evaluation tests: Topographical Tetrazolium test. ISTA. Handbook of vigour test methods. 2^{da} Ed. Zurich, Switzerland. p. 72.
- Popinigis, F. 1985. Fisiología de semente. AGIPLAN. 2^{da}. Ed. BRASILIA - D.F. p.40 – 70.
- Richard, S. L.1982. Pruebas de germinación y vigor. En: Memorias del I Curso de Actualización sobre Tecnología de Semillas. UAAAN. Saltillo, Coah., México.
- Sayers, R. 1982. Pruebas de germinación y vigor. Memorias del Curso de actualización sobre tecnología de semillas, Buenavista, Saltillo, Coah. México.129 – 136.
- Serrato C., V.M. 1995. Manual de procedimientos de control de calidad en el campo en la producción de semillas de maíz. UAAAN. Vol.4 p.
- Soqui G., A. A. 1981. Efecto del osmoacondicionamiento con soluciones salinas sobre la germinación y emergencia de semillas de Maíz. Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah, México. pp. 93 – 94.
- Tesar, M. B. 1988. Physiological basis of crop growth and development. América Madison, Wisconsin. pp. 73 – 75.
- Thomson, J. R. 1979. An introduction to seed technology. Thomson litho Ltd. Great Britain. p. 1 -15.

Villa, L. G. 1982. Recomendaciones para el secado y almacenamiento de la semilla producida por el agricultor. Memoria de la reunión de trabajo, sobre semilla mejorada para el pequeño agricultor. CIAT. Cali Colombia. pp. 25 – 28.

Weaver, R. J. 1980. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Ed. Trillas. México. D.F. p 322.

Wood, D. W., P. C. Longden and R. K. Scott. 1977. Seed size variation, its extent, source and significance in field crops. Seed Sci. Technol 5: 337 – 352.

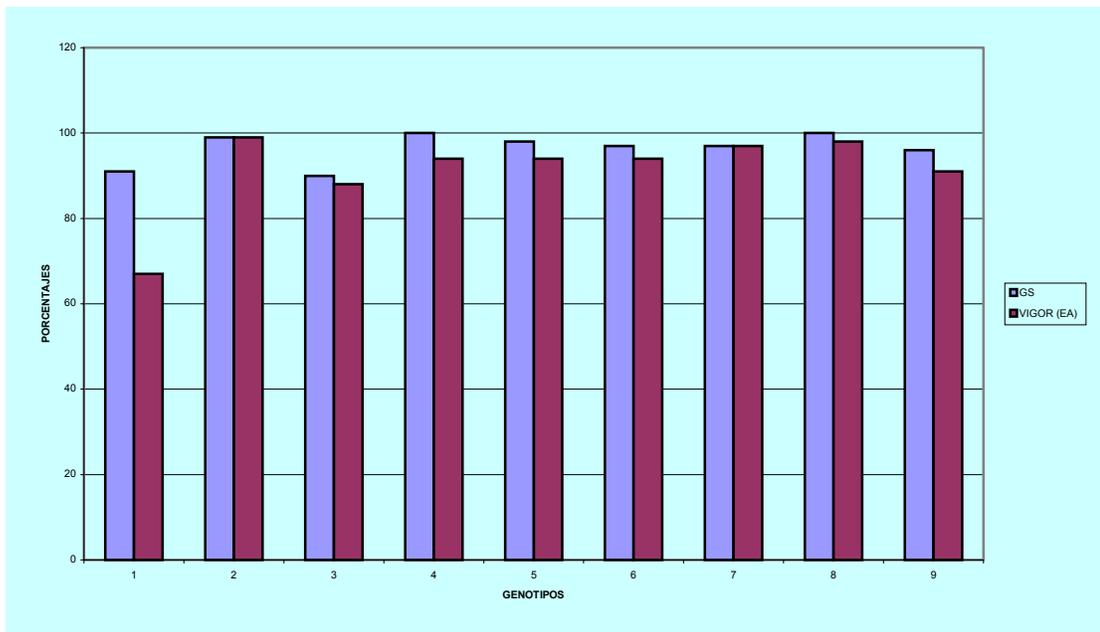


Figura A.1. Porcentaje de germinación y vigor en prueba de envejecimiento acelerado en nueve genotipos de maíz.

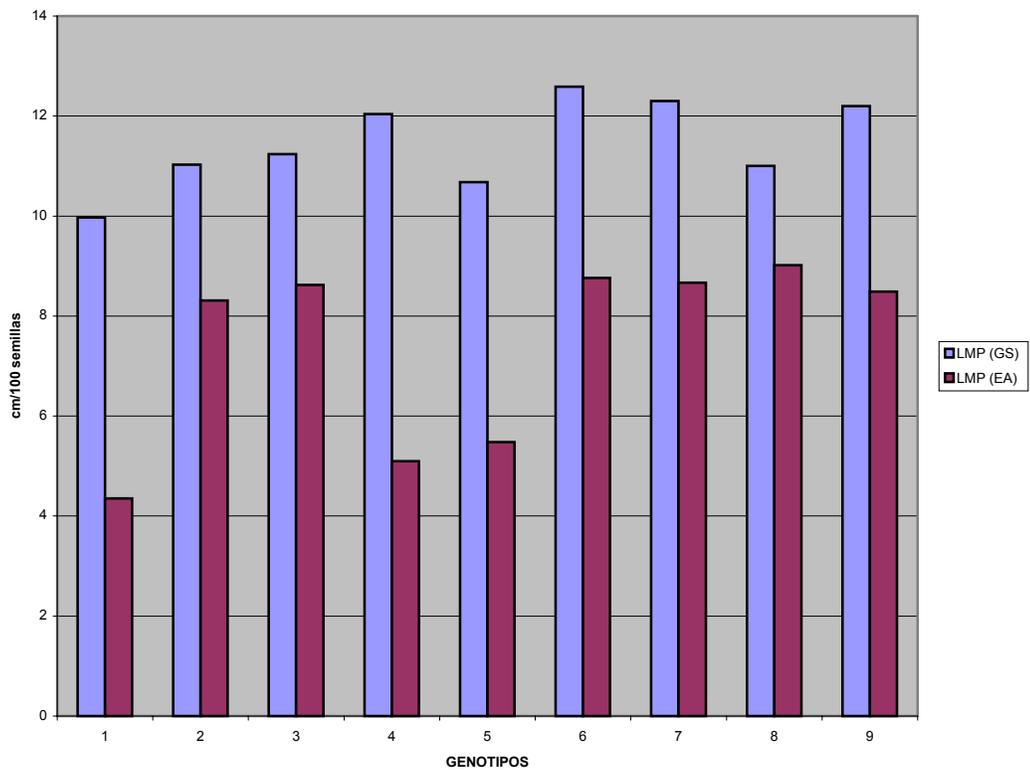


Figura A..2. Longitud media de plúmula (LMP) en germinación estándar y envejecimiento acelerado en nueve genotipos de maíz.

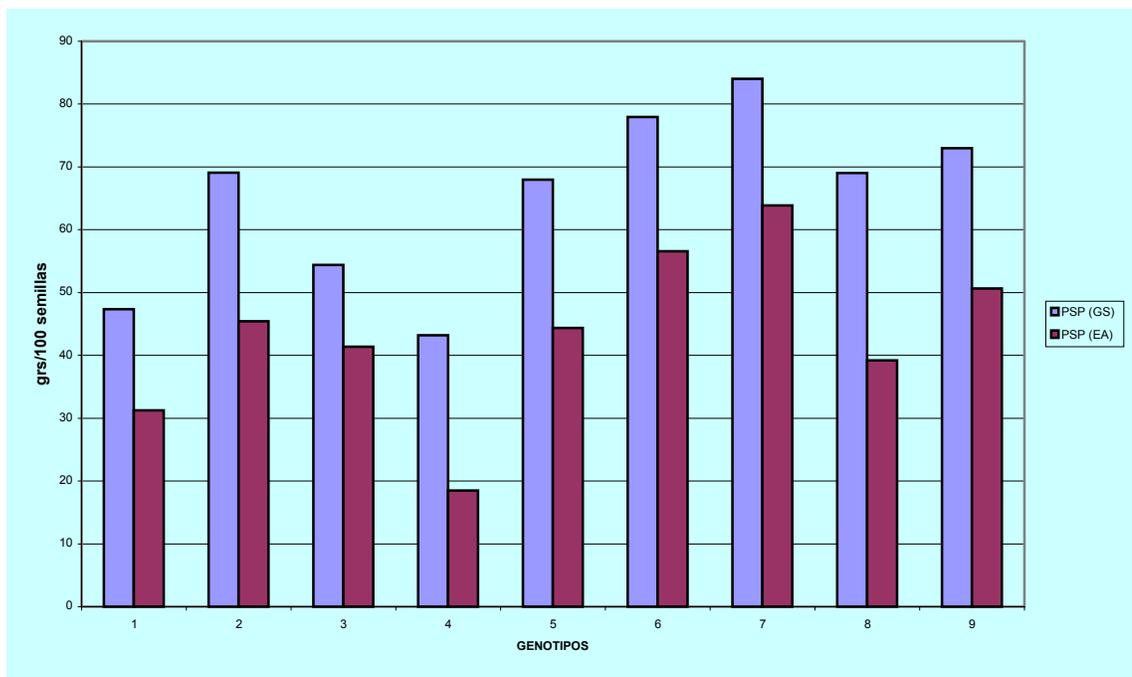


Figura A.3. Peso seco de plúmula (PSP) en germinación estándar y envejecimiento acelerado en nueve genotipos de maíz.

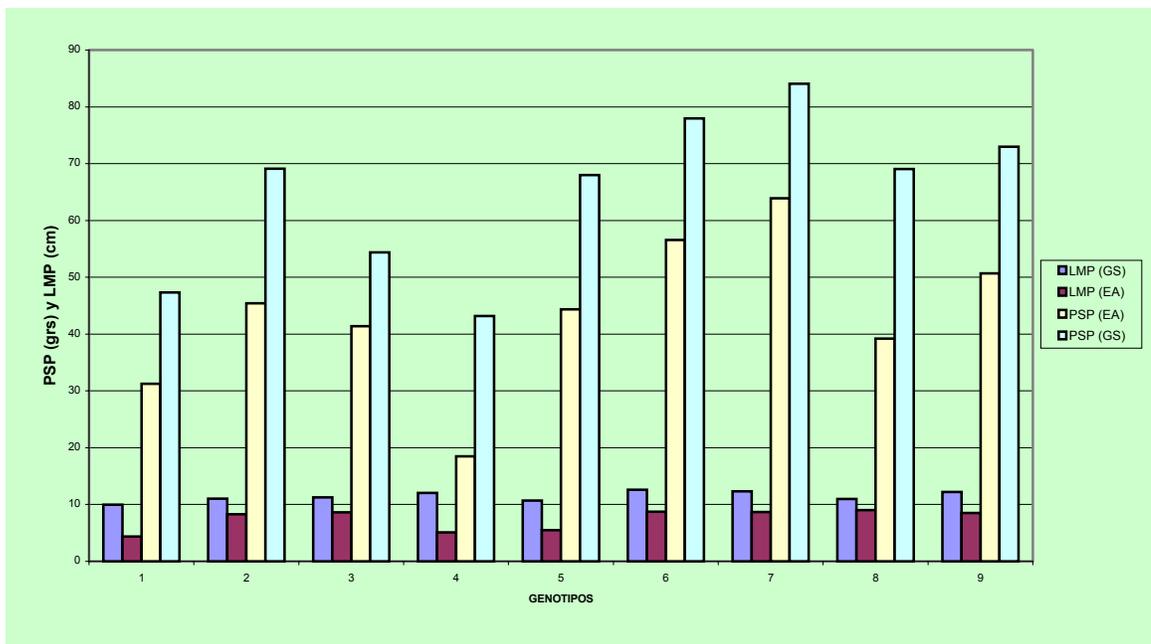


Figura A.4. Peso seco de plúmula (PSP) Y longitud media de plúmula (LMP) en germinación estándar y envejecimiento acelerado en nueve genotipos de maíz.

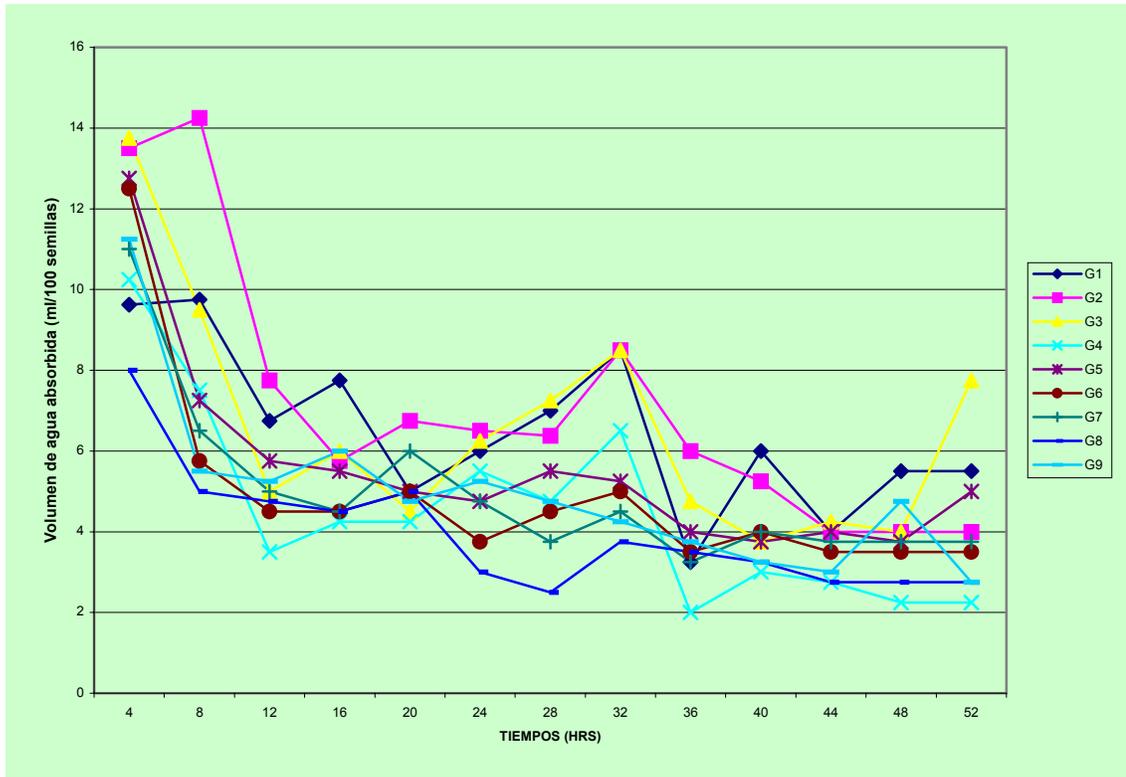


Figura A.5. Volumen de agua absorbida en nueve genotipos de maíz.