



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO  
POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y  
PRODUCTIVIDAD  
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS**

**CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE  
HÍBRIDOS DE MAÍZ DE LOS VALLES ALTOS  
CENTRALES DE MÉXICO Y SU RELACIÓN CON EL  
ESTABLECIMIENTO EN CAMPO**

**JIMENA E. BUSTAMANTE ZEPEDA**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER**

**EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, 2010**

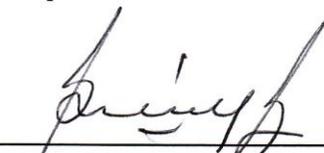
La presente tesis titulada: **Calidad física y fisiológica en semillas de híbridos de maíz de los Valles Altos Centrales de México y su relación con el establecimiento en campo**, realizada por la alumna: **Jimena E. Bustamante Zepeda** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Aquiles Carballo Carballo

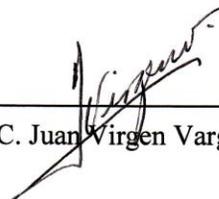
ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Gabino García de los Santos

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Adrián Hernández Livera

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Juan Virgen Vargas

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, Octubre de 2010

CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE HÍBRIDOS DE MAÍZ DE  
LOS VALLES ALTOS CENTRALES DE MÉXICO Y SU RELACIÓN CON EL  
ESTABLECIMIENTO EN CAMPO

Jimena E. Bustamante Zepeda, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2010

La calidad de las semillas es un elemento de suma importancia para los productores, por tal motivo las pruebas de calidad física y fisiológica son primordiales para estimar eficacia. En el presente estudio se efectuaron dichas pruebas en semillas de 18 híbridos comerciales de maíz de los Valles Altos Centrales de México. Se utilizaron el laboratorio y almaciguero del programa de semillas del Colegio de Postgraduados, además de cuatro localidades del Estado de México. En laboratorio se midieron las variables: porcentaje de germinación al primer conteo, contenido de humedad, peso volumétrico, análisis de pureza, condición del pedicelo, peso de mil semillas y se reclasificó a la semilla en seis tamaños. En almaciguero se sembró semilla en dos condiciones (arena-5 cm; tierra-8 cm) y se midió: velocidad de emergencia, peso seco parte aérea, longitud de mesocótilo y de plántula, plántulas normales y anormales. En campo se midió el porcentaje de establecimiento en Montecillo, Zumpango, Ayapango y Ozumbilla, Edo. de México. Los híbridos Buho, 32D06, Promesa, HS-2, HID-17, CMS939083 NT y CML 457/CML459 NT estuvieron dentro del rango de 75 kg hL<sup>-1</sup> para peso volumétrico; el híbrido Niebla tuvo 92.45 % de semilla plano medio; el mayor peso de mil semillas (418.20 g) lo tuvo Cromo 034. Los híbridos que tuvieron mayor velocidad de emergencia en almaciguero con tierra y arena de río fueron HS-2 (3.32 a 4.32 plántulas), H-48 (3.31 a 4.30 plántulas), HS-2 TEC08/TESTIGO (3.20 a 4.26 plántulas); H-40 tuvo mejor peso seco parte aérea (5.77 a 6.96 g); H-50 mejor longitud de mesocótilo (3.63 a 4.58 cm); H-48 (35.21 a 39.75 cm), H-40 (36.06 a 41.07 cm) y HID-17 (36.80 a 38.99 cm) obtuvieron mayor longitud de plántula en ambas condiciones. En germinación al primer conteo destacaron HS-2 TEC08/TESTIGO (66.71 %), H-40 (62.09 %), HIT-7 (57.47 %), PUMA 1075 (56.19 %) y HS-2 (55.63 %). En Montecillo se dio el mayor porcentaje de establecimiento (79.15 %) y el más bajo en Ayapango (57.13 %).

**Palabras clave:** calidad, emergencia, establecimiento, germinación, vigor.

PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL QUALITY IN SEEDS OF MAIZE HYBRIDS OF  
CENTRAL HIGHLANDS OF MÉXICO AND ITS RELATION WITH THE  
ESTABLISHMENT IN FIELD

Jimena E. Bustamante Zepeda, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2010

The quality of seeds is an element of extreme importance for producers, for this reason tests on physical and physiological quality are essential to assess effectiveness. In this study, these tests were conducted on seeds of 18 maize hybrids of Central Highlands of Mexico. It used the laboratory and seedbed of the seed program of the College of Postgraduates, and four localities in the State of Mexico. In laboratory conditions variables measured were: percentage of the first count germination, moisture content, volumetric weight, purity analysis, pedicel condition, weight of thousand seeds and the seed was reclassified in six sizes. In seedbed seed was subjected to two conditions (sand-5 cm; soil-8 cm), rate of emergence were measured, dry weight aerial, mesocotyl and seedling length, normal and abnormal seedlings. In field, establishment percentage was evaluated in Montecillo, Zumpango, Ayapango and Ozumbilla, State of México. The hybrids Owl, 32D06, Promise, HS-2, HID-17, CMS939083 NT y CML 457/CML459 NT were within the range of 75 kg hL<sup>-1</sup> volumetric weight; Fog had 92,45 % of flat half seed; the greater weight of thousand seeds (418.20 g) was obtained in Chromium 034. The hybrids with a greater rate of emergency were HS-2 (3.32 to 4.32 seedlings), H-48 (3.31 to 4.30 seedlings), HS-2 TEC08/WITNESS (3.20 to 4.26 seedlings); H-40 had better dry weight aerial (5.77 to 6.96 g); H-50 best mesocotyl length (3.63 to 4.58 cm); H-48 (35.21 to 39.75 cm), H-40 (36.06 to 41.07 cm) and HID-17 (36.80 to 38.99 cm) obtained more length of seedling in both conditions. In the first count germination emphasized HS-2 TEC08/WITNESS (66.71 %), H-40 (62.09 %), HIT-7 (57.47 %), Puma 1075 (56.19 %) and HS-2 (55.63 %). Montecillo had the highest percentage of establishment (79.15 %) and the lowest in Ayapango (57.13 %).

**Key words:** quality, emergence, establishment, germination, vigor.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Ma. Del Socorro Zepeda Albarrán y Benito Bustamante Monroy; a mis  
hermanos Judith, Liliana e Ignacio Bustamante Zepeda.

A mis ahijados Ana Camila y Emilio; a mis sobrinos Bernardito y Guillermito.

A mis abuelitos que aunque ya no están físicamente, sé que me han ayudado.

A los peques de la guardería.

Al Dios en el que creo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento monetario otorgado para la realización del postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, específicamente a la gente que conforma la especialidad de Producción de Semillas por su apoyo, información e impartición de conocimientos durante los años que estuve en esta prestigiosa institución.

Al Dr. Aquiles Carballo Carballo por su valiosa colaboración en la planeación, supervisión, dirección del proyecto y por creer en mí como persona y profesionista.

Al Dr. Gabino Dr. Gabino García de los Santos por su atención y asesoría en los momentos que así lo requerí.

Al M.C. Adrián Hernández Livera por sus sugerencias y comentarios en el aspecto académico, en la investigación y por las facilidades otorgadas dentro del laboratorio de análisis de semillas que está a su cargo.

Al M.C. Juan Virgen Vargas, por sus comentarios, su buena disposición y apoyo en la investigación.

A mis amigos, compañeros y trabajadores del Colegio de Postgraduados que me ayudaron en alguna parte de esta investigación para sacarla adelante.

## CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE CUADROS .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivos .....	3
1.2 Hipótesis .....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1 Situación de la producción de maíz en los Valles Altos Centrales de México .....	4
2.2 Semilla certificada .....	5
2.3 Definición de calidad de semilla y ventajas en su producción .....	10
2.4 Calidad física .....	14
2.4.1 Determinación del contenido de humedad en las semillas .....	15
2.4.2 Tamaño de semilla .....	18
2.4.3 Peso de mil semillas .....	20
2.5 Calidad fisiológica .....	21
2.5.1 Germinación .....	22
2.5.2 Vigor .....	24
2.6 Factores que afectan la calidad fisiológica de las semillas .....	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	35
3.1 Material genético .....	35
3.2 Fase de laboratorio .....	36
3.2.1 Ubicación .....	36
3.2.2 Evaluación de la calidad física .....	36
3.2.2.1 Variables evaluadas .....	36
3.2.3 Evaluación de la calidad fisiológica .....	38
3.2.3.1 Establecimiento y conducción de la prueba de germinación estándar .....	40
3.2.3.2 Variables evaluadas .....	40
3.3 Fase de almaciguero .....	41
3.3.1 Ubicación .....	41
3.3.2 Evaluación de la calidad fisiológica .....	41

	Pág.
3.3.2.1 Establecimiento y conducción de almaciguero con arena de rio a 5 cm ..	42
3.3.2.2 Establecimiento y conducción de almaciguero con tierra a 8 cm .....	43
3.3.2.3 Variables evaluadas en almaciguero con arena de rio a 5 cm y tierra a 8 cm de profundidad .....	44
3.4 Fase de campo.....	45
3.4.1 Ubicación .....	45
3.4.2 Evaluación de la calidad fisiológica.....	47
3.4.3 Establecimiento y conducción.....	48
3.4.4 Variable evaluada.....	48
3.5 Análisis estadístico .....	48
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>50</b>
4.1 Evaluación de la calidad física en laboratorio .....	50
4.2 Evaluación de la calidad fisiológica en laboratorio .....	54
4.2.1 Prueba de germinación estándar.....	54
4.2.1.1 Análisis de varianza.....	54
4.2.1.2 Comportamiento de medias .....	54
4.3 Evaluación de la calidad fisiológica en almaciguero.....	58
4.3.1 Arena de rio.....	58
4.3.1.1 Análisis de varianza.....	58
4.3.1.2 Comparación de medias.....	58
4.3.1.3 Análisis de correlación .....	62
4.3.1.4 Comportamiento promedio de la germinación .....	62
4.3.2 Tierra.....	64
4.3.2.1 Análisis de varianza.....	64
4.3.2.2 Comportamiento de medias.....	64
4.3.2.3 Análisis de correlación.....	67
4.3.2.4 Comportamiento promedio de la germinación.....	68
4.3.3 Análisis factorial de prueba de almaciguero en función a la profundidad de siembra .....	69
4.4 Evaluación de la calidad fisiológica en campo .....	72

	Pág.
4.4.1 Promedios de los porcentajes de establecimiento.....	72
4.5 Porcentajes de establecimiento en campo y almaciguero .....	73
V. DISCUSIÓN GENERAL.....	77
VI. CONCLUSIONES .....	82
VII. LITERATURA CITADA .....	84

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
Cuadro 1. Lugar de procedencia de los híbridos de maíz evaluados. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	35
Cuadro 2. Clasificación de la semilla de 17 híbridos de maíz según su longitud y forma respecto al número de criba. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	39
Cuadro 3. Caracterización física de la semilla de 17 híbridos de maíz para los Valles Altos Centrales. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	51
Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia estadística en 18 híbridos de maíz, evaluados en la prueba de germinación estándar en laboratorio. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	54
Cuadro 5. Comportamiento medio para las variables evaluadas en laboratorio, mediante germinación estándar en 18 híbridos de maíz Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	55
Cuadro 6. Cuadrados medios y significancia estadística en 18 híbridos de maíz, para las variables evaluadas en arena de río. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	58
Cuadro 7. Comportamiento medio de las variables evaluadas en 18 híbridos de maíz, en arena de río. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	59
Cuadro 8. Coeficientes de correlación y significancia estadística para las medias de las variables estudiadas en arena de río, en 18 híbridos de maíz. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	62
Cuadro 9. Comportamiento promedio de las repeticiones en 18 híbridos de maíz, sometidos a germinación en arena de río. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	63
Cuadro 10. Cuadrados medios y significancia estadística en 18 híbridos de maíz, para las variables evaluadas en tierra. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	64
Cuadro 11. Comportamiento medio de las variables en 18 híbridos de maíz, evaluados en tierra. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	65
Cuadro 12. Coeficientes de correlación y significancia estadística para las medias de las variables estudiadas en tierra, en 18 híbridos de maíz. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	67
Cuadro 13. Comportamiento promedio de las repeticiones en 18 híbridos de maíz, sometidos a germinación en tierra. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	68

Cuadro	Pág.
Cuadro 14. Cuadrados medios y significancia estadística para la interacción de las variables evaluadas en función a la profundidad y a 18 híbridos de maíz. Montecillo, Edo. de México, 2009.....	70
Cuadro 15. Comportamiento medio de peso seco de la parte aérea en 18 híbridos de maíz evaluados en arena y tierra, en función a la interacción profundidad-híbrido. Montecillo, Edo. de México, 2009 .....	71
Cuadro 16. Promedio de los porcentajes de establecimiento (PE) por localidad en que se sembraron 15 híbridos de maíz .....	72
Cuadro 17. Promedio en los porcentajes de establecimiento (PE) para 15 híbridos de maíz sembrados en localidades del Estado de México .....	74
Cuadro 18. Porcentajes de establecimiento de 15 híbridos de maíz en campo y almaciguero con arena de río y tierra. México, 2009. ....	74

## I. INTRODUCCIÓN

La producción mundial de maíz ha ido aumentando, ya que aproximadamente 58 % de la superficie dedicada al maíz en los países en desarrollo se siembra con maíz mejorado; 44 % con híbridos, 14 % con variedades de polinización libre mejoradas (VPL) y 42 % con no mejoradas. Las VLP ocupan un lugar importante en la cultura del maíz en los países en desarrollo, en cambio, en los industrializados casi 100 % de la superficie dedicada al maíz se siembra con híbridos (CIMMYT, 1999).

El uso de semilla mejorada es un elemento clave en países en desarrollo, en México y Centro América el uso esta semilla de maíz es aún bajo, en nuestro país cada año se siembra de 7 a 8.4 millones de hectáreas de maíz (Sánchez *et al.*, 1998). Las instituciones pioneras en la producción de este cultivo, en 62 años de investigación, han liberado más de 221 híbridos y variedades mejoradas (60 y 40 % respectivamente), con adaptación específica a las diferentes condiciones ambientales (Espinoza *et al.*, 2002).

En lo que respecta al uso de semilla certificada, ésta es de gran importancia, ya que es obtenida a partir de la semilla genética o de fundación o de semilla registrada y que cumple con los requisitos mínimos establecidos en el reglamento específico de la especie y ha sido sometida a un proceso de certificación que garantiza su calidad y venta al mercado. En México en el mes de Junio del 2010, se contaba con 27,590 ton de semilla de maíz certificada que incluía híbridos, parentales y variedades (SNICS, 2010).

El Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reportó que en el año 2009, la superficie sembrada de maíz para grano bajo la modalidad riego más temporal en los ciclos agrícolas Otoño Invierno más Primavera Verano, en los estados de los Valles Altos Centrales como son Tlaxcala, Puebla y Edo. de México fue 115,831, 597,411 y 565,976 ha, respectivamente. Dentro de las expectativas de producción de grano de maíz para el 2012 a nivel República, se espera que en el año agrícola, el rendimiento promedio estimado sea de 3.00 t ha<sup>-1</sup> por hectárea y que la superficie sembrada total sea de 8.4 millones de hectáreas promedio anual (Cruz *et al.*, 2006).

Con lo anterior se considera la importancia de la producción maicera, por eso desde hace décadas se han puesto en marchas programas que apoyan la producción y comercialización de estas semillas, por lo que es importante que sean de buena calidad, es decir, con alta germinación, buena capacidad de establecimiento y rendimiento, parámetros buscados por los productores.

Sin embargo, no siempre es posible cumplir con los altos estándares de calidad. Recientemente, en lugares como Puebla, Tlaxcala y Edo. de México, se han presentado problemas con la emergencia y establecimiento en campo de híbridos comerciales que ponen de manifiesto el sistema de producción, certificación y de distribución en las diferentes regiones agroecológicas.

Considerando lo anterior, los objetivos e hipótesis del presente estudio fueron:

### **1.1 Objetivos.**

- a) Caracterizar la calidad física y fisiológica de semillas de híbridos de maíz de los Valles Altos Centrales de México.
  
- b) Determinar el valor de predicción de parámetros de calidad de semilla de híbridos de maíz de los Valles Altos Centrales de México en relación con su establecimiento en campo.

### **1.2 Hipótesis.**

- a) Existen diferencias en la calidad física y fisiológica entre híbridos de maíz, que repercuten en el establecimiento del cultivo, en función de las limitantes ambientales y de suelo presentes en campo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Situación de la producción de maíz en los Valles Altos Centrales de México

En la región centro del país que considera al Distrito Federal y los estados de México, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y Querétaro, se cosecha anualmente una superficie con maíz del orden de 1.8 millones de hectáreas (23 % de la superficie cosechada a nivel nacional). El 56 % de la superficie cosechada con maíz en la zona centro, corresponde a los estratos de Valles Altos. De esta superficie, el 59 % (643.6 mil hectáreas) son de temporal limitado y el 41 % (440.1 mil hectáreas), corresponden a temporal benigno y a riego. El 46 % (495.9 mil hectáreas) de la superficie se localiza en el Estado de México y junto con el estado de Puebla representan el 79 % del maíz cosechado en los Valles Altos (Calles *et al.*, 2003).

No obstante lo anterior, el rendimiento de maíz en el año 2000 en el Estado de México fue menor a 3.5 toneladas por hectárea, lo que se considera bajo en relación al potencial biológico de la región en función de las condiciones climáticas y de productividad de los suelos en los dos distritos analizados. Los rendimientos se explican en parte, por un relativo bajo uso de tecnología moderna. De hecho una de las demandas reiteradas de los productores ha sido la actualización de los paquetes tecnológicos y la regionalización de la tecnología, pues de acuerdo a varias encuestas, sólo el 20 % de los productores reciben algún tipo de asistencia técnica para la producción y/o la comercialización; el 26 % utiliza semilla mejorada, ya sea del tipo de variedad de polinización libre o de híbrido y el

100 % aplica fertilizantes; el 90 % de los productores manifiesta que la cosecha la hacen de forma manual y es la labor que demanda más mano de obra de todo el proceso productivo; sólo el 15 % de los productores manifestaron obtener alguna ganancia en los años buenos y el 85 % reveló tener pérdidas con respecto a lo invertido en el año. También se encontró que el 52 % de los productores tienen rendimientos inferiores a la media de 3.35 toneladas por hectárea (Calles *et al.*, 2003).

## **2.2 Semilla certificada**

La SAGARPA (2007) en la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas, en el Capítulo I, Artículo 3, sección XVIII define semilla como aquella que se obtiene del fruto después de la fecundación de la flor, los frutos o partes de éstos, así como partes de vegetales o vegetales completos que se utilizan para la reproducción y propagación de las diferentes especies vegetales.

La producción de semilla de maíz en México es de gran importancia desde el punto de vista alimentario, político y social, y la producción es de subsistencia y de tipo comercial; la primera se da en las pequeñas parcelas que poseen los productores, básicamente del sector social y que utilizan para autoconsumo, ya sea como alimento en cualquier época del año o como alimento para sus animales. Este maíz que no entra a ningún canal comercial, les da la seguridad de disponer del grano cuando tienen necesidad; el autoconsumo nacional está estimado en 5 millones de toneladas. La producción comercial como su nombre lo indica, se utiliza para cubrir los requerimientos de demanda comercial de los 7 sectores

industrializadores del maíz, y se hacen llegar a los industriales de la masa y la tortilla, los harineros, pecuarios, almidoneros, cerealeros, etc, a través de los canales comerciales establecidos (Sánchez *et al.*, 1998).

La participación del sector privado en la industria de semillas ha cambiado radicalmente en la última década; en 1970 la contribución de este sector en la venta de semilla de maíz era de aproximadamente 13 %, mientras que en 1993 fue de 90 %, estimándose que en 2002 se incrementó hasta 96 %.

De manera general, existe tendencia de las empresas de semillas a trabajar para las condiciones de alta productividad, con mayor seguridad de éxito y ganancia económica, recurriéndose al uso de semilla certificada, el cual es de 26 % a 33 %. Las empresas e instituciones productoras tienen la responsabilidad de promover esquemas de abasto de semillas, para lo cual deben contar con semilla en categoría básica y tecnología de producción de semilla, para facilitar el incremento de semilla en categoría certificada (Espinoza *et al.*, 2002).

La generación de tecnología de semilla mejorada termina una vez que el fitomejorador basado en los ensayos de rendimiento y calidad preliminares y avanzados, selecciona un número reducido de cultivares mejorados, generalmente de cinco a ocho en los cultivos autógamos y alógamos no híbridos, y de tres a cinco en los híbridos para cada región agroecológica. Con la intervención y supervisión de organismos estatales encargados, éstos son evaluados en ensayos de adaptación y eficiencia agronómica durante dos o más ciclos

agrícolas y en localidades predeterminadas para su aprobación comercial según la legislación de cada país (FAO, 2001).

La SAGARPA (2007) en la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas, en el Capítulo I, Artículo 3, sección XIX a XXV establece las categorías de semilla para siembra: Semilla Categoría Declarada: es aquella que sus características de calidad no son calificadas por la Secretaría ni por un organismo de certificación acreditado y son informadas directamente por el productor o comercializador en la etiqueta. Semilla Calificada (categorías Básica, Registrada, Certificada y Habilitada): sus características de calidad han sido calificadas por la Secretaría o por un organismo de certificación acreditado y aprobado para tal efecto. Semilla Categoría Habilitada: aquella cuyo proceso de propagación o producción no ha sido verificado o habiéndolo sido, no cumple totalmente con alguna de las características de calidad genética, física, fisiológica o fitosanitaria. Semilla Categoría Básica: es la que conserva un alto grado de identidad genética y pureza varietal y proviene de una semilla Original o Básica. Semilla Categoría Certificada: la que conserva un grado adecuado y satisfactorio de identidad genética y pureza varietal, proviene de una semilla Original, Básica o Registrada. Semilla Categoría Registrada: la que conserva un alto grado de identidad genética y pureza varietal, su procedencia es la misma que la semilla básica. Semilla Original: constituye la fuente inicial para la producción de semillas de las categorías Básica, Registrada y Certificada, es el resultado de un proceso de mejoramiento o selección de variedades vegetales.

Autores como Zeballos (2006) indican que se debe hacer una categorización de las semillas con la finalidad de asegurar que en las distintas multiplicaciones se mantengan las características genéticas y fitosanitarias de las variedades, por tal motivo, la categoría genética es aquella semilla producida bajo la responsabilidad y control directo del obtentor de la variedad de acuerdo a las metodologías de mantenimiento de la variedad descrita al momento de su registro. La categoría Pre-Básica es semilla resultante de la multiplicación de semilla genética; esta categoría está destinada para semillas de especies que por su naturaleza requieren de multiplicación vegetativa. La categoría Básica es producida bajo la responsabilidad y control directo del obtentor responsable del registro de la variedad. La categoría Registrada es para semilla resultante de la multiplicación de semilla básica y la categoría Certificada es la semilla resultante de la multiplicación de la semilla registrada.

Otra manera de categorizar, según Sierra (2005), es de acuerdo al origen y la fase en que se encuentra la investigación, así, las semillas se agrupan en tres categorías: a) Semilla original o experimental, la cual fue obtenida por los genetistas o fitomejoradores y aun se encuentra en proceso de estudio. b) Semilla básica, procede de la semilla original, presenta gran pureza varietal y es entregada a los centros nacionales para su multiplicación. c) Semilla comercial, se obtiene a partir de la semilla básica de aquellos materiales que han sido liberados, al ser entregada oficialmente por los centros nacionales a las casas comerciales para su multiplicación, respetando normas de manejo del cultivo y de beneficio para poder ser comercializada.

CIMMYT (1999) menciona que la semilla del mejorador se produce a partir de semilla original o a partir de los progenitores de esta y la responsabilidad de mantener la pureza de la semilla original, mientras que, la Variedad de Polinización Libre (VPL) en su proceso de producción recae en el mejorador. La semilla básica (o de fundación) es el primer aumento de semilla original y la responsabilidad de su producción recae en la empresa productora de semilla con la colaboración de los mejoradores responsables de mantener la pureza de la variedad. La semilla certificada es la última etapa en el proceso de multiplicación; generalmente se produce a partir de la semilla original y al cargo de productores expertos, o en fincas bajo la supervisión y coordinación de empresas públicas o privadas responsables de la multiplicación y distribución, esta semilla debe tratarse con insecticidas y fungicidas antes de venderla a los agricultores.

Mesén *et al.* (1996), mencionan las siguientes categorías para la certificación de semilla y plántulas de vivero de especies forestales: a) Categoría certificada que corresponde a la semilla producida en huertos semilleros (clonales o de plántulas) evaluados genéticamente y sometidos a aclareos de depuración genética, con base en los resultados de ensayos de progenies establecidos. b) Categoría autorizada A, corresponde a la semilla producida en huertos o semilleros que no han sido sometidos a los aclareos de depuración genética. c) Categoría autorizada B, corresponde a la semilla producida en rodales semilleros. d) Categoría autorizada C, corresponde a la semilla producida en fuentes seleccionadas.

El Centro Internacional de la Papa (CIP) (1989), señala las siguientes categorías, la semilla prebásica, es el nombre común de tubérculos-semillas dentro de esta categoría y se refiere a

cualquier generación entre el material parental y los tubérculos-semillas de categoría básica, representa un material que garantiza en un 100 % la identidad y pureza varietal y tiene un elevado nivel sanitario, se obtiene mediante multiplicación y selección clonal. La semilla básica proviene de la semilla prebásica y representa el paso intermedio entre ésta y los tubérculos-semillas de categoría certificada, en esta etapa se pierde identidad genealógica de los materiales y se da la selección masal. La semilla certificada se obtiene a partir de semilla básica mediante una o más generaciones, su proceso de producción y comercialización es revisado por un organismo oficial.

Gari (1987) menciona que en Uruguay al promulgarse la ley de semillas en 1983, se estableció la categoría de semilla comercial, la cual es producida y vendida por las entidades semillistas privadas fuera del esquema de certificación y que son enteramente responsables frente a terceros. La semilla comercial no tiene un control generacional y sus requisitos de germinación y pureza son prácticamente iguales a los de la semilla certificada.

### **2.3 Definición de calidad de semilla y ventajas en su producción**

La Sociedad Española de Ciencias Forestales (2005) define calidad de semilla como la cuantía relativa a las condiciones normales, del porcentaje en peso o en número, de semillas limpias, sanas y de buen tamaño que hay en un lote. Potencial genético de las semillas de un lote. Capacidad germinativa de la semilla, con o sin referencia al tamaño y vigor de las plántulas que ha de producir.

Sánchez (2004) define calidad de semilla “Como el conjunto de sus atributos que involucran cuatro factores: genético (genotipo); físico (aspecto general); fisiológico (germinación, vigor) y sanitario (carencia de enfermedades transmisibles). Bernal (1996) señala que la calidad de semilla es su capacidad para germinar y producir una plántula normal en el menor tiempo posible.

El CIAT (1980) señala que una semilla es de buena calidad cuando tiene pureza tanto varietal como física, un alto porcentaje de germinación y está libre de organismos patógenos, tanto externa como internamente. Una semilla de buena calidad permite al agricultor obtener rendimientos significativamente mayores. Es un elemento básico en el trabajo de fitomejoradores, agrónomos y empresas productoras de semillas.

Poulsen (2000) menciona las siguientes ventajas de la semilla de buena calidad:

- Mejor condición para el almacenamiento
- Desperdicio mínimo de la semilla
- Plantas uniformes en espacios acondicionados como los viveros
- Mayor acierto en la producción de plantas
- Posibilidades de desarrollar producción avanzada de plantas
- Mejora en técnicas y métodos de plantación

Herrera *et al.* (2000), describen como ventaja de la semilla de alta calidad, el dar origen a cultivos uniformes, con semillas de color y forma propia de cada variedad, sin mezclas de otras variedades, lo cual también asegura una madurez uniforme. Al ser semilla de buena

calidad estará libre de plagas y enfermedades. Por esta razón hay un buen desarrollo del cultivo, lo que significa mayor potencial de rendimiento, mejor calidad del producto y mejor aceptación en el comercio. La semilla de alta calidad produce plantas vigorosas, tallos fuertes y otras características que le confieren a la planta la capacidad de tolerar ataques de plagas y enfermedades entre otros factores adversos.

Muchos agricultores juzgan la calidad de la semilla por su apariencia física, es decir, tamaño, color y ausencia de materiales extraños, pero rara vez son capaces de identificar la variedad o de predecir el potencial de germinación de la semilla con sólo mirarla. Se debe evaluar la calidad de las mismas con base a su alta pureza física (bajo contenido de materia inerte, y de semilla de malezas o de otros cultivos); alto porcentaje de germinación; ausencia de enfermedades congénitas; autenticidad en cuanto al tipo y la variedad; y que provenga de una variedad mejorada que de buenos resultados bajo condiciones para las que se ha seleccionado (Douglas y Monsalve, 1982).

Poulsen (2000) señala que para expresar la calidad de semilla no es suficiente, por ejemplo, el porcentaje de germinación, debido a que este concepto también implica calidad genética, así como otros aspectos de calidad fisiológica. La definición de calidad debe depender del uso final que se le da a la semilla como, conservación de recursos genéticos, producción en vivero, siembra directa en tierra arable, o en bosque, o bien para producir alimentos.

Andriquetto y Camargo (1987) señalan que cuando se trabaja con semillas, al ser un producto de naturaleza biológica, el control de calidad se considera como un atributo

inherente a la vida y a la interacción con las presiones del medio ambiente y el control de calidad lo clasifican en dos: Externo (oficial) que tiene soporte en las leyes y normas establecidas por gobiernos y el control interno de calidad, una serie de actividades sistemáticas y continuas que junto con actitudes de comportamiento posibilitan la toma de decisiones gerenciales de carácter preventivo y correctivo. El objetivo del control interno es producir semilla de alta calidad física, fisiológica, genética y sanitaria.

Respecto a la aplicación de calidad de semillas, Goggi *et al.* (2008), realizaron una investigación para relacionar la calidad de la semilla de maíz de líneas puras con su aparición en campo, los objetivos de esta investigación fueron: (i) determinar si las pruebas de calidad de la semilla y un índice de calidad de la semilla de los padres de semillas puras y  $F_2$  se relacionan con el surgimiento de campo de los híbridos  $F_1$ , y (ii) determinar cómo varias pruebas son necesarias para el cálculo de este índice. La germinación estándar (SG), prueba de frío (SC), prueba del remojo de semillas (Soak), y el índice de calidad pura (IQI) se aplicaron sobre los padres consanguíneos y su progenie  $F_2$  correspondiente, y la aparición de campo se midió con híbridos  $F_1$ .

Las pruebas y el índice de las líneas puras de los padres y la progenie  $F_2$  fueron poco correlacionados con la aparición temprana sobre el terreno de los híbridos  $F_1$ . Todas las pruebas fueron necesarias para calcular el índice de calidad de semillas. Por el promedio de varias pruebas de calidad de semillas en un solo índice, el pobre rendimiento de calidad de semillas de líneas puras y poblaciones  $F_2$ , puede ser enmascarado en algunos ensayos. El

índice de calidad de la semilla puede ser útil cuando se clasifican líneas endogámicas con base en la calidad de la semilla, pero no como una herramienta de selección.

## **2.4 Calidad física**

La calidad física de las semillas consiste en determinar el contenido de humedad, pureza física de la semilla y el peso por volumen (Hernández, 1985). Adicionalmente algunos autores consideran al tamaño de la semilla, peso de 1000 semillas como otros componentes para la evaluación de la calidad física, no obstante, García (citado por Santiago, 1988) menciona color y el daño por hongos e insectos.

Uno de los aspectos más importantes del análisis de las semillas agrícolas es la pureza física y para su evaluación se han desarrollado métodos específicos para ser utilizados en los programas de producción y comercialización de semilla certificada (Moreno, 1984).

El objetivo de un análisis de pureza es determinar la composición porcentual por peso de la muestra que se analiza y, por deducción, la composición de los lotes de semillas y la identidad de las distintas especies de semillas y partículas inertes que constituyen la muestra (ISTA, 2005).

Una semilla pura después del procesamiento es aquella libre de mezclas de todo tipo, tales como semillas de malezas, semillas de otros cultivos y materia inerte (polvo o suciedad, piedras pequeñas y terrones, fragmentos metálicos, pedazos de bolsa de embalaje, desechos

de plantas). La pureza es un parámetro decisivo en la semilla de alta calidad y es uno de los principales requisitos para el alto rendimiento de un cultivo (FAO, 1985).

Según Moreno (1984) se consideran semillas de otros cultivos las plantas que comúnmente son cultivadas y que se encuentran contaminando un lote o muestra de determinada variedad de semilla pura. Sin embargo, si esas semillas se consideran como semillas de hierbas, deberán tomarse en cuenta como tales y no como semillas de otros cultivos.

La ISTA (2005) señala que en la materia inerte se incluyen unidades de semillas y demás elementos y estructuras que no se definen como las semillas puras o de las semillas de la siguiente manera: Unidades de semillas en las cuales es aparente que no hay semilla verdadera presente; florecillas de especies con una cariósida con tamaño menor del mínimo prescrito. Florecillas estériles adheridos a un florete fértil y no ha sido removido, piezas de unidades de semillas rotas o dañadas con mitad o menos del tamaño original, entre otras características.

#### **2.4.1 Determinación del contenido de humedad de las semillas.**

En lo que respecta al contenido de humedad de una muestra, es la pérdida de peso cuando se seca. Se expresa como un porcentaje del peso de la muestra original (ISTA, 2005). Su determinación es importante para decidir si un lote de semillas está en condiciones de almacenarse inmediatamente o debe secarse aún más (Cuevas, 1996).

Los métodos usados para determinar humedad son:

- Secado en estufa
- Medidores electrónicos
- Métodos ultrasónicos, cromatografía de gases y resonancia magnética nuclear
- Método de destilación con tolueno
- Método de titulación Karl Fischer (Moreno, 1984).

Estos métodos previstos están destinados a reducir la oxidación, descomposición o la pérdida de otras sustancias volátiles al tiempo que garantiza la eliminación de la humedad tanto como sea posible (ISTA, 2005).

Jara (1997) indica que el contenido de humedad se mide como el peso del agua expresado en porcentaje del peso total de la semilla; por consiguiente el contenido de humedad relativo de las proteínas y carbohidratos es más alto en semillas oleaginosas (ya que no hay agua libre en aceite) comparada con semillas sin aceite con el mismo contenido de humedad, pues el proceso de descomposición en semillas secas aparentemente depende mucho del agua y hasta cierto punto, ocurre en las proteínas y carbohidratos.

Copeland (1976) señala que la disponibilidad de agua durante el desarrollo de la semilla pueden intervenir en el vigor de la semilla indirectamente a través de su influencia en la composición química de la semilla madura y que por ejemplo, el contenido de nitrógeno de las semillas de cereales en general disminuye a medida que aumenta la cantidad de agua suministrada durante el desarrollo vegetativo de la planta madre.

La semilla de los cereales alcanzan su maduración fisiológica y funcional cuando su contenido de humedad oscila entre 35 y 45 %, según el cultivo (Feistritzer, 1977). La baja humedad y bajas temperaturas aseguran larga vida a la semilla, sin embargo, el alto contenido de humedad en la semilla puede conducir a:

- Descomposición de glucosa y proteína por incremento de la fermentación y por mayor actividad bacteriana
- Aumento de la respiración
- Disminución de la calidad
- Destrucción de la semilla
- Pérdida de vigor en almacenamiento (FAO, 1985).

Otro inconveniente por alto contenido de humedad es el calentamiento de la semilla, pues su recolección con elevado contenido de humedad, por ejemplo 30 a 35 % para maíz; 15 a 17 % para trigo, cebada y avena; 20 a 21 % en arroz, plantea problemas inmediatos graves, ya que con esos niveles de humedad la semilla se calentará y se deteriorará rápidamente (Feistritzer, 1977).

Rahman *et al.* (2004), realizaron un estudio acerca del efecto del contenido de humedad en la calidad de la semilla de soya durante la cosecha manual y mecanizada. La calidad se evaluó por medio de germinación y vigor con la prueba de envejecimiento acelerado y de conductividad, según la ISTA. En la cosecha manual el contenido de humedad de la semilla fue entre 54 y 56 %, la germinación con el método entre papel fue 96 %, con

envejecimiento acelerado 94 % y la conductividad fue 17.06  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ . La germinación no tuvo cambios pero el vigor si disminuyó. En la cosecha mecanizada, se notó que la germinación se redujo cuando el contenido de humedad de la semilla era  $> 16-19 \%$ . El vigor de la semilla fue elevado con contenidos de humedad de 13-15 % y fue reducido (baja germinación en envejecimiento acelerado y alta conductividad) cuando se cosechó la semilla con altos contenidos de humedad. La cosecha mecanizada con contenido de humedad de 10-12 % también redujo el vigor de la semilla. Por lo que se concluyó que un contenido de humedad de 15 % era lo adecuado para la cosecha mecanizada.

#### **2.4.2 Tamaño de semilla.**

La clasificación por tamaño es el proceso mediante el cual se consigue una cierta uniformidad en el tamaño de los granos, dentro de un lote de semillas (FAO, 1985). Cuando se utilizan semillas grandes por lo general se da un incremento en los porcentajes de emergencia, se producen plántulas de mayor tamaño y se aumenta el rendimiento final de los cultivos de corto período vegetativo. Dentro de un cultivo la gama de tamaños de semilla se debe a la variación de la planta como consecuencia de diferencias genéticas, la competencia entre plantas por luz, agua, nutrientes y el efecto de las enfermedades. El tamaño de la semilla también varía por la inflorescencia, que refleja las diferencias en épocas de floración y la nutrición de las semillas en desarrollo (Wood *et al.*, 1977).

El tamaño de las semillas tiene un efecto pronunciado sobre el crecimiento inicial de las plantas, con la disminución de esa intensidad a medida que las plantas se desarrollan. Sin embargo, una planta proveniente de una semilla pequeña que inició su desarrollo retardado, al paso del tiempo se recuperará y acabará por tener un crecimiento normal (Moreira y Nakagawa, 1979).

El tamaño de la semilla tiene relación con el número de semillas por kilogramo y consiguiente posible número de plantas por hectárea. En el maíz, la semilla puede tener un ancho máximo de 12.5 mm y un ancho mínimo de 7.4 mm. Hay varios tipos y tamaños de semillas, el tipo redondo grande que es detenido por cribas con perforaciones circulares de 9.52 mm de diámetro; redondo mediano, semillas detenidas por cribas de 7.14 mm de diámetro; semilla plana tipo chato, son las que no quedan retenidas en cribas alargadas de 5.5 mm de ancho y hay tamaño grande, mediano y chico (Sánchez, 2004).

Los lotes de semilla se clasifican por tamaño por una ó más de las razones siguientes:

- Para eliminar las semillas de malas hierbas y la semilla partida que es más corta de lo conveniente
- Para eliminar materiales más largos del que se desea para la semilla
- Para mejorar el aspecto general (a saber, cerciorándose de que toda la semilla de la cosecha es de longitud uniforme)
- Para clasificar por tamaño, para las sembradoras de precisión (Feistritzer, 1977)

En estudios realizados en semillas de maíz, se encontró que las de tamaño grande tienen un efecto positivo en la germinación, vigor, peso seco y emergencia de plántulas (Villaseñor, 1984; Martínez *et al.*, 1998; Magaña, 1992) mientras que Shieh y McDonald (1982) encontraron una correlación negativa entre tamaño de semilla, vigor de plántulas y rendimiento del grano.

George *et al.* (2003), en una investigación relacionaron el tamaño de semilla de maíz dulce en diferentes fechas de siembra y el daño a la semilla a causa de tres métodos de cosecha: semillas procesadas manualmente y secadas al sol (1); semillas cosechadas manualmente, procesadas y secadas mecánicamente (2) y por último semillas cosechadas, procesadas y secadas mecánicamente (3). Para la evaluación se usaron las pruebas de germinación estándar de la ISTA y verde rápido, se consideró dañada la semilla si estaba rota, con fisuras, resquebrajamiento o mallugaduras. Se encontró que el daño a las semillas con el método de cosecha uno, fue mínimo (1.5 %), en cambio, con el método dos y tres fue alto (51.9 y 52.1 % respectivamente). La germinación fue similar para las semillas grandes y medianas (cerca al 90 %), el daño de la semilla fue superior en las de tamaño grande (39.6 %) seguido por el mediano (35.1 %) y el chico (30.9 %).

#### **2.4.3 Peso de mil semillas.**

Éste es un factor importante para calcular tasas de siembra. El peso va a depender del tamaño de la semilla, su contenido de humedad y la cantidad de semilla pura (Cuevas,

1996). Para llevar a cabo la determinación de peso puede hacerse por medio del peso de 1000 semillas, peso volumétrico y hectolítrico.

Del peso de 1000 semillas, la ISTA (2005) indica que el objetivo de esta prueba es determinar el peso por 1000 semillas de la muestra presentada. De la semilla pura se toman al azar ocho repeticiones de 100 semillas cada una; el conteo de las semillas se hará con un contador o manualmente. Cada repetición se pesará en gramos con el mismo número de cifras decimales que en un análisis de pureza. Después se calcula la varianza, desviación estándar típica y el coeficiente de variación, si éste último no excede a 6.0 para semillas brozadas de pastos, o de 4.0 para otras semillas, el resultado de la prueba es aceptable.

La densidad o peso volumétrico es la relación entre el peso y el volumen total de la masa del producto, incluyendo los espacios intersticiales que dejan los granos entre sí. En el peso hectolítrico el grano depositado en un recipiente se pesa y éste se convierte en términos de  $\text{kg hL}^{-1}$  (Ospina, 2002).

## **2.5 Calidad fisiológica**

Evans y Turnbull (2004) consideran que semillas con buena calidad fisiológica en la industria de las plantaciones, es aquella que tiene alto porcentaje de germinación y vigor; además tiene ventajas como la mejora de vida de almacenamiento, un mínimo desperdicio de semilla y plantas uniformes en viveros y semilleros.

Para Elevitch (2004) la calidad fisiológica se refiere a las características de la semilla como la madurez, contenido de humedad y la habilidad para germinar. Bewley *et al.* (2006), refieren a la habilidad para germinar, el vigor y algunos aspectos genéticos como la heterosis, dentro de los descriptores de calidad fisiológica de la semilla.

### **2.5.1 Germinación.**

La germinación es la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Moreno, 1984). Por otra parte, Sierra (2005) opina que germinación es la reanudación del crecimiento y desarrollo del embrión para originar una planta nueva.

Las semillas no germinan normalmente hasta que hayan sido objeto de un periodo considerable de crecimiento, desarrollo y acumulación de reservas. Se mantienen en quiescencia y pueden ser almacenadas por meses o años sin daño, pero una vez suplida la necesidad de agua se hidratarán de nuevo y comenzará otra fase de actividad. Ésta resulta en el crecimiento de la raíz y más adelante el lanzamiento a expensas de los materiales de reservas. Se reconocen tres fases de desarrollo: imbibición, fase de retraso y germinación.

Las semillas secadas al aire tienen un bajo contenido de agua, alrededor de 15 % ó menos, pero dan acceso al agua y se embeben rápidamente, sus tejidos generalmente alcanzan un contenido de agua entre 30 y 50 % en un día o dos. En este tiempo la semilla entra en una

fase de retraso: ésta se ha hinchado y ha llegado a ser más pesada, y es ahora que está metabolizando activamente y puede pasar a la tercera fase, la germinación (Murray, 1984).

Durante las primeras fases de la germinación, la respiración puede ser completamente anaeróbica pero tan pronto como se rompe la cubierta seminal, la semilla pasa a la respiración aeróbica y por lo tanto requiere oxígeno. Si el suelo está saturado de agua la cantidad de oxígeno utilizable por la semilla puede ser insuficiente para que se produzca la respiración aeróbica y entonces no habrá germinación. Respecto a la temperatura, las semillas germinan por debajo o por encima del intervalo de temperaturas característico de cada especie. Para muchas especies el margen mínimo es de 0 a 5 °C; el máximo de 45 a 48 °C; y el intervalo óptimo es de 25 a 30 °C (Raven *et al.*, 1992).

La germinación es una característica de calidad de la semilla y se determina mediante un análisis. La ISTA (2005) señala que la prueba de germinación en un laboratorio está dada por la emergencia y desarrollo de la plántula a una etapa donde el aspecto de su estructura esencial indica si es o no es capaz de desarrollarse en una planta satisfactoria en condiciones favorables en el suelo. Esta prueba clasifica a las plántulas en normales, anormales y semillas sin germinar (semillas duras, muertas, frescas). Los resultados se expresarán en porcentaje de germinación con el número de plántulas normales que puede suponerse que se convertirían en plantas fuertes (FAO, 1985).

Esta prueba es también, el único método seguro para determinar si las condiciones seleccionadas de almacenamiento mantienen la calidad de la semilla con el paso del

tiempo. Los estándares internacionales de los bancos de genes recomiendan que la primera prueba de germinación sea después de los 10 años de almacenamiento para semillas almacenadas en condiciones ideales o después de 5 años para semillas con pobre calidad de inicio o longevidad (Sweedman y Merritt, 2006).

La prueba de germinación estándar, que se considera la prueba universal de calidad de la semilla, evalúa el máximo de potencial de un lote de semillas (ISTA, 2005). Sin embargo, dado que la prueba se lleva a cabo en condiciones ideales, no necesariamente refleja el potencial de rendimiento de ese lote de semillas en campo (Shah *et al.*, 2002).

Las causas de la germinación reducida según la FAO (1985) pueden ser:

- Semillas viejas
- Condiciones desfavorables para la germinación
- Semilla dañada (en trilla, limpiado, transporte)
- Semilla dura (leguminosas de grano)
- Alto contenido de humedad de la semilla almacenada
- Temperaturas altas en el secado (superiores a 40 °C)
- Contaminación por enfermedades nocivas o plagas

### **2.5.2 Vigor.**

El crear una definición satisfactoria para este concepto ha sido un tema central. En 1957, Isely lo definió como la “suma total de todos los atributos de la semilla, por medio de los

cuales se establece bajo condiciones favorables”. En 1960 Delouche y Caldwell establecieron que “vigor de semilla es la suma de todos los atributos que favorecen un rápido y uniforme establecimiento”. Woodstock en 1965 propuso que el vigor era “esa condición de buena salud y robustez natural en la semilla, que una vez plantada, permite que la germinación proceda rápidamente y de fin bajo una amplia gama de condiciones ambientales”.

Tiempo después, en 1973, Perry lo definió como una “propiedad fisiológica determinada por el genotipo y modificada por el ambiente que rige la capacidad de una semilla para producir rápidamente una plántula en suelo y el grado en que la semilla tolera una amplia gama de factores ambientales. En 1977 la ISTA definió vigor como “la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel potencial de actividad y el comportamiento de las semillas durante la germinación y la emergencia de las plántulas” (Copeland y McDonald, 2004).

La Asociación Oficial de Analistas de Semillas (AOSA) (citado por Duryea y Dougherty, 1991) define vigor como sigue: “Vigor de la semilla compromete aquellas propiedades que determinan el potencial para rapidez, uniformidad de emergencia y el desarrollo de plántulas normales bajo un extenso rango de condiciones en el campo”.

Entre los aspectos a evaluar del comportamiento y rendimiento de las semillas al que se hace referencia en las definiciones anteriores, están:

1. Procesos y reacciones bioquímicas durante la germinación, como reacciones enzimáticas y actividad respiratoria
2. Tasa y uniformidad de la germinación de la semilla y del crecimiento de las plántulas
3. Tasa y uniformidad de la emergencia de las plántulas y crecimiento en el campo
4. Capacidad de emergencia de las plántulas bajo condiciones ambientales desfavorables (Copeland y McDonald, 2004)

Los factores que pueden determinar variaciones en el vigor son: constitución genética de la semilla; estado de madurez en la cosecha; tamaño, peso y peso específico de la semilla; integridad mecánica; deterioro y envejecimiento; patógenos; medio ambiente y nutrición de la planta madre (Copeland y McDonald, 2004), respecto a este último factor Khan y Laude (1969) señalan que las condiciones ambientales bajo las cuales madura la semilla pueden influir en la germinación, en el crecimiento y vigor de las plántulas en desarrollo y que tal comportamiento es atribuido a influencias ambientales en la semilla mientras estuvo unida a la planta madre.

En relación a la constitución genética de la semilla, Cho y Scott (2000), realizaron una investigación con el objetivo de estimar la combinación del vigor de líneas de semillas de soya con características agronómicas y examinar los tipos de acción de los genes y la variación del vigor de las semillas entre la progenie derivada de cruza de soya con diversas combinaciones de los niveles de vigor y tamaños de la semilla. Se encontró que las interacciones de padres y cruza con diferentes ambientes no fueron significativas para

ningún tratamiento investigado, lo que indicó que el rendimiento de los padres y cruzas fueron consistentes a través de los ambientes. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre padres, cruzas y genotipos para rendimiento de semilla, vigor y peso.

El objetivo de las pruebas de vigor de semillas es dar información acerca del valor de la plantación en una amplia gama de ambientes y /o el potencial de los lotes de semilla bajo condiciones de almacenamiento (ISTA, 2005). La prueba de vigor es considerada una herramienta importante en la toma de decisiones relativas a los lotes de semilla en el mercado, porque dos lotes de semilla con el mismo porcentaje de germinación, pero diferentes en vigor pueden dar variaciones significativas en el rendimiento cuando sean sembradas bajo diferentes condiciones de estrés (Shah *et al.*, 2002).

Perry (1983) indica que las características esenciales de una prueba de vigor práctica, son que los resultados sean reproducibles y uniformes entre los laboratorios y deben estar mejor correlacionados que otras pruebas con algún aspecto conveniente del comportamiento en el campo bajo ciertas condiciones.

Las pruebas de vigor han sido divididas por algunos autores, en directas e indirectas, las primeras imitan las condiciones del campo en alguna manera y miden la habilidad de las semillas para emerger bajo condiciones de estrés simuladas en campo o en laboratorio. Las pruebas indirectas miden componentes específicos fisiológicos de la semilla y son medidos en el laboratorio y relacionados con el establecimiento en campo y entre sus ventajas están las de poder ser efectuadas con mayor facilidad (Copeland y McDonald, 2004).

La prueba de velocidad de germinación, dentro de las pruebas directas, da un buen criterio para medir el vigor de la semilla (Copeland, 1976). Los lotes de semilla con germinación total similar, a menudo varían en su tasa de germinación y crecimiento (Copeland y McDonald, 2004) por eso se han utilizado varios métodos para la determinación de la tasa de germinación.

Hunter (citado por Villaseñor, 1984) señala que el método consiste en poner a germinar la semilla y en cuanto empiece la germinación se hacen conteos diariamente del número de semillas germinadas; la prueba termina una vez que se considere que se ha logrado el máximo de germinación de las semillas sembradas.

En la prueba de la tasa de crecimiento de plántulas, las semillas vigorosas son capaces de hacer eficiente la síntesis de nuevos materiales y transferirlos rápidamente para la emergencia del eje embrionario lo que dará como resultado un incremento en la acumulación del peso seco. Se lleva a cabo bajo los estándares de la prueba de germinación, después de que se ha hecho la evaluación los segmentos crecidos del embrión de plántulas normales, se extraen de los órganos de almacenamiento (cotiledones o endospermo), se secan a 80 °C por 24 horas y se pesan para determinar su incremento en peso seco (Copeland y McDonald, 2004).

La prueba incluye medidas como tiempo de protrusión de la radícula, tasa de crecimiento de las plántulas después de la protrusión de la radícula y la evaluación de vigor por la

clasificación de categorías de crecimiento de las plántulas en fuertes o débiles (McDonald y Kwong, 2005).

## **2.6 Factores que afectan la calidad fisiológica de las semillas**

Urbano (1995) señala que la profundidad de siembra siempre debe ser la adecuada para que se produzca una buena emergencia de las semillas germinadas, y para que a su vez los sistemas radiculares dispongan de un volumen de suelo apropiado. La profundidad depende de la preparación del suelo, pues si están deficientemente preparados obligan a sembrar más superficialmente; el tamaño de la semilla es otro factor a considerar, pues mientras más grandes sean, mayor profundidad de siembra requerirá. En el caso contrario, Ellis y Roberts (1983) señalan que en teoría, la mala emergencia puede deberse a factores como la incapacidad de la semilla inviable para germinar; la incapacidad de la viable para germinar en condiciones subóptimas, y la capacidad de la germinada para emerger a través del suelo y establecerse. Varios autores consideran que la emergencia temprana de las plántulas por encima del suelo dependerá mucho más de la calidad de la semilla que de la misma profundidad de siembra.

Treviño y García (Citados por Hernández, 1998) mencionan que en siembras poco profundas el sistema radical es más reducido con la repercusión en el abastecimiento de agua y minerales; mientras que en siembras profundas el sistema radical se desarrolla bastante, pero las reservas que requiere el brote para los procesos de formación, se ven

reducidas y puede no haber emergencia. A profundidades intermedias se encuentra el equilibrio entre el desarrollo del brote y el radical, con el resultado de un mayor vigor.

La variación en la profundidad de siembra tiene serias influencias en el costo de la obtención de maíz, sin duda la mejor profundidad variará con el suelo, el clima, temporada, cultivo previo y de las aplicaciones hechas, sin embargo, el maíz puede ser plantado de 1 a 4 pulgadas de profundidad (2.54 a 10.16 cm). El promedio de producción de maíz en seis años en la Universidad de Ohio fue el siguiente: a una pulgada (2.54 cm) de profundidad = 1471 kg; a dos pulgadas (5.08 cm) de profundidad = 1300 kg; a tres pulgadas (7.62 cm) = 1189 kg. En la estación de Nueva York las plantaciones entre 2 y 8 pulgadas (5.08 y 20 cm) de profundidad causaron disminución en la germinación de semilla de maíz, pero el rendimiento por tallo fue prácticamente el mismo en todas las profundidades (Forsyth, 2008).

Fernández (1999) al hacer una evaluación de vigor en híbridos de maíz, encontró que para la profundidad de siembra a 5 cm hubo mayor velocidad de emergencia (2.4 plántulas), el cual fue estadísticamente diferente a la de 10 cm (1.7 plántulas), debido a que a una menor profundidad las plántulas tienen un menor gasto de energía.

Inge y Loomis (1937) señalaron en un estudio sobre el crecimiento del primer entrenudo del epicotilo en plántulas de maíz, que cuando estos eran sembrados a 10 cm de profundidad en cajas en la parte frontal y tras los vidrios de un invernadero, con luz normal del día, 52 plántulas se desarrollaban mostrando en promedio un entrenudo de 4.7 mm de

longitud y no emergían del todo; mientras que para 41 semillas plantadas a la misma profundidad en la parte trasera de las cajas desarrollaron entrenudos de 54.0 mm de longitud en promedio y emergieron normalmente.

En otra serie de experimentos de estos mismos autores, las semillas fueron plantadas a profundidades de 2.5, 5.0 y 10.0 cm en el invernadero, todas emergieron con normalidad y en el primer entrenudo, las longitudes variaron con la profundidad, de tal modo que para 10.0 cm de profundidad el entrenudo midió 49.6 mm de longitud, para 5.0 cm la medición fue 23.5 mm y para 2.5 cm de profundidad el entrenudo midió 11.3 mm.

Otro factor que afecta la calidad de semillas en los lotes de producción de maíz es el daño mecánico provocado en la cosecha o durante el proceso de acondicionamiento de la semilla que puede disminuir el vigor, acelerar el proceso de deterioro y la acumulación de patógenos en la semilla (Perry, 1983). La intensidad del daño mecánico disminuye la germinación; además, la cicatrización del tejido afectado consume tiempo y energía que retrasa la germinación y la emergencia de plántulas (Moreira y Nakagawa, 1979).

Entre los tipos de daño, están el rompimiento de las cubiertas de la semilla en el embrión o cerca de éste, las coronas rasgadas y los pedicelos rotos. Aunque los daños a la cubierta ocurren durante todos los pasos de la cosecha mecánica y el procesamiento de la semilla en la postcosecha, la mayoría ocurren durante el desgrane (Hope, 1953).

Bruggink *et al.* (1991), en una investigación acerca de la función de las membranas en muestras de semillas de maíz dañadas y envejecidas, midieron la filtración de electrolitos tanto en las semillas intactas como en las que presentaron daño en embrión, endospermo y cubierta. Ellos comprobaron que las consecuencias del envejecimiento ocurren principalmente en los tejidos embrionarios, mientras que el daño parece perjudicar más al endospermo y cubierta de las semillas.

Peterson *et al.* (1995), utilizaron la prueba de verde rápido para clasificar muestras de maíz con daño mecánico severo y al ponerlas a germinar, encontraron que se presentó un crecimiento anormal de plántulas y una reducción en el porcentaje de germinación; además de la disminución del peso seco de plántulas, probablemente indica una baja en la tasa de germinación y de desarrollo de plántulas, lo que marca una pérdida de vigor conforme se acentúa el daño mecánico.

Hernández *et al.* (2000), al ponderar variables para la medición del vigor en semillas de maíz, evaluaron un híbrido trilineal de diferentes orígenes, uno de éstos tuvo un porcentaje de semilla descabezada (sin pedicelo) elevado y menor peso volumétrico ( $72.22 \text{ kg hL}^{-1}$ ), así como menor producción de materia seca en condiciones de microtúnel. En general, las variables de calidad física y fisiológica evaluadas resultaron desfavorables para ese origen del híbrido con semilla descabezada.

Canul (1996), al evaluar semillas descabezadas contra no descabezadas de cuatro híbridos de maíz en condiciones de invernadero tipo túnel y por germinación en el laboratorio,

encontró que las semillas descabezadas tuvieron una reducción del 4 % en la velocidad de emergencia y 12 % en el índice de agotamiento respecto a las no descabezadas. En la prueba de germinación estándar hubo mayor cantidad de plántulas anormales producidas por las semillas descabezadas.

Lugo (1995) al desgranar manualmente las mazorcas de dos variedades de maíz, concluyó que la pérdida de pedicelo de la semilla de maíz afecta negativamente la calidad de la misma, reflejándose en una disminución del vigor y germinación de sus variedades.

Otro factor que influye en la calidad fisiológica de las semillas es el almacenamiento, Ramírez (1982) indica que en las condiciones ecológicas de México, el maíz desgranado no se debe almacenar por lapsos mayores de un año si su contenido de humedad inicial excede del 13 %, en caso del trigo la humedad máxima recomendable durante el almacenamiento es de hasta 14 %, para frijol entre 11 y 12 %, la cebada entre el 10 y 12 % de humedad en el momento de su almacenamiento.

Las semillas que se dejan a temperatura ambiente con cierta humedad relativa pierden viabilidad y vigor relativamente rápido (Salinas y Sánchez, 2006). En general, la viabilidad y el vigor se reducen cuando las temperaturas se incrementan, pero si estas se extienden cuando el contenido de humedad de la semilla es mayor, los daños pueden reducirse a una cierta temperatura, dado que el contenido de humedad de la semilla también puede reducirse (Justice y Bass, 1978).

Idealmente las semillas almacenadas deben estar totalmente maduras, sin daños, sin plagas y microorganismos, sin afectaciones por temperaturas extremas ni condiciones de humedad durante el llenado y la maduración (Van der Maesen, 1984).

Ellis y Roberts (1983) señalan que en el almacenamiento hay factores importantes a considerar como el contenido de humedad de la semilla, la temperatura, y la presión parcial de oxígeno, los cuales se aplican en ecuaciones básicas de viabilidad, que cuantifican en forma precisa la relación entre la longevidad de la semilla y las condiciones de almacenaje normales, para una serie de especies y periodos que oscilan entre unos pocos días hasta más de 100 años en condiciones de almacenaje sellado y en ocasiones del abierto, dentro de límites de confianza aceptables.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Material genético

Se evaluaron dieciocho híbridos comerciales de maíz que fueron obtenidos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) durante el año 2009, a excepción de HS-2 TEC 08/TESTIGO, que fue proporcionado directamente por el Colegio de Postgraduados y cuyo origen fue Tecamac 2008; se empleó un kilogramo de cada uno. Los híbridos estaban previamente clasificados como plano medio para su venta al mercado. En el Cuadro 1 se muestran algunas características de los híbridos evaluados.

**Cuadro 1. Lugar de procedencia de los híbridos de maíz evaluados. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

No.	Híbrido	Tipo de Cruza	Compañía productora y/o Institución	Tratamiento Químico
1	Cromo 034		CROMO SEED	SI
2	Puma 1075	Triple	UNAM	SI
3	HS-2	Triple	COLPOS	SI
4	32D06		PIONEER	SI
5	Promesa	Doble	COLPOS	SI
6	AS-722	Triple	ASPROS	SI
7	H-48	Triple	INIFAP	SI
8	Buho		MONSANTO	SI
9	H-50	Doble	INIFAP	SI
10	Niebla		CERES	SI
11	H-40	Triple	INIFAP	SI
12	HID-17	Doble	ICAMEX	SI
13	HIT-7	Triple	ICAMEX	SI
14	CML 457/CML459 NT	Simple	CIMMYT	NO
15	CML457/CML459	Simple	CIMMYT	SI
16	CMS939083 NT	Simple	CIMMYT	NO
17	CMS939083	Simple	CIMMYT	SI
18	HS-2 TEC 08/TESTIGO	Triple	COLPOS	SI

## **3.2 Fase de laboratorio**

### **3.2.1 Ubicación.**

Se realizó en las instalaciones del laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México.

### **3.2.2 Evaluación de la calidad física.**

Se utilizaron 17 híbridos de maíz, con la clasificación de forma y tamaño hecha por la compañía o institución productora. No se incluyó al HS-2 TEC 08/TESTIGO por falta de semilla disponible al momento de realizar esta evaluación; la valoración se hizo con el objetivo de conocer datos sobre la calidad física de la semilla.

#### **3.2.2.1 Variables evaluadas.**

**Semilla pura (SP).** Se homogenizó la muestra de semilla (1 kg) de cada híbrido utilizando el homogenizador Seedburo Quality, y posteriormente se separó la muestra en los componentes: semilla pura, semilla de otros cultivos, semilla de malas hierbas y materia inerte. Se pesó cada componente y se calculó su respectivo porcentaje (ISTA, 2005).

**Porcentaje de semilla descabezada (PSD).** Sobre la cantidad de semilla pura de cada híbrido se hizo una separación de las semillas con y sin pedicelo, una vez obtenido el peso

se obtuvo el porcentaje de semilla descabezada y no descabezada. Después se mezclaron nuevamente las dos fracciones de semilla para seguir trabajando con la muestra pura.

**Peso volumétrico (PV).** Se contaron 4 repeticiones de 200 g cada una y se utilizó una probeta de 500 ml. Se obtuvo el promedio de las cuatro repeticiones y se calculó el peso volumétrico mediante la siguiente expresión:

$$PV = \frac{\text{Peso de las semillas (200 g)}}{\text{Volumen ocupado por los 200 g (ml)}} \times 100$$

**Peso de 1000 semillas (PMS).** Se contaron y pesaron ocho repeticiones de 100 semillas para cada material y se calculó el Coeficiente de Variación (C.V), y en virtud de que fue menor de 4 %, el PMS se obtuvo multiplicando por 10 la media aritmética de las repeticiones (ISTA, 2005).

**Contenido de humedad (CH).** Para esta prueba se obtuvo el contenido de humedad en cuatro repeticiones de 200 g de semilla de cada híbrido utilizando el determinador electrónico de humedad marca Dickey-John Corporation y el resultado se expresó en porcentaje.

**Forma y tamaño.** Respecto a la forma y tamaño de los híbridos, no obstante que venían previamente clasificados, se hizo una reclasificación y se obtuvieron seis tamaños de semilla: plano grande, medio y chico y bola grande, medio y chico. Para obtener la

longitud, se utilizaron cribas circulares de 6.5, 7, 8, 8.5, 9 y 10 mm y para la forma, cribas oblongas de 4.75, 5, 5.25, 5.5 y 5.75 mm de diámetro.

Para determinar longitudes (grande, medio y chico), se colocaron dos cribas circulares de diferente medida y las semillas que se quedaron retenidas en la primera criba fueron identificadas como grandes, las que pasaron a la siguiente, como medio y las que se pasaron de ésta segunda a una superficie plana fueron tamaño chico.

Para clasificar por forma, se colocó una criba oblonga por híbrido previamente clasificado por longitud. La semilla retenida por la criba era de forma bola y la que pasaba a través de ésta a la superficie, era forma plano (Cuadro 2). Por último se obtuvo el porcentaje de semilla para cada uno de los seis tamaños.

### **3.2.3 Evaluación de la calidad fisiológica.**

Para esta evaluación se utilizaron los 18 híbridos de maíz sometidos a la reclasificación de tamaño. Se realizó una prueba de germinación con el objetivo de evaluar el vigor y viabilidad.

**Cuadro 2. Clasificación de la semilla de 17 híbridos de maíz según su longitud y forma respecto al número de criba. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

<b>Híbrido</b>	<b>No. DE CRIBA</b>		<b>PORCENTAJE DE SEMILLA</b>				
	<b>Longitud</b>	<b>Forma</b>	<b>Grande</b>	<b>Medio</b>	<b>Chico</b>	<b>Bola</b>	<b>Plano</b>
<b>Cromo 034</b>	9 y 8	5.5	69.00	29.00	2.00	23.50	76.50
<b>Puma 1075</b>	8.5 y 8	5.0	0.50	56.10	43.40	12.90	87.10
<b>HS-2</b>	9 y 8	5.25	12.00	73.70	14.30	3.00	97.00
<b>32D06</b>	9 y 8	5.25	86.41	13.43	0.16	20.00	80.00
<b>Promesa</b>	9 y 8	5.0	25.58	66.50	7.92	15.18	84.82
<b>AS-722</b>	10 y 9	5.0	4.75	74.52	20.73	14.51	85.49
<b>H-48</b>	9 y 8	5.5	28.76	49.46	21.78	27.54	72.46
<b>Buho</b>	8.5 y 8	4.75	3.27	73.97	22.76	39.35	60.65
<b>H-50</b>	9 y 7	5.5	8.47	85.52	6.01	40.76	59.24
<b>Niebla</b>	8 y 7	4.75	2.47	97.17	0.63	4.96	95.04
<b>H-40</b>	9 y 8	5.75	12.28	47.97	39.75	26.56	73.44
<b>HID-17</b>	10 y 8	5.5	2.85	94.79	2.36	21.64	78.36
<b>HIT-7</b>	7.5 y 6.5	5.5	71.64	23.47	4.89	34.75	65.25
<b>CML 457/CML459 NT</b>	7 y 6.5	5.75	75.54	19.93	4.53	17.00	83.00
<b>CML457/CML459</b>	9 y 8	5.75	25.60	59.53	14.87	24.28	75.72
<b>CMS939083 NT</b>	10 y 8	5.75	9.00	79.85	11.15	49.66	50.34
<b>CMS939083</b>	10 y 8	5.5	6.57	87.08	6.35	64.80	35.20

### **3.2.3.1 Establecimiento y conducción de la prueba de germinación estándar.**

El diseño experimental usado fue un Bloques al Azar, con cuatro repeticiones de 25 semillas cada una; cada unidad experimental la constituyeron un rollo de 25 semillas (una repetición).

La prueba se estableció el 23 de Julio de 2009, la técnica empleada fue entre papel (EP) (ISTA, 2005), colocando las 25 semillas en tresbolillo sobre toallas sanitas dobladas, humedecidas con agua destilada y tapadas. Los rollos o tacos formados se colocaron estratégicamente en bolsas transparentes de polietileno. Se utilizó una germinadora Seedburo Equipment Company a 25 °C con 80 % de humedad. Se humedeció con agua destilada cada tercer día. El primer conteo se hizo al cuarto día y el segundo al séptimo día.

### **3.2.3.2 Variables evaluadas.**

**Porcentaje de germinación al primer conteo (PGPC).** Porcentaje de semillas que produjeron plántulas normales al cuarto día de establecida la prueba (ISTA, 1993). El criterio utilizado para evaluar plántulas normales fue que éstas ya tuvieran su primera hoja ligulada o bien, más del 50 % del coleóptilo lleno y a punto de salir la hoja. Se calculó de la siguiente manera:

$$PGPC = \frac{\text{No.de plántulas normales al cuarto día}}{25} \times 100$$

**Porcentaje de viabilidad (PV).** Porcentaje de semillas que presentaron germinación visible (plántulas normales + anormales) al séptimo día de establecida la prueba (ISTA, 1993). Se calculó de la siguiente manera:

$$PV = \frac{\text{No.de semillas germinadas al final de la prueba}}{25} \times 100$$

### **3.3 Fase de almaciguero**

#### **3.3.1 Ubicación.**

La prueba se realizó en un almaciguero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo en el Estado de México.

#### **3.3.2 Evaluación de la calidad fisiológica.**

Para esta evaluación se utilizaron 18 híbridos de maíz obtenidos de la reclasificación para tamaño. Se hizo una prueba de germinación en almaciguero en dos condiciones que permitieran expresión de vigor: Arena de río a 5 cm de profundidad y Tierra a 8 cm de profundidad.

### **3.3.2.1 Establecimiento y conducción de almaciguero con arena de río a 5 cm.**

Se aplicó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones y la combinación sustrato-profundidad (arena- 5 cm). La siembra se estableció el 18 de Junio del 2009, en un almaciguero de ladrillos de 5.0 x 2.0 m, con arena de río como sustrato. Para cada repetición se trazaron dos surcos por cada uno de los 18 híbridos, con una distancia de 6 cm entre surcos, en cada uno se sembraron 25 semillas en total, en un surco 13 semillas y en el otro 12. La distancia entre semillas fue de 6 cm, colocándolas con el ápice hacia abajo para promover una emergencia uniforme. Una vez concluida la siembra se cubrió la semilla con una capa de arena de 5 cm de espesor, luego se pasó encima un rasador para dejar uniforme la cama de siembra.

Después se aplicó un riego a saturación y posteriormente se cubrió el almaciguero con una estructura metálica forrada de plástico de invernadero; dejándolo entreabierto por las partes laterales para la circulación del aire. El resto de los días se regó regularmente y a partir de la emergencia del coleoptilo de las primeras plántulas, se contaron diariamente hasta que se uniformizó la emergencia.

La extracción de las plántulas se hizo a los trece días después de la siembra para hacer el conteo de germinación y medición de 10 plántulas por repetición, del mesocótilo y parte aérea de las plántulas normales. La extracción se hizo con una pala de jardinería y con una navaja, se cortó la raíz, la cual fue desechada; con el auxilio de una regla graduada en cm,

se procedió a la medición. Posteriormente, se pusieron junto con el resto en bolsas de papel estraza perforadas para la determinación del peso seco de la parte aérea.

### **3.3.2.2 Establecimiento y conducción de almaciguero con tierra a 8 cm.**

El diseño experimental fue el mismo que en la condición anterior a diferencia que la combinación sustrato-profundidad fue tierra a 8 cm. La siembra se estableció el 3 de Septiembre del 2009, se usaron dos estructuras metálicas (simulando una sola) de 3.0 x 0.88 m con tierra de campo como sustrato; cada estructura representó dos repeticiones. En cada repetición se hizo un surco por cada uno de los 18 híbridos, con una distancia de 7 cm entre surcos, en cada uno se colocaron 25 semillas; se usaron 100 semillas por híbrido para las cuatro repeticiones. La distancia entre semillas fue de 3 cm, colocándolas con el ápice hacia abajo. Una vez concluida la siembra se colocó una capa de tierra a 8 cm de espesor, luego se pasó encima un rasador para dejar uniformes las camas de siembra.

Después se aplicó un riego a saturación y posteriormente se cubrieron los almacigueros con una estructura metálica forrada de plástico de invernadero, dejando entreabiertos los lados. El resto de los días se regó regularmente y una vez emergidos los coleóptilos de las primeras plántulas, se contó diariamente hasta que se uniformizó la emergencia.

La extracción de las plántulas se hizo a los dieciocho días después de la siembra para hacer el conteo de germinación y la medición del mesocótilo y parte aérea de 10 plántulas normales por repetición, así como la determinación del peso seco aéreo.

### **3.3.2.3 Variables evaluadas en almaciguero con arena de río a 5 cm y tierra a 8 cm de profundidad.**

**Plántulas normales (PNOR).** Número total de plántulas normales al final de la prueba. Se entiende por plántula normal aquella con sus estructuras esenciales sin daños.

**Plántulas anormales (PANOR).** Número de plántulas que presentaron alguna malformación o ausencia en cualquiera de sus estructuras esenciales al final de la prueba.

**Semilla sin germinar (SSGER).** Semillas que al final de la prueba no presentaron germinación alguna.

**Velocidad de emergencia (VE).** Se obtuvo por medio del conteo diario de las plántulas emergidas y posteriormente se calculó la VE mediante la expresión propuesta por Maguire (citado por Copeland y McDonald, 2004).

$$VE = \sum_{i=1}^n \left( \frac{X_i}{N_i} \right)$$

En donde:

VE= Velocidad de emergencia

$X_i$ = Número de plántulas emergidas por día

$N_i$ = Número de días después de la siembra

n= Número de conteos; 1, 2..., n conteos

**Porcentaje de establecimiento (PE).** Corresponde al total de plántulas emergidas por surco expresados en porcentaje. En almaciguero con arena de río la duración de la prueba fue 13 días y con tierra, de 18 días. Se obtuvo con la siguiente expresión:

$$PE = \frac{\text{No.de plántulas normales al final de la prueba}}{\text{Número de semillas sembradas}} \times 100$$

**Longitud del mesocótilo (LM) y de la plántula (LP).** En 10 plántulas normales por parcela se midieron el mesocótilo y el total de la plántula sin raíz.

**Peso seco de la parte aérea (PSA).** Peso seco en gramos de la parte aérea de 10 plántulas consideradas como normales. Se utilizó una estufa marca Imperial V. Laboratory de Lab-Line a una temperatura de 70 °C durante 3 días; el peso se obtuvo en una báscula Ohaus.

### 3.4 Fase de campo

#### 3.4.1 Ubicación.

Las localidades utilizadas para llevar a cabo los experimentos en campo fueron Zumpango, Ayapango, Ozumbilla y Montecillo, todas en el Estado de México.

Montecillo está localizado en el paralelo 19° 29' Latitud Norte y en el meridiano 98° 53' de Longitud Oeste a 2250 msnm. El tipo de clima es el C (w<sub>0</sub>) (w) b (i'), subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial promedio de 625 mm y temperatura media anual de 15.1 °C (García, 1988). Los suelos provienen de rocas sedimentarias originadas por aluviones y depósitos lacustres y corresponden a la clasificación *Tepic calciustolls* asociado con fluvisol con textura media. El uso del suelo es para agricultura mecanizada y de riego (Muñoz, 2007).

El municipio de Zumpango se localiza en la parte noreste del estado de México, en las coordenadas 19° 43' 10'' y los 19° 54' 52'' de Latitud Norte y los 98° 58' 12'' y los 99° 11' 36'' de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich. El territorio geológico se caracteriza por tener un 50 % de superficie plana hacia el sur y por el norte se clasifican varios lomeríos y cerro. La altitud es de 2250 msnm. Tiene una temperatura de 31 °C la máxima y de -2.3 °C la mínima, con una media anual de 14.8 °C. La precipitación pluvial total anual es de entre 600 y 800 mm, registrándose la mayor precipitación en junio. El 80 % del territorio del municipio es del periodo cuaternario, con sedimentos de aluvión y depósitos lacustres; por el norte del municipio hay dos tipos de rocas del periodo terciario y hacia la parte poniente de la laguna de Zumpango se encuentra una zona de basaltos colorados, también del periodo terciario (Estado de México, 2007-2008).

Ayapango se localiza en la porción oriente del Estado de México, entre las coordenadas, máximas y mínimas respectivamente, 19° 10' 06'' y 19° 05' 15'' de Latitud Norte y, 98° 45' 30'' y 98° 51' 07'' de Longitud Oeste, a una altura de 2450 msnm. El clima es de tipo subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual oscila entre los 12 y

18 °C. La precipitación pluvial va de los 800 a 900 mm; la precipitación máxima ocurre en el mes de julio. El tipo de suelo predominante es el regosol, dedicado principalmente a la agricultura de temporal (Estado de México, 2007-2008).

Ozumbilla forma parte del municipio de Tecámac que se localiza en la parte nororiente de la capital del estado de México y al norte del Distrito Federal, en la región conocida como el Valle de México. Sus coordenadas son 19° 43' Latitud Norte y 98° 58' de Longitud Oeste, a una altura de 2340 msnm. El clima predominante es templado, semiseco y con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 16.4 °C, máxima 31.5 °C y una mínima de 6.5 °C. Tiene una precipitación pluvial promedio anual de 636 mm. Se registran heladas de octubre a marzo. El suelo en este municipio es apto para actividades agropecuarias, pero en las últimas décadas se ha dejado erosionar y se han instalado nuevos asentamientos humanos sobre tierras ejidales. El 78.35 % del territorio municipal está considerado para uso agrícola (Estado de México, 2007-2008).

#### **3.4.2 Evaluación de calidad fisiológica.**

En esta fase para evaluar vigor de los híbridos de maíz en cuatro localidades, se realizó la siembra de quince híbridos como fueron clasificadas por forma y tamaño según la compañía o institución de la que venían. El híbrido HS-2 TEC 08/TESTIGO no se incluyó por problemas de planeación al momento de la siembra, los híbridos CML 457/CML459 NT y CMS939083 NT se excluyeron por no estar tratados químicamente.

### **3.4.3 Establecimiento y conducción.**

No se utilizó diseño experimental como tal, debido a que el propósito fue la validación de los materiales. En cada localidad se sembraron 15 híbridos en parcelas de 10 surcos de 10 m de largo y 80 cm de ancho depositando una semilla cada 20 cm para obtener una población de 400 plantas (62500 plantas ha<sup>-1</sup>).

Una vez que se pudieron apreciar las plantas establecidas, es decir, cuando ya tenían sus 2 hojas liguladas, se realizó el conteo de las mismas a fin de compararlas con las pruebas de germinación y vigor de laboratorio y almaciguero.

### **3.4.4 Variable evaluada.**

**Porcentaje de establecimiento (PE).** Se calculó el porcentaje de establecimiento en cada localidad, por medio de la siguiente ecuación:

$$PE = \frac{\text{No.de plántulas establecidas}}{\text{Número de semillas sembradas}} \times 100$$

## **3.5 Análisis estadístico**

Se hizo un análisis descriptivo mediante valores porcentuales de las características de pureza, tamaño y peso de la semilla de los híbridos. Para las pruebas de germinación estándar y de vigor en las dos profundidades de siembra en almaciguero se hicieron análisis de varianza individuales, de pruebas de comparación de medias (Tukey, P <0.05) y de

correlación, así como un análisis de varianza factorial con dos factores: híbridos y profundidades de siembra. Para los datos de las variables expresadas en porcentajes se utilizó la transformación por medio de la fórmula arcoseno. Se manejó el paquete computacional SAS, versión 9.0.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Evaluación de la calidad física en laboratorio**

En el Cuadro 3 se muestra la clasificación por tamaño de semilla (longitud y forma) y la calidad física de los híbridos de maíz evaluados. En el análisis de pureza la mayoría de los híbridos tuvieron el 100 % de semilla pura, el porcentaje restante según fue el caso, resultó materia inerte.

En lo que respecta al porcentaje de semilla de maíz con y sin pedicelo, los híbridos Buho, Cromo 034 y Promesa tuvieron el mayor porcentaje de semilla con pedicelo, mayor de 99 %. HS-2, CML457/CML459 y Niebla tuvieron los porcentajes de semilla descabezada mayores, 13.20, 11.80 y 5.50 %, respectivamente. Buho fue el híbrido con menor porcentaje de semilla descabezada (0.20 %). La condición del pedicelo es de importancia al evaluar calidad pues se tiene la idea de que las semillas descabezadas son menos vigorosas.

En un estudio metodológico para estimar índices de vigor en maíz, Hernández (1998) utilizó la semilla del híbrido de maíz HS-2 de tres orígenes diferentes, encontrando que para dos de éstos, el porcentaje de semilla sin pedicelo fue muy elevado, de 22 a 68.75 %, lo que se reflejó en un menor peso volumétrico, menor producción de materia seca en condiciones de microtúnel y en general, una disminución en las variables de calidad fisiológica.

**Cuadro 3. Caracterización física de la semilla de 17 híbridos de maíz para los Valles Altos Centrales. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

Híbrido	PV kg hL <sup>-1</sup>	PMS g	P	O	R	C	E	N	T	A	J	E
			CH	SP	SD	SPG	SPM	SPCH	SBG	SBM	SBCH	
<b>Cromo 034</b>	73.74	418.20	9.90	99.90	0.55	52.84	22.65	1.04	15.96	6.42	1.07	
<b>Puma 1075</b>	72.39	300.10	9.80	99.90	5.40	0.20	48.97	37.87	0.26	7.16	5.52	
<b>HS-2</b>	75.83	366.00	10.60	99.90	13.20	10.69	72.22	13.63	1.37	1.46	0.60	
<b>32D06</b>	74.07	354.10	10.60	99.90	4.60	68.57	11.25	0.09	17.82	2.18	0.07	
<b>Promesa</b>	74.77	356.30	11.30	99.80	0.70	20.70	57.50	6.62	4.88	8.77	1.30	
<b>AS-722</b>	73.05	386.50	10.20	99.80	1.00	3.72	63.43	18.34	1.03	11.09	2.36	
<b>H-48</b>	70.48	333.10	9.80	99.90	2.80	23.17	34.91	14.38	5.59	14.55	7.37	
<b>Buho</b>	76.55	314.30	10.20	99.80	0.20	1.42	45.11	14.12	1.81	28.86	8.64	
<b>H-50</b>	67.50	248.30	9.70	99.70	3.50	2.63	52.18	4.43	5.84	33.34	1.55	
<b>Niebla</b>	69.56	232.70	9.70	98.90	5.50	2.23	92.45	0.33	0.24	4.72	0.00	
<b>H-40</b>	69.35	303.60	10.10	99.80	3.30	7.22	36.09	30.09	5.02	11.88	9.66	
<b>HID-17</b>	74.77	414.30	10.10	99.90	2.70	2.09	75.18	1.05	0.72	19.61	1.31	
<b>HIT-7</b>	73.39	227.60	10.40	99.80	1.10	45.68	15.41	4.13	25.96	8.03	0.76	
<b>CML 457/CML459 NT</b>	74.07	212.20	10.30	100.00	1.70	61.23	17.47	4.28	14.31	2.46	0.23	
<b>CML457/CML459</b>	70.17	MI	10.00	100.00	11.80	20.49	45.22	9.98	5.11	14.31	4.86	
<b>CMS939083 NT</b>	80.00	412.80	11.30	100.00	1.80	3.84	40.06	6.41	4.75	39.79	5.12	
<b>CMS939083</b>	72.72	MI	10.00	100.00	1.70	1.32	31.65	2.20	5.25	55.40	4.15	

PV: Peso Volumétrico; PMS: Peso de Mil Semillas; CH: Contenido de Humedad; SP: Semilla Pura; SD: Semilla Descabezada; SPG: Semilla Plano Grande; SPM: Semilla Plano Medio; SPCH: Semilla Plano Chico; SBG: Semilla Bola Grande; SBM: Semilla Bola Medio; SBCH: Semilla Bola Chico; MI: Material Insuficiente.

Acerca del peso volumétrico y del peso hectolítrico, sabiendo que dividir gramos por mililitro es equivalente a usar kilogramos por litro y que puede expresar el peso volumétrico como hectolítrico, el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) indica que el peso volumétrico del maíz debe ser como mínimo  $75 \text{ kg hL}^{-1}$  (Moreno, 1984); los híbridos que estuvieron dentro de este rango fueron Buho, 32D06, Promesa, HS-2, HID-17, CMS939083 NT y CML 457/CML459 NT.

Para peso de mil semillas, los híbridos Cromo 034, HID-17 y CMS939083 NT fueron los que tuvieron el mayor valor ( $>.412 \text{ g}$ ); HIT-7 y CML 457/CML459 NT tuvieron menores pesos con  $227.60$  y  $212.20 \text{ g}$ , respectivamente.

Al evaluar la variación entre caracteres de semilla y plántula en 156 poblaciones de maíz de la raza cónico, Mena (2001) encontró valores máximos para pesos de mil semillas de  $531 \text{ g}$  y los mínimos de  $250 \text{ g}$ ; el promedio fue  $383.4 \text{ g}$ . Para el peso hectolítrico, el valor máximo fue  $84 \text{ kg hL}^{-1}$ , el mínimo  $69$  y el promedio  $76.5 \text{ kg hL}^{-1}$ . Como se observa en el Cuadro 3, el híbrido que está dentro del promedio de  $76.5 \text{ kg hL}^{-1}$  es Buho. Respecto al peso de mil semillas, el híbrido que estuvo cerca del promedio del estudio de Mena (2001) fue AS-722 con  $386.50 \text{ g}$ .

En otra investigación, Muñoz (2007) al realizar una caracterización de semillas de maíz de diversos genotipos, encontró que HS-2 tuvo un peso de mil semillas de  $395 \text{ g}$  y un peso hectolítrico de  $68 \text{ kg hL}^{-1}$ , mientras que en el presente estudio este híbrido obtuvo un peso de mil semillas de  $366 \text{ g}$  y el hectolítrico fue  $75.83 \text{ kg hL}^{-1}$ , este último dato puede dar lugar

a interpretar que el híbrido tuvo mejores condiciones de producción sin estrés ambiental durante la etapa de llenado de grano.

Otro factor de importancia que influye en el peso de mil semillas de los genotipos de maíz según Terrazas (2007) es la fecha de cosecha, pues al evaluar el resultado de este factor sobre maíces criollos e híbridos (H-365c, H-317 y H-474c) provenientes del INIFAP, encontró que la interacción fecha por genotipo mostró diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ).

Del contenido de humedad, la mayoría de los híbridos tuvieron 10 %, el mayor porcentaje 11.30 % correspondió a Promesa y CMS939083 NT, mientras que el menor fue 9.70 % y correspondió a H-50 y Niebla.

En la clasificación por tamaño de semilla, se obtuvo que para semilla plano grande el mayor porcentaje (68.57 %) lo tuvieron los híbridos 32D06, CML 457/CML459 NT y Cromo 034. Para la semilla plano medio que es la de mayor producción a nivel comercial, el híbrido Niebla tuvo el 92.45 %, seguido del HID-17 con 75.18 % y el HS-2 con 72.22 %; los híbridos que tuvieron menor porcentaje plano medio fueron 32D06 con 11.25 %, CML 457/CML459 NT 17.47 % y HIT-7 15.41 %.

## 4.2 Evaluación de la calidad fisiológica en laboratorio

### 4.2.1 Prueba de germinación estándar.

#### 4.2.1.1 Análisis de varianza.

En el Cuadro 4 se puede observar que la fuente de variación Híbrido fue altamente significativa para las variables PGPC y PV. Hubo diferencias entre híbridos en el vigor medido como porcentaje de germinación al primer conteo.

**Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia estadística en 18 híbridos de maíz, evaluados en la prueba de germinación estándar en laboratorio. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>PGPC</b>	<b>PV</b>
<b>Hib</b>	17	160.28**	173.94**
<b>Rep</b>	3	21.35	20.22
<b>Error</b>	51	20.43	59.60
<b>Total</b>	71		
<b>R<sup>2</sup></b>		0.73	0.50
<b>C.V. (%)</b>		8.37	10.06
<b>Media</b>		54.00	76.73

\*\* Significativo al 0.01 de probabilidad. PGPC: Porcentaje de Germinación al Primer Conteo; PV: Porcentaje de Viabilidad.

#### 4.2.1.2 Comparación de medias.

En el Cuadro 5 se muestran los promedios y los grupos de significancia estadística para la variable de calidad fisiológica Porcentaje de Germinación al Primer Conteo y Porcentaje de Viabilidad, se puede observar, el híbrido HS-2 TEC08/TESTIGO tuvo mayor valor, seguido por Niebla, H-40, HIT-7, PUMA 1075, HS-2, CML457/CML459 y Promesa que

**Cuadro 5. Comportamiento medio para las variables evaluadas en laboratorio, mediante germinación estándar en 18 híbridos de maíz. Montecillo, Edo de México, 2009.**

Híbrido	PGPC (Plántula)	PV (Plántula)
<b>HS-2 TEC08/TESTIGO</b>	66.71 a	85.90 a
Niebla	62.96 ab	84.23 a
<b>H-40</b>	62.09 abc	78.90 ab
<b>HIT-7</b>	57.47 abcd	87.12 a
<b>PUMA 1075</b>	56.19 abcd	74.93 ab
<b>HS-2</b>	55.63 abcd	69.39 ab
<b>CML457/CML459</b>	55.10 abcd	77.24 ab
<b>Promesa</b>	55.05 abcd	79.16 ab
<b>CMS939083 NT</b>	54.19 bcde	76.02 ab
<b>H-50</b>	53.77 bcde	78.90 ab
<b>32D06</b>	53.18 bcde	73.27 ab
<b>Cromo 034</b>	52.55 bcde	82.05 a
<b>CMS939083</b>	52.55 bcde	71.30 ab
<b>HID-17</b>	52.00 bcdef	74.10 ab
<b>CML 457/CML459 NT</b>	50.40 cdef	72.14 ab
<b>Buho</b>	48.56 def	81.22 a
<b>H-48</b>	43.27 ef	76.02 ab
<b>AS-722</b>	40.39 f	59.43 b
<b>DSH</b>	<b>11.74</b>	<b>20.05</b>

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ). PGPC: Porcentaje de Germinación al Primer Conteo; PV: Porcentaje de Viabilidad.

conformaron un primer grupo con diferencia estadística. AS-722 fue el híbrido más bajo para esta variable, con 40.39 %, mientras que para Porcentaje de Viabilidad, HS-2 TEC08/TESTIGO, Niebla, HIT-7, Cromo 034 y Buho tuvieron los porcentajes mayores, aunque fueron estadísticamente iguales entre sí. AS-722 tuvo el porcentaje más bajo (59.43 %).

Estos valores coinciden con Hernández *et al.* (2000), que realizaron un experimento para discriminar entre variables de calidad fisiológica utilizadas para la medición del vigor en semilla de maíz y al hacer la prueba de germinación estándar en laboratorio y aplicar la

prueba de Tukey a las variables porcentaje de germinación al cuarto día y porcentaje de viabilidad, encontraron que hubo una discriminación similar entre tratamientos, es decir las medias que se presentaron eran iguales pues tenían en su mayoría la misma letra para cada variable. Los porcentajes de germinación al cuarto día de entre 83 y 86 % formaron grupos con la misma similitud estadística con letras ab; porcentajes de viabilidad de entre 95 y 98 % formaron los grupos con similitud estadística, con letras ab. En la presente investigación para porcentaje de viabilidad, los porcentajes entre 71 a 79 % conformaron el mayor grupo con similitud, con las letras ab.

Hernández y Carballo (1997) realizaron un estudio sobre la verificación de las normas ISTA para ensayos de germinación y la respuesta de ésta prueba en seis genotipos de maíz de distintas áreas de adaptación al someterlos a diferentes temperaturas, encontrando que dos híbridos, uno de origen tropical y otro del Bajío, tuvieron mayor porcentaje de germinación (97 %) a 25 °C al séptimo día de la prueba. Para el caso de los híbridos de los Valles Altos, Bajío y uno tropical, el mayor porcentaje de germinación ocurrió a los 30 °C al cuarto y séptimo día respectivamente.

La temperatura que se usó para la prueba de germinación fue de 25 °C; sin embargo, hubo variaciones en ésta que pudieron influir en el porcentaje de germinación, el cual fue bajo. El porcentaje de viabilidad tuvo valores mayores y considera tanto plántulas normales como anormales, habiendo más de éstas últimas. Hernández y Carballo (1997) consideran que el porcentaje de plántulas anormales se incrementa en los híbridos de maíz al subir la temperatura a 35 °C y como consecuencia disminuye el porcentaje de germinación al séptimo día, debido principalmente a la incidencia de hongos.

En lo que respecta al conteo de germinación al cuarto día, que es una prueba de vigor, Hernández *et al.* (2000), sugieren la necesidad de definir con precisión el momento más oportuno para realizar el primer conteo; por otro lado, Hernández y Carballo (1997) sugieren adecuar las reglas de la ISTA para evaluar correctamente calidad fisiológica de las semilla de los genotipos producidos en México. El criterio utilizado en este estudio para evaluar plántulas normales en el primer conteo fue que éstas ya tuvieran su primera hoja ligulada o bien, más del 50 % del coleóptilo lleno y a punto de salir la hoja.

Por lo general la prueba de germinación en laboratorio se usa como un estimador del potencial de emergencia de plantas en campo; al respecto Kolasinska *et al.* (2000), al estudiar la relación entre las pruebas de laboratorio para el análisis de semilla de frijol común y la emergencia en campo, realizaron pruebas de tetrazolio para viabilidad y por lo general resultó alto; germinación estándar estuvo en el 80 %; germinación en prueba de frío (a 10 °C) fue del 0 al 99 %; y también se realizó una prueba de conductividad que fue de 7 a 45  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ . La emergencia en campo fue de 0 a 100 %. Estos autores concluyeron que sólo la prueba de conductividad puede usarse como predictiva de emergencia de plántulas en campo independientemente de la temperatura del suelo en la siembra. A temperaturas de 9 a 15 °C el primer y último conteo de la prueba de germinación estándar junto con una prueba de la cubierta rota de la semilla y la prueba de conductividad pueden usarse para estimar la emergencia en campo.

### 4.3 Evaluación de calidad fisiológica en almaciguero

#### 4.3.1 Arena de rio.

##### 4.3.1.1 Análisis de varianza.

Las diferencias altamente significativas se dieron para las cuatro variables evaluadas en almaciguero con arena. Para repetición, PSA fue significativa, mientras que el resto de las variables fueron altamente significativas (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Cuadrados medios y significancia estadística en 18 híbridos de maíz, para las variables evaluadas en arena de rio. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>VE</b>	<b>PSA</b>	<b>LM</b>	<b>LP</b>
<b>Hib</b>	17	0.29**	4.31**	1.02**	42.72**
<b>Rep</b>	3	0.32**	1.94*	1.43**	115.22**
<b>Error</b>	51	0.05	0.48	0.21	6.85
<b>Total</b>	71				
<b>R<sup>2</sup></b>		0.70	0.76	0.66	0.75
<b>C.V. (%)</b>		5.67	13.19	12.96	7.42
<b>Media</b>		3.93	5.24	3.57	35.26

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad. VE: Velocidad de Emergencia; PSA: Peso Seco parte Aérea; LM: Longitud del Mesocótilo; LP: Longitud Plántula.

##### 4.3.1.2 Comparación de medias.

Como se muestra en el Cuadro 7, la mayor VE se dio para 13 híbridos que conformaron el primer grupo con similitud estadística con una amplitud que va de 4.32 a 3.77; siendo los de mayor velocidad de emergencia HS-2, H-48, HS-2 TEC08 /TESTIGO.

**Cuadro 7. Comportamiento medio de las variables evaluadas en 18 híbridos de maíz, en arena de río. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

Híbrido	VE (Plántula)	PSA (g)	LM (cm)	LP (cm)
HS-2	4.32 a	6.03 abc	3.70 abcde	35.70 abcde
H-48	4.30 a	6.08 abc	4.17 ab	39.75 ab
HS-2 TEC08/TESTIGO	4.26 a	5.26 abcd	3.57 abcde	34.28 abcde
Buho	4.15 ab	5.15 bcde	3.40 abcde	32.03 de
H-40	4.15 ab	6.96 a	3.58 abcde	41.07 a
Promesa	4.14 abc	6.37 ab	3.58 abcde	37.71 abcd
AS-722	4.05 abc	6.26 ab	3.89 abcd	37.20 abcd
Cromo 034	4.04 abc	5.45abcd	3.98 abc	35.38 abcde
CML457/CML459	4.02 abcd	5.87 abc	2.50 e	39.40 ab
32D06	3.94 abcd	5.88 abc	3.65 abcde	33.81 bcde
H-50	3.86abcd	4.72 bcde	4.58 a	36.54 abcde
PUMA 1075	3.83 abcd	4.43cde	3.50 abcde	33.99 bcde
HIT-7	3.77 abcd	3.93de	3.32 bcde	32.58 cde
Niebla	3.66 bcd	3.45 e	2.72 de	30.33 e
CMS939083	3.66 bcd	3.83 de	4.05 abc	30.08 e
CML 457/CML459 NT	3.60 bcd	3.76 de	2.90 cde	33.43 bcde
CMS939083 NT	3.57dc	4.87 bcde	3.69 abcde	32.41 cde
HID-17	3.45 d	6.05 abc	3.39 abcde	38.99 abc
<b>DSH</b>	<b>0.58</b>	<b>1.79</b>	<b>1.20</b>	<b>6.79</b>

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ). VE: Velocidad de emergencia; PSA: Peso Seco parte Aérea; LM: Longitud del Mesocótilo; LP: Longitud Plántula.

La relación entre velocidad de emergencia y profundidad de siembra (en este caso 5 cm) se debe a que las plántulas de siembras menos profundas, tienen menor gasto de energía y como resultado están más vigorosas al iniciar el crecimiento (Treviño y García, 1984).

Otro factor que influye en la emergencia es el ajuste del híbrido a una zona específica, es decir, los que deberían adaptarse a los Valles Altos no siempre tendrían que ser vigorosos en estas zonas. Hernández y Carballo (1997) al evaluar germinación y vigor de híbridos de maíz en invernadero con arena de río como sustrato, utilizaron las variables Porcentaje de

Germinación, Velocidad de Emergencia, Peso Seco de la Parte Aérea, Longitud de la Parte Aérea, entre otras; encontraron que los híbridos tropicales tuvieron mayores porcentajes de germinación y presentaron los mejores parámetros de vigor en las variables antes mencionadas, mientras que híbridos del Bajío y de Valles Altos presentaron bajo vigor, siendo la Velocidad de Emergencia entre 7 y 11 para estos últimos híbridos.

Para la variable PSA, el híbrido H-40 tuvo la mayor acumulación (6.96 g) aunque sin diferencias estadísticas comparado con otros 9 híbridos como Promesa (6.37 g), AS-722 (6.26 g), hasta Cromo 034 (5.45 g).

Para la variable LM, el híbrido que mayor longitud alcanzó fue H-50 (4.58 cm), seguido de otros 12 híbridos que conformaron el mismo grupo con similitud estadística en su comportamiento, donde HID-17 con 3.39 cm se encuentra en el otro extremo.

Para la variable LP el rango de longitud en un grupo de 10 híbridos sobresalientes va de 41.07 (H-40) hasta 34.28 cm (HS-2 TEC 08/ Testigo). Sánchez (2009) al realizar una investigación sobre la calidad de semilla de líneas élite de maíz sembrado en camas de arena encontró que la longitud de plántula iba de 6.6 a 11.3 cm. Estos resultados junto con los de la actual investigación ponen de manifiesto la diferencia entre líneas e híbridos de maíz respecto a la altura de plántula y que de acuerdo a los objetivos de cada investigación se debe hacer la selección del material genético, pues el tamaño de la plántula es de importancia agronómica.

Al ver los valores en las variables PSA y LP en el Cuadro 7, se puede observar que H-40 fue el híbrido con resultados más elevados para ambas variables. Comparando estas variables con H-48, que tiene buenos resultados en las evaluaciones, se puede notar que están cercanos a los del H-40. Para el caso de Promesa y AS-722 que siguieron en buena acumulación de materia seca al H-40, no se aprecia una elevada longitud de planta pues tuvieron 37.71 y 37.20 cm, respectivamente. Niebla fue el híbrido que tuvo los valores más bajos para PSA y LP con 3.45 g y 30.33 cm respectivamente.

A mayor velocidad de emergencia habrá mayor longitud de mesocótilo, Pérez *et al.* (2007), al evaluar el vigor inicial y su relación con el rendimiento de grano y sus componentes en 28 poblaciones de maíz de la raza Chalqueño, tomaron en cuenta la emergencia en microtúnel de arena y las variables evaluadas fueron velocidad de emergencia, longitud y peso seco de coleótilo y mesocótilo. Poblaciones del Valle de Chalco presentaron coeficientes de velocidad de emergencia de 11 a 17 plántulas por día, superiores estadísticamente al de las poblaciones de la Sierra Purépecha (con valores entre cinco y siete). Para las poblaciones del Valle de Chalco y de otros estados, los altos coeficientes de velocidad de emergencia coinciden en la mayoría de los casos con valores altos en la longitud del mesocótilo, que va entre 14.56 y 17.81 cm. Sin embargo, el análisis de comportamiento medio en el presente estudio, muestra que una de las velocidades de emergencia más elevadas fue de H-48, que coincidió con la segunda mejor Longitud de Mesocótilo; sin embargo, para el resto de las variedades la VE no tuvo mucha asociación estadísticamente con la variable LM.

#### **4.3.1.3 Análisis de correlación.**

Al correlacionar estadísticamente las medias de las variables estudiadas para los 18 híbridos de maíz en la condición con arena de río como sustrato, la Velocidad de Emergencia tuvo asociación altamente significativa con Peso Seco Aéreo y Longitud de Plántula. Peso Seco parte Aérea correlacionó con Longitud de Plántula (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Coeficientes de correlación y significancia estadística para las medias de las variables estudiadas en arena de río, en 18 híbridos de maíz. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

<b>Variable</b>	<b>PSA</b>	<b>LM</b>	<b>LP</b>
<b>VE</b>	0.60 **	0.24	0.42 *
<b>PSA</b>		0.22	0.83 **
<b>LM</b>			0.12

\*,\*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad. VE: Velocidad de Emergencia; PSA: Peso Seco parte Aérea; LM: Longitud de Mesocótilo; LP: Longitud Plántula.

A mayor longitud de planta habrá mayor acumulación de materia seca y también, a mayor emergencia más ventaja para que la planta acumule mayores reservas para su crecimiento y por lo tanto materia seca. García (2004) al realizar estudios de emergencia de maíz en almaciguero, encontró que hay correlación estadísticamente significativa al 0.01 de probabilidad entre las variables Velocidad de Emergencia y Longitud del Mesocótilo (0.60); así como de Peso Seco de la Parte Aérea con Velocidad de Emergencia (0.73).

#### **4.3.1.4 Comportamiento promedio de la germinación.**

En el Cuadro 9 se puede apreciar el promedio de las plántulas normales que emergieron en almaciguero con arena de río como sustrato y que son el equivalente al porcentaje de

germinación. HS-2, HS-2 TEC08/TESTIGO, H-40, AS-722, CML457/CML459, tuvieron 24.75 plántulas normales en promedio; H-50 y CMS939083 fueron los híbridos que tuvieron mayor número de plántulas anormales (0.75).

**Cuadro 9. Comportamiento promedio de las repeticiones en 18 híbridos de maíz, sometidos a germinación en arena de río. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

<b>Híbrido</b>	<b>PNOR (Plántula)</b>	<b>PANOR (Plántula)</b>	<b>SSGER (Semilla)</b>
<b>HS-2</b>	24.75	0.00	0.25
<b>H-48</b>	24.50	0.50	0.00
<b>HS-2 TEC08/TESTIGO</b>	24.75	0.00	0.25
<b>Buho</b>	24.50	0.00	0.50
<b>H-40</b>	24.75	0.00	0.25
<b>Promesa</b>	23.75	0.00	1.25
<b>AS-722</b>	24.75	0.25	0.00
<b>Cromo 034</b>	24.00	0.50	0.50
<b>CML457/CML459</b>	24.75	0.00	0.25
<b>32D06</b>	24.00	0.25	0.75
<b>H-50</b>	23.75	0.75	0.50
<b>PUMA 1075</b>	23.50	0.00	1.50
<b>HIT-7</b>	24.50	0.00	0.50
<b>Niebla</b>	24.00	0.50	0.50
<b>CMS939083</b>	23.00	0.75	1.25
<b>CML 457/CML459 NT</b>	23.00	0.50	1.50
<b>CMS939083 NT</b>	22.25	0.50	2.25
<b>HID-17</b>	21.50	0.25	3.25
<b>DSH</b>	<b>2.62</b>	<b>1.56</b>	<b>2.19</b>

PNOR: Plántulas Normales; PANOR: Plántulas Anormales; SSGER: Semilla sin Germinar.

En un estudio realizado en Montecillo, Edo. de México, por García (2004) para evaluar la variabilidad genética para la capacidad de emergencia en poblaciones nativas de maíz chalqueño, se utilizaron como testigo algunos híbridos comerciales sembrados en un almaciguero con arena de río, obteniéndose que de 25 semillas, HS-2 (CP) y H-33 (INIFAP) tuvieron un promedio de 17 y 18 plántulas normales, respectivamente. Al

analizar el Cuadro 9, HS-2 producido por el Colegio de Postgraduados y H-40 del INIFAP, son algunos de los híbridos que de 25 semillas por repetición, produjeron casi por completo el total en plántulas normales usando arena de río como sustrato.

#### 4.3.2 Tierra.

##### 4.3.2.1 Análisis de varianza.

En el Cuadro 10 se puede observar que para las fuentes de variación híbrido y repeticiones, las cuatro variables estudiadas VE, PSA, LM, LP muestran diferencias altamente significativas; salvo VE que fue significativa en el factor repeticiones.

**Cuadro 10. Cuadrados medios y significancia estadística en 18 híbridos de maíz, para las variables evaluadas en tierra. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>VE</b>	<b>PSA</b>	<b>LM</b>	<b>LP</b>
<b>Hib</b>	17	0.34**	3.23**	1.10**	31.20**
<b>Rep</b>	3	0.16*	0.79**	0.69**	52.78**
<b>Error</b>	51	0.04	0.19	0.07	3.80
<b>Total</b>	71				
<b>R<sup>2</sup></b>		0.73	0.86	0.85	0.78
<b>C.V. (%)</b>		7.23	9.46	9.75	6.13
<b>Media</b>		2.94	4.56	2.78	31.82

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad. VE: Velocidad de Emergencia; PSA: Peso Seco parte Aérea; LM: Longitud del Mesocótilo; LP: Longitud Plántula.

##### 4.3.2.2 Comportamiento de medias.

En el Cuadro 11 puede apreciarse que para la variable VE, los híbridos con los valores más elevados se agruparon de la siguiente manera: HS-2, H-48, AS-722, HS-2 TEC08/TESTIGO, H-40, siguiendo otras ocho más dentro del primer grupo de

significancia, con la siguiente amplitud: 3.32 a 2.85. Bond *et al.* (1999) sugieren que se debe tener en cuenta la capacidad de las semillas para emerger y germinar a través de las diferentes profundidades del suelo, por ejemplo, semillas muy pequeñas de algunas especies carecen de recursos o de la capacidad hidráulica para germinar y emerger de las profundidades más superficiales, mientras que las semillas grandes germinan y emergen de mayores profundidades. En esta condición la profundidad de siembra fue de 8 cm, motivo por el cual a diferencia de la condición a 5 cm, la VE fue menor; sin embargo, la semilla utilizada en ambas condiciones fue longitud medio.

**Cuadro 11. Comportamiento medio de las variables en 18 híbridos de maíz, evaluados en tierra. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

Híbrido	VE (Plántula)	PSA (g)	LM (cm)	LP (cm)
<b>HS-2</b>	3.32 a	5.02 abcd	3.24 abc	31.46 bcde
<b>H-48</b>	3.31 a	5.31 abc	2.90 bcd	35.21 abc
<b>AS-722</b>	3.21 a	5.16 abcd	2.75 bcde	32.48 abcde
<b>HS-2 TEC08/TESTIGO</b>	3.20 a	3.83 e	3.10 abc	30.14 def
<b>H-40</b>	3.19 a	5.77 a	2.64 bcdef	36.06 ab
<b>H-50</b>	3.14 ab	4.35 cde	3.63 a	32.95 abcde
<b>Promesa</b>	3.11 abc	5.02 abcd	2.98 abcd	31.65 bcde
<b>Cromo 034</b>	3.09 abc	5.70 a	2.84 bcde	34.13 abcd
<b>CML457/CML459</b>	3.07 abc	5.53 ab	1.69 g	34.22 abcd
<b>Buho</b>	3.03 abcd	4.17 de	2.36 defg	30.74 cdef
<b>CMS939083</b>	2.90 abcde	5.09 abcd	3.30 ab	32.87 abcde
<b>HIT-7</b>	2.89 abcde	3.36 ef	2.33 defg	28.99 ef
<b>Puma 1075</b>	2.85 abcde	3.57 ef	2.98 abcd	29.23 def
<b>HID-17</b>	2.60 bcde	5.29 abc	3.31 ab	36.80 a
<b>32D06</b>	2.60 bcde	4.41 bcde	2.57 cdef	28.46 ef
<b>Niebla</b>	2.57 cde	2.69 f	2.14 efg	26.27 f
<b>CML 457/CML459 NT</b>	2.49 de	3.52 ef	1.95 fg	30.48 cdef
<b>CMS939083 NT</b>	2.42 e	4.27 cde	3.30 ab	30.56 cdef
<b>DSH</b>	<b>0.55</b>	<b>1.12</b>	<b>0.70</b>	<b>5.06</b>

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ ). VE: Velocidad de emergencia; PSA: Peso Seco parte Aérea; LM: Longitud del Mesocótilo; LP: Longitud Plántula.

Se debe tener en cuenta que para algunos investigadores, la VE evaluada en almaciguero es importante ya que permite predecir el porcentaje de establecimiento en campo, de igual manera la utilización de ciertos sustratos como el tezontle o la arena de río a profundidades de entre 8 y 10 cm, variables como el peso seco de la raíz permiten predecir velocidad de emergencia y porcentaje de establecimiento en campo; en tanto que si se utiliza tezontle a profundidades de 5 cm la variable peso seco aéreo es la ideal (Hernández, 1998).

Para la variable PSA, el primer grupo similar estadísticamente lo conformaron 9 híbridos que resultaron con valores que van desde 5.77 en H-40, 5.70 en Cromo 034, hasta 5.02 para HS-2. Para LM, H-50 resultó de mayor longitud (3.63 cm), seguido de HID-17 (3.31 cm), CMS939083 (3.30 cm) y otros 4 híbridos más dentro del grupo de similitud estadística. CML457/CML459 fue el de menor LM, con 1.69 cm, siendo estadísticamente diferente a los demás híbridos.

Para LP, HID-17 fue el de mayor longitud (36.80 cm), seguido de H-40 (36.06 cm), H-48 (35.21 cm) y 5 híbridos más dentro del primer grupo de similitud, cuya amplitud en cm, va de 32.48 hasta 34.22.

Asociando la variable PSA con LP se puede observar que Cromo 034 y H-40, los cuales tuvieron mayor PSA, alcanzaron una LP entre 34 y 36.06 cm, que no fue el pico máximo que obtuvo HID-17 (36.80 cm); sin embargo, no hay mucha diferencia en cm, en comparación con CML457/CML459 que sigue después de las dos primeras variedades antes mencionadas y que alcanzó una LP de 34.22 cm, lo cual ya se aleja significativamente de la media alcanzada por HID-17.

### 4.3.2.3 Análisis de correlación.

Al correlacionar las variables estudiadas en dieciocho híbridos de maíz bajo condiciones de almaciguero con tierra, se tiene que hay significancia estadística entre Velocidad de Emergencia con Peso Seco Aéreo y con Longitud de Plántula; a su vez, PSA tiene una correspondencia altamente significativa con LP (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Coeficientes de correlación y significancia estadística para las medias de las variables estudiadas en tierra, en 18 híbridos de maíz. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

<b>Variable</b>	<b>PSA</b>	<b>LM</b>	<b>LP</b>
<b>VE</b>	0.51 *	0.19	0.42 *
<b>PSA</b>		0.24	0.87 **
<b>LM</b>			0.27

\*,\*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad. VE: Velocidad de Emergencia; PSA: Peso Seco parte Aérea; LM: Longitud de Mesocótilo; LP: Longitud Plántula.

En pruebas de microtúnel, la profundidad de siembra es importante para medir la capacidad de emergencia de plántulas, pues está relacionada con la longitud de mesocótilo; a siembras profundas es mayor la asignación de sustancias de reserva para éste crecimiento (Pérez *et al.*, 2007). En el presente estudio al correlacionar las medias de las variedades respecto a LM y VE en almaciguero con tierra a 8 cm de profundidad el resultado fue bajo y no estadísticamente significativo, siendo la correspondencia de 0.19.

#### 4.3.2.4 Comportamiento promedio de la germinación.

En el Cuadro 13 se puede apreciar que las plántulas normales que emergieron en almaciguero con tierra como sustrato y a 8 cm de profundidad, H-40 produjo 24.25 plántulas normales en promedio, seguido de HS-2, H-48 y H-50 con 24.50; CMS939083 NT fue el híbrido que tuvo menor número de plántulas normales (19.25) y más semilla sin germinar (5.50); 32D06 tuvo mayor número de plántulas anormales (1.75) a esta profundidad de siembra.

**Cuadro 13. Comportamiento promedio de las repeticiones en 18 híbridos de maíz, sometidos a germinación en tierra. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

Híbrido	PNOR (Plántula)	PANOR (Plántula)	SSGER (Semilla)
HS-2	24.50	0.25	0.25
H-48	24.50	0.25	0.25
HS-2 TEC08/TESTIGO	24.00	0.00	1.00
Buho	24.00	0.50	0.50
H-40	24.25	0.00	0.75
Promesa	23.50	0.25	1.25
AS-722	24.00	0.75	0.25
Cromo 034	24.00	0.00	1.00
CML457/CML459	24.00	0.25	0.75
32D06	21.50	1.75	1.75
H-50	24.50	0.00	0.50
PUMA 1075	23.00	0.50	1.50
HIT-7	23.50	0.25	1.25
Niebla	22.25	1.00	1.75
CMS939083	23.25	0.50	1.25
CML 457/CML459 NT	20.75	1.00	3.25
CMS939083 NT	19.25	0.25	5.50
HID-17	20.50	0.25	4.25
<b>DSH</b>	<b>3.67</b>	<b>1.81</b>	<b>3.46</b>

PNOR: Plántulas Normales; PANOR: Plántulas Anormales; SSGER: Semilla sin Germinar.

En el experimento realizado por García (2004) para comparar emergencia de híbridos de maíz, se utilizó un almaciguero con una profundidad de 20 cm, obteniéndose que HS-2 del Colegio de Postgraduados e híbridos del INIFAP, como H-33 y H-135, produjeron 5, 3 y 15 plántulas anormales en promedio de 25 semillas sembradas. Con esos resultados, se puso de manifiesto que la mayoría de las variedades comerciales no tenían la capacidad de emergencia en siembras profundas.

No obstante lo anterior, en el Cuadro 13, se aprecia que de 25 semillas sembradas en promedio a 8 cm de profundidad, HS-2 TEC08/TESTIGO, H-40, Cromo 034 y H-50 no produjeron plántulas anormales; mientras que 32D06, Niebla y CML 457/CML459 NT dieron los promedios elevados de plántulas anormales, siendo estos entre 1 y 1.75. Con estos resultados se puede señalar que a 8 cm de profundidad todavía hay oportunidad de producir plántulas normales, variable importante debido a que las plántulas que logran establecerse en campo son éstas.

#### **4.3.3 Análisis factorial de prueba de almaciguero en función a la profundidad de siembra.**

Con el análisis factorial se buscó identificar efectos de la profundidad de siembra en el almaciguero con los dieciocho híbridos de maíz entre las diferentes variables estudiadas (Cuadro 14). Se encontró que para las fuentes de variación, profundidad (5 y 8 cm) e híbrido, hubo diferencias altamente significativas en las variables Velocidad de Emergencia, Peso Seco Aéreo, Longitud de Mesocótilo y Longitud de la Plántula; en tanto que en la interacción de Profundidad x Híbrido, hubo diferencias altamente significativas

para Peso Seco Aéreo; es decir, que la acumulación de materia seca es diferencial entre variedades de maíz con el tipo de profundidad (Cuadro 15), H-40 (6.96 g), Promesa (6.37 g), AS-722 (6.26 g), H-48 (6.08 g), HID-17 (6.05 g) y HS-2 (6.03 g) fueron los híbridos con mayor acumulación de peso seco aéreo a 5 cm de profundidad, a 8 cm los híbridos que obtuvieron mejor peso fueron H-40 (5.77 g), Cromo 034 (5.70 g) y CML457/CML459 (5.53 g) . Hernández (1998) al estudiar metodologías para la estimación de vigor en maíz utilizó un almaciguero con profundidades de 5 y 10 cm con arena y tezontle como sustrato, encontrando que la profundidad de siembra y su interacción con el sustrato (Sub\*Pro) afectaron la producción de materia seca de raíz y parte aérea de la plántula, siendo ésta de 0.8 para peso seco aéreo y 0.3 para peso seco de la raíz. Por lo tanto, en cualquier análisis de calidad fisiológica de semillas, es de importancia considerar las consecuencias que puedan tener tipo de sustrato, profundidad y el genotipo de la semilla por su interacción.

**Cuadro 14. Cuadrados medios y significancia estadística para la interacción de las variables evaluadas en función a la profundidad y a 18 híbridos de maíz. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>VE</b>	<b>PSA</b>	<b>LM</b>	<b>LP</b>
<b>Profundidad</b>	1	35.18**	16.75**	22.24**	426.97**
<b>Híbrido</b>	17	0.59**	6.67**	1.92**	65.14**
<b>P*H</b>	17	0.04	0.87**	0.20	8.78
<b>Error</b>	108	0.06	0.39	0.19	9.70
<b>Total</b>	143				
<b>R<sup>2</sup></b>		0.88	0.77	0.73	0.62
<b>C.V. (%)</b>		7.02	12.73	13.90	9.28
<b>Media</b>		3.44	4.90	3.17	33.54

\*\* Significativo al 0.01 de probabilidad. VE: Velocidad de Emergencia; PSA: Peso Seco parte Aérea; LM: Longitud del Mesocótilo; LP: Longitud Plántula; P\*H. Interacción Profundidad-Híbrido.

**Cuadro 15. Comportamiento medio de peso seco de la parte aérea en 18 híbridos de maíz evaluados en arena y tierra, en función a la interacción profundidad-híbrido. Montecillo, Edo. de México, 2009.**

Híbrido	Peso Seco Aéreo (g)	Profundidad (cm)
H-40	6.96	5
Promesa	6.37	5
AS-722	6.26	5
H-48	6.08	5
HID-17	6.05	5
HS-2	6.03	5
32D06	5.88	5
CML457/CML459	5.87	5
H-40	5.77	8
Cromo 034	5.70	8
CML457/CML459	5.53	8
Cromo 034	5.45	5
H-48	5.31	8
HID-17	5.29	8
HS-2 TEC08/TESTIGO	5.26	5
AS-722	5.16	8
Buho	5.15	5
CMS939083	5.09	8
HS-2	5.02	8
Promesa	5.02	8
CMS939083 NT	4.87	5
H-50	4.72	5
PUMA 1075	4.43	5
32D06	4.41	8
H-50	4.35	8
CMS939083 NT	4.27	8
Buho	4.17	8
HIT-7	3.93	5
CMS939083	3.83	5
HS-2 TEC08/TESTIGO	3.83	8
CML 457/CML459 NT	3.76	5
Puma 1075	3.57	8
CML 457/CML459 NT	3.52	8
Niebla	3.45	5
HIT-7	3.36	8
Niebla	2.69	8
<b>DMS</b>	<b>0.87</b>	

## 4.4 Evaluación de la calidad fisiológica en campo

### 4.4.1 Promedios de los porcentajes de establecimiento.

Debido a que entre localidades, la variable Porcentaje de Establecimiento fue de importancia, se presenta el Cuadro 16, en el cual se considera que el promedio de PE en Montecillo fue superior (79.15 %) y en Ayapango se dio el promedio más bajo, siendo de 57.13 %.

**Cuadro 16. Promedio de los porcentajes de establecimiento (PE) por localidad en que se sembraron 15 híbridos de maíz.**

<b>Localidad</b>	<b>PE</b>
<b>Montecillo</b>	79.15
<b>Zumpango</b>	73.53
<b>Ozumbilla</b>	65.15
<b>Ayapango</b>	57.13

Muchos son los agentes que pueden influir en la expresión completa del vigor de la semilla en campo, autores como Pérez *et al.* (2007) sugieren a la falta de humedad y profundidad de siembra, pues al evaluar la emergencia en campo y su relación con el vigor en 28 poblaciones de maíz de la raza Chalqueño en diversas localidades, encontraron que hubo diferencias significativas para velocidad de emergencia en el caso de Montecillo, Edo. de México donde se usó el sistema de riego, no así para el caso de otras localidades como Aranza, Michoacán donde se usó el sistema de humedad residual y no se obtuvieron buenos resultados.

En este estudio las condiciones climáticas y de suelo de las cuatro diferentes localidades son importantes para el entendimiento del establecimiento en campo de los diferentes híbridos de maíz. En el caso de Montecillo y Zumpango en donde se dieron los mejores porcentajes de establecimiento, tienen precipitaciones pluviales de mínimo 600 mm y temperaturas medias de 15 °C, tienen climas subhúmedos. Para Ozumbilla, localidad que le sigue en resultados a las dos anteriores, el clima es templado, semiseco con lluvias en verano, con temperatura media de 16.4 °C y una precipitación pluvial parecida a la de Montecillo y Zumpango, sin embargo, Ozumbilla presenta fuertes heladas y a diferencia de las dos localidades antes mencionadas, sus suelos están fuertemente erosionados, motivo por el cual el porcentaje de establecimiento fue menor de 70 %.

En el caso de Ayapango el clima también es subhúmedo con temperaturas medias anuales de hasta 18 °C, con precipitaciones pluviales de 900 mm y que, a diferencia de Montecillo que tiene suelo para agricultura mecanizada y de riego, en Ayapango la agricultura es más de temporal. Esta localidad fue la que menor promedio de establecimiento registró (57.13 %). Respecto a los promedios de establecimiento por híbridos (Cuadro 17), H-40 obtuvo el mayor con 77.18 %, el menor promedio lo presentó CML457/CML459 con 58.31 %.

#### **4.5 Porcentajes de establecimiento en campo y almaciguero**

En el Cuadro 18 se presentan los porcentajes de establecimiento en campo y en almaciguero. Como se observa el porcentaje más elevado respecto a localidades, se dio en Montecillo, donde H-40 tuvo el 89.75 %, seguido de Búho con 89.25 % y

CML457/CML459 con 88.75 %; el porcentaje más bajo fue 56.75 % y correspondió a HID-17.

**Cuadro 17. Promedio en los porcentajes de establecimiento (PE) para 15 híbridos de maíz sembrados en localidades del Estado de México.**

<b>Híbrido</b>	<b>PE</b>
<b>H-40</b>	77.18
<b>Cromo 034</b>	76.25
<b>H-48</b>	75.50
<b>Buho</b>	74.56
<b>Promesa</b>	73.56
<b>Niebla</b>	70.18
<b>HS-2</b>	69.50
<b>PUMA 1075</b>	68.75
<b>HID-17</b>	67.68
<b>AS-722</b>	65.93
<b>32D06</b>	64.25
<b>H-50</b>	64.56
<b>CMS939083</b>	62.81
<b>HIT-7</b>	62.06
<b>CML457/CML459</b>	58.31

**Cuadro 18. Porcentajes de establecimiento de 15 híbridos de maíz en campo y almaciguero con arena de río y tierra. Méx., 2009.**

<b>Híbrido</b>	<b>Montecillo</b>	<b>Zumpango</b>	<b>Ayapango</b>	<b>Ozumbilla</b>	<b>Arena</b>	<b>Tierra</b>
<b>H-48</b>	83.75	79.50	64.00	74.75	98.00	98.00
<b>HIT-7</b>	69.00	79.00	23.00	77.25	98.00	94.00
<b>CMS939083</b>	74.50	59.75	61.75	55.25	92.00	93.00
<b>HS-2</b>	84.75	80.25	66.00	47.00	99.00	98.00
<b>Cromo 034</b>	83.00	81.00	63.50	77.50	96.00	96.00
<b>Puma 1075</b>	76.00	79.50	73.50	46.00	94.00	92.00
<b>32D06</b>	78.50	74.75	49.00	54.75	96.00	86.00
<b>H-40</b>	89.75	88.50	66.25	64.25	99.00	97.00
<b>Niebla</b>	81.25	58.00	63.25	78.25	96.00	89.00
<b>Promesa</b>	78.50	67.50	61.25	87.00	95.00	94.00
<b>Buho</b>	89.25	83.25	53.50	72.25	98.00	96.00
<b>AS-722</b>	81.75	66.50	56.50	59.00	99.00	96.00
<b>CML457/CML459</b>	88.75	63.25	26.25	55.00	99.00	96.00
<b>HID-17</b>	56.75	74.00	61.00	79.00	86.00	82.00
<b>H-50</b>	71.75	68.25	68.25	50.00	95.00	98.00

Para Zumpango, H-40 tuvo el porcentaje más elevado con 88.50, seguido de Búho con 83.25 %; Niebla tuvo el porcentaje más bajo con 58 %. En la localidad de Ayapango, PUMA 1075 tuvo un 73.50 %, seguido de H-50 con 68.25 %; los porcentajes más bajos los tuvieron HIT-7 y CML457/CML459. En el caso de Ozumbilla, Promesa tuvo el 87 % de establecimiento, seguido de HID-17 con 79 %.

Los porcentajes de establecimiento en el almaciguero con arena de río estuvieron entre 86 % que fue el menor y correspondió a HID-17 y 99 % que fue el más elevado y correspondió a HS-2, AS-722 y CML457/CML459. Para el almaciguero con tierra el porcentaje más elevado fue 98 % y correspondió a H-48, HS-2 y H-50, el menor fue de 82 % y correspondió a HID-17.

Podría esperarse que los híbridos utilizados en esta investigación tuvieran un porcentaje de establecimiento uniforme entre localidades debido a que ya han sido ensayados en Valles Altos Centrales de México, sin embargo no ocurrió de esa manera. La prueba en el almaciguero tuvo buen porcentaje de establecimiento pues tenía condiciones moderadamente más controladas en contraste con las de las demás localidades en campo, en consecuencia se puede ver que el mejor establecimiento se dio en Montecillo tanto para almaciguero como para campo, el resto de las localidades en especial Ayapango no dieron buenos resultados para esta prueba de vigor.

Si se analiza el comportamiento de cada híbrido por localidad se puede observar que hay diferencia en el establecimiento, así por ejemplo H-40 tuvo los porcentajes más elevados en Montecillo y Zumpango, no así en Ayapango y Ozumbilla; Puma 1075 tuvo el mayor

porcentaje en Ayapango y el menor en Ozumbilla. Esto es importante pues el efecto del ambiente sobre el genotipo puede influenciar en el establecimiento de los híbridos, por lo que en circunstancias notablemente deficientes el comportamiento de la semilla dependerá de las condiciones del lugar más que del vigor.

## V. DISCUSIÓN GENERAL

La calidad de la semilla de maíz es de suma importancia, pues debido a las exigencias del mercado mundial para la obtención de este producto primordial en la canasta básica de la alimentación humana, se ha obligado a las grandes empresas e instituciones dedicadas a la producción del maíz a tener en el mercado híbridos cuyas semillas sean de la más alta calidad física, fisiológica, sanitaria y genética.

Al analizarse la calidad física de la semilla de diferentes híbridos de maíz se consideró que en el manejo del cultivo pueden darse situaciones como la falta de nutrientes, daños por helada o granizo que se verán manifestadas en el peso volumétrico de la semilla. Al menos siete híbridos (HS-2, 32D06, Promesa, Buho, HID-17, CML 457/CML 459 NT, CMS939083 NT) estuvieron dentro del rango aceptable.

Dentro de la clasificación por forma y tamaño, que es de importancia debido a la asociación que tiene con la acumulación de reservas en la semilla y el vigor de la misma, se tiene que a nivel comercial, la semilla de tamaño plano medio es la que más buscan los agricultores. El híbrido que mayor porcentaje tuvo de esta semilla fue Niebla, misma que consecuentemente obtuvo menor semilla longitud chico y grande de forma plano y bola respectivamente. 32D06 tuvo mayor porcentaje de semilla plano grande y HIT-7 bola grande. En definitiva las empresas o instituciones productoras deben buscar uniformidad en tamaño y forma de la semilla.

Respecto al desprendimiento o no del pedicelo, se tiene la creencia de que semillas sin pedicelo reducen su vigor, sin embargo aunque ese no fue el objetivo del estudio, se aprecian datos que pueden apoyar o no esta presunción, pues mientras que híbridos con mayor porcentaje de descabezamiento como lo fueron Niebla y CML457/CML459 tuvieron valores bajos en algunas pruebas en especial de almaciguero, HS-2 que también tuvo alto porcentaje de semilla descabezada, presentó buen comportamiento en la mayoría de los ensayos.

Buho que tuvo menor porcentaje de semilla descabezada, en realidad al seguir la hipótesis anterior, debería tener un elevado vigor y sin embargo, no repunta en la mayoría de las pruebas realizadas.

En las evaluaciones para la calidad fisiológica, la prueba de germinación estándar en laboratorio con su variante de conteo al cuarto día, sirve como una prueba de vigor, siempre y cuando se defina bien el momento oportuno para el conteo y el criterio para plántulas normales. En el estudio hubo diferencias entre variedades en el vigor medido de esa manera, HS-2 TEC08/TESTIGO, H-40, HIT-7, PUMA 1075 y HS-2 fueron los que tuvieron un mayor porcentaje de germinación al primer conteo.

En la prueba del almaciguero, se tuvo la oportunidad de evaluar velocidad de emergencia, peso seco de la parte aérea, longitud de mesocótilo y de la plántula, con dos sustratos a profundidades diferentes y aunque se piensa que a mayor velocidad de emergencia mayor es la longitud del mesocótilo, estadísticamente al correlacionar medias de todos los híbridos

para dichas variables, no se obtuvo significancia estadística, sin embargo, si la hubo entre velocidad de emergencia y peso seco de la parte aérea, así como con longitud de plántula.

Según el comportamiento medio para la variable velocidad de emergencia HS-2, H-48, HS-2 TEC08/TESTIGO y H-40 tuvieron los mayores porcentajes en ambos sustratos. Para peso seco de la parte aérea, H-40 fue un híbrido que tuvo elevada acumulación y coincide en ambos sustratos. Para longitud de mesocótilo, H-50 fue el más elevado en los dos sustratos, CML457/CML459 tuvo menor longitud. Los híbridos que presentaron mayor longitud de plántula para ambos sustratos fueron H-40, H-48 y HID-17.

Aunque en ambos sustratos los resultados de las variables estudiadas coinciden para ciertos híbridos de maíz, se puede observar que en la profundidad de 5 cm usando arena de río, se dieron resultados más elevados que a 8 cm de profundidad con tierra como sustrato; profundidades menores pueden favorecer la emergencia de plántulas.

Respecto al porcentaje de establecimiento en campo, se sabe que son muchas las condiciones que pueden alterar a esta variable como son el clima, las condiciones del suelo, etc. En el caso del establecimiento según la localidad y la condición (experimento del almaciguero) se tienen similitudes; por ejemplo, Montecillo fue la localidad con mayor establecimiento de plántulas (89 %) en comparación con las otras tres localidades y el experimento de almaciguero también se llevó a cabo en esta localidad y tuvo porcentajes elevados (desde 82 hasta 99 %).

Si se analiza el clima y las condiciones de suelo para la agricultura, es notable que Montecillo respecto a Zumpango, Ayapango y Ozumbilla fue claramente mejor en cuanto a establecimiento. Adicionalmente cabe señalar las diferencias marcadas entre una prueba bajo almaciguero en que las condiciones son controladas a diferencia de la prueba en campo, donde las condiciones de humedad, suelo y manejo pudieron variar según las localidades.

Respecto al vigor, los híbridos que mejores resultados presentaron en germinación al primer conteo y condiciones de almaciguero, fueron los de cruce trilineal, tales como HS-2, H-48, H-40; en cambio CML457/CML459 de cruce simple, tuvo comportamiento medio-alto para ciertas variables como longitud de plántula y peso seco de la parte aérea en almaciguero con arena de río como sustrato; CMS939083 también de cruce simple, tuvo comportamiento medio-bajo para las dos variables antes mencionadas en la misma condición de almaciguero. En caso contrario este híbrido en almaciguero con tierra como sustrato para esas variables, presentó comportamiento medio alto.

Es importante destacar que en la presente investigación se pretendió evaluar el producto último de entrega de las empresas e instituciones dedicadas a la investigación y producción de semillas, las cuales lanzan al mercado híbridos que han sido certificados y de cierta manera garantizados en su calidad; no obstante resulta que en algunas ocasiones los productores que compran semilla mejorada han desacreditado la calidad de la semilla pues han tenido reducciones importantes en su producción. Si se toma en cuenta la importancia alimenticia y económica del maíz en México, debe haber congruencia mediante la entrega de semilla acondicionada de la mejor calidad que cumpla cabalmente con las leyes de

certificación y de esta forma garantizar el establecimiento del cultivo independientemente de las condiciones de las localidades en que se siembren.

Finalmente es conveniente señalar que en los resultados de las pruebas de calidad físicas y fisiológica de esta investigación, no se consideraron por desconocimiento, las condiciones previas a la obtención de la semilla de cada híbrido como la producción, manejo, acondicionamiento y almacenamiento, que pudieron ser determinantes en su comportamiento.

## VI. CONCLUSIONES

1. La prueba de caracterización de la semilla indica que aunque la semilla ya estaba previamente clasificada como plano medio por la empresa o institución de origen, en realidad los híbridos fueron objeto de una reclasificación que arrojó diferentes tamaños en diversos porcentajes.
2. Los porcentajes de semilla pura para cada híbrido fueron aceptables, al igual que la mayoría de los pesos volumétricos. Teniendo Buho, 32D06, Promesa, HS-2, HID-17, CMS939083 NT y CML 457/CML459 NT los mejores pesos volumétricos. CML 457/CML459 NT, CML457/CML459, CMS939083 NT y CMS939083 del CIMMYT fueron los híbridos que tuvieron 100 % de semilla pura.
3. Respecto al porcentaje de semilla con y sin pedicelo, todas las variedades tenían algún porcentaje de semilla sin pedicelo, sin embargo ninguna pasó del 14 %. HS-2 y CML457/CML459 presentaron los porcentajes más elevados.
4. La prueba de germinación estándar permitió evaluar el vigor en su variante de germinación al primer conteo, los híbridos que tuvieron mayor número de plántulas al cuarto día fueron HS-2 TEC08/TESTIGO, H-40, HIT-7, PUMA 1075 y HS-2.
5. La prueba realizada en condiciones de almaciguero con diferentes sustratos y profundidades sirvió para distinguir los híbridos más vigorosos. Para ambas condiciones los híbridos HS-2, H-48, HS-2 TEC08/TESTIGO tuvieron mayor

velocidad de emergencia; H-40 tuvo mejor peso seco de la parte aérea; H-50 mejor longitud de mesocótilo; H-48, H-40 y HID-17 obtuvieron mayor longitud de plántula en ambas condiciones.

6. En almaciguero bajo las dos condiciones de profundidad y sustrato, el número de plántulas normales fue cercano al promedio de 25 plántulas por híbrido, siendo HS-2, H-48, H-40, HS-2 TEC08/TESTIGO, AS-722, HIT-7, Buho y CML457/CML459 los que mayor número de plántulas normales tuvieron.
  
7. La información derivada de la prueba en condiciones controladas de almaciguero, permitieron identificar variedades con mayores posibilidades de establecimiento en campo. No obstante, esta relación de comportamiento es más notable cuando las condiciones de siembra en campo son favorables; así, las variedades con mejor porcentaje de establecimiento en almaciguero y campo en Montecillo y Zumpango fueron: H-40, H-48, HS-2, Buho y Cromo 034.

## VII. LITERATURA CITADA

- Andriguetto, R. J. y P. Camargo C. 1987. Desarrollo de programas efectivos de control interno de calidad. *In: Memorias. Reunión de Trabajo Sobre Fortalecimiento de Sistemas para Mejorar la Calidad de las Semillas.* Mendoza, A; (ed). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Monte Video, Uruguay. 283 p.
- Bernal, E. J. 1996. Producción, manejo y calidad de semillas. *In: Pasturas Tropicales. Memorias del Curso.* Correa, P. S; (ed). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Medellín, Colombia. 196 p.
- Bewley, D. J., M. Black and P. Halmer. 2006. The encyclopedia of seeds, science, technology and uses. CAB International. London, UK. 828 p.
- Bond, W. J., M. Honig and K. E. Maze. 1999. Seed size and seedling emergence: an allometric relationship and some ecological implications. *Oecologia* 120: 132 -136.
- Bruggink, H., H. L. Kraak., M. H. E. G. Dijkema and J. Bekendam. 1991. Some factors influencing electrolyte leakage from maize (*Zea mays* L.) kernels. *Seed Science Research* 1: 15-20.

- Calles, S. E. E., B. Sánchez S., P. P. Hernández E. y S. Muciño S. 2003. Cadena maíz grano valles altos. Proyecto estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología en el Estado de México. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX). México. 38 p.
- Canul, V. J. 1996. Efecto del descabezado sobre la calidad fisiológica de semillas de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo, Méx. 59 p.
- Cho, J. and R. A. Scott. 2000. Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. *Euphytica* 112: 145–150.
- CIAT. 1980. Semilla de frijol de buena calidad. 2 da edición. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 37 p.
- CIMMYT. 1999. Desarrollo, mantenimiento y multiplicación de semilla de variedades de polinización libre. Programa de maíz. Segunda Edición. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México, D.F. 16 p.
- CIP.1989. Avances en la producción de tubérculos-semilla de papa en los países del cono sur. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 199 p.

- Copeland, L. O. 1976. Principles of seed science and technology. Burgess Publishing Company. Minnesota, U.S.A. 369 p.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 2004. Seed vigor and vigor testing. *In: Principles of Seed Science and Technology*. 4<sup>th</sup>. ed. Kluwer Academic Publishers. USA. pp: 165-185.
- Cruz, D. M. S., M. M. Gómez V., M. E. Ortiz P., A. M. Entzana T., C. Y. Suárez H. y V. Santillán M. 2006. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México. 208 p.
- Cuevas, C. 1996. Análisis de la calidad física de semillas forestales. *In: Primer Seminario Nacional sobre Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*. Memorias. Mesen, F., Rodríguez, Y., y Sánchez, A; (ed). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 60 p.
- Douglas, J. E. y Monsalve, E. 1982. Programas de semillas. Guía de planeación y manejo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 357 p.
- Duryea, L.M. and M. P. Dougherty. 1991. Forest regeneration manual. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 433 p.

Elevitch, R. C. 2004. The overstory book. Cultivating connections with trees. Second edition. Permanent Agriculture Resources. Holualoa, Hawaii, USA. 526 p.

Ellis, R. H. and E. H. Roberts. 1983. Hacia una base racional para evaluar la calidad de la semilla. *In*: Producción Moderna de Semillas. Hebblethwaite, P. D; (ed). Tomo II. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. pp: 717- 753.

Espinoza, A., M. Sierra M. y M. Gómez N. 2002. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana* 14: 117-121.

Estado de México. 2007-2008. Municipios del Estado de México. Disponible en: <http://www.estadodemexico.com.mx/portal/zumpango/>. (Consultado 10 de Enero 2010).

Estado de México. 2007-2008. Municipios del Estado de México. Disponible en: <http://www.estadodemexico.com.mx/portal/ayapango/>. (Consultado 10 de Enero 2010).

Estado de México. 2007-2008. Municipios del Estado de México. Disponible en: <http://www.estadodemexico.com.mx/portal/tecamac/>. (Consultado 10 de Enero 2010).

Evans, J. and W. J. Turnbull. 2004. Plantation forestry in the tropics. Third edition. Oxford University Press. New York, United States. 467 p.

FAO. 1985. Procesamiento de semillas de cereales y leguminosas de grano, directrices técnicas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 173 p.

FAO. 2001. Políticas y programas de semillas en América Latina y en Caribe: Actas de la reunión técnica regional sobre políticas y programas de semillas en América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 240 p.

Feistritzer, W. P. 1977. Tecnología de la semilla de cereales. Manual de producción, control de calidad y distribución de semillas de cereales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 260 p.

Fernández, V. Z. 1999. Evaluación del vigor en cuatro híbridos de maíz mediante la prueba de agotamiento de reservas. Tesis profesional de Ingeniero Agrónomo. Chapingo, México. 53 p.

Forsyth, H. T. 2008. The Cereals in America. BiblioLife. New York, Estados Unidos de América. 456 p.

- García, C. E. 2004. Variabilidad genética para capacidad de emergencia en dos poblaciones nativas de maíz de la raza chalqueño. Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 80 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 217 p.
- Gari, J. 1987. Sistemas de control de calidad: semilla comercial. *In*: Memorias. Reunión de Trabajo sobre Fortalecimiento de Sistemas para Mejorar la Calidad de las Semillas. Mendoza, A; (ed). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Monte Video, Uruguay. 283 p.
- George, D. L., M. L. Gupta, D. Tay and I. G. M. A. Parwata. 2003. Influence of planting date, method of handling and size on super sweet corn seed quality. *Seed Science and Technology*. 31: 351-366.
- Goggi, A. S., P. Caragea, L. Pollak, G. McAndrews, M. DeVries and F. Montgomery. 2008. Seed quality assurance in maize breeding programs: Tests to explain variations in maize inbreds and populations. *Agronomy Journal* 100: 337-343.
- Hernández, G. J .A. 1998. Estudio metodológico para estimar índices de vigor en maíz. Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 118 p.

- Hernández, L. A. 1985. Efecto de la fertilización y densidad de población en el rendimiento y calidad de semilla de girasol. Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 103 p.
- Hernández, L., A. y A. Carballo C. 1997. Pruebas de germinación y vigor en semillas de maíz de diferentes áreas de adaptación. *Agrociencia* 31: 397-403.
- Hernández, G. A., A. Carballo C. A, A. Hernández L, y F. V. González C. 2000. Ponderación de variables de calidad fisiológica para la medición del vigor en semillas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23: 239-250.
- Herrera, H. C. A., L. H. Fierro G, y J. D. Moreno M. 2000. Manejo integrado del cultivo de la papa. Manual técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Bogotá, Colombia. 197 p.
- Hope, E. P. 1953. Infection of corn seedlings. *In: The Yearbook of Agriculture*. United States Department of Agriculture (ed). USA. pp: 377-392.
- Inge, F. D. and W. E. Loomis. 1937. Growth of the first internode of the epicotyl in maize seedlings. *American Journal of Botany* 24: 542-547.

- ISTA, 1993. International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing. Seed Science and Technology 21, Supplement. 288 p.
- ISTA. 2005. International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland. 243 p.
- Jara, N. L. F. 1997. Secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 135 p.
- Justice, L. O. and N. L. Bass. 1978. Principles and practices of seed storage. United States Department of Agriculture (USDA). Washington, USA. 289 p.
- Khan, R. A. and H. M. Laude. 1969. Influence of heat stress during seed maturation on germinability ok barley seed harvest. Crop Science 9: 55-58.
- Kolasinska, K., J. Szyrmer and S. Dul. 2000. Relationship between Laboratory Seed Quality Test and Field Emergence of Common Bean Seed. Crop Science 40: 470-475.
- Lugo, P. R. 1995. Separación del pedicelo en semillas de maíz y su influencia en la calidad fisiológica. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 76 p.

- McDonald, M. B. and Y. F. Kwong. 2005. Flower seeds: biology and technology.  
CAB International. London, UK. 372 p.
- Magaña L., S. 1992. Calidad física y fisiológica de semillas de líneas endogámicas de maíz (*Zea mays* L.) de valles altos en México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Méx .72 p.
- Martínez, E. M., E. V. Badillo M, A. Rivera, R. Navarrete and F. E. Villagrana. 1998. Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays* L.) stored under adverse conditions. *Seed Science and Technology* 26: 439-448.
- Mena, M. M. L. 2001. Variación en caracteres de semilla y plántula entre poblaciones de maíz de la raza cónico. Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 106 p.
- Mesén, F., A. Guevara L. y L. Jiménez M. 1996. Guía técnica para la producción de semilla forestal certificada y autorizada. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 34 p.
- Moreira de C., N. y J. Nakagawa. 1979. Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção. Fundação Cargill. Campinas, SP, Brasil. 424 p.

- Moreno M., E. 1984. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 383 p.
- Muñoz, H. J., A. 2007. Rendimiento de grano y su relación con el tamaño de semilla y la profundidad de siembra en seis variedades de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 81 p.
- Murray, D. R. 1984. Early events in germination. In: Seed physiology. Vol 2. Academic Press Australia. Australia. pp: 77-115.
- Ospina, M. J. E. 2002. Características Físico Mecánicas y Análisis de Calidad de Granos. Unidad de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 230 p.
- Pérez, de la C. F. J., L. Córdova T., A. Santacruz, V., F. Castillo G., E. Cárdenas S. y A. Delgado A. 2007. Relación entre el vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz chalqueño. Agricultura Técnica en México 33: 5-16.
- Perry, D. A. 1983. El concepto de vigor de la semilla y su relevancia con respecto a las técnicas de producción de semilla. *In*: Producción Moderna de Semillas. Hebblethwaite, P. D; (ed). Tomo II. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. pp: 693-702.

- Peterson, J. M., J. A. Perdomo and J. S. Burris. 1995. Influence of kernel position, mechanical damage and controlled deterioration on estimates of hybrid maize seed quality. *Seed Science and Technology* 23: 647-657.
- Poulsen, M. K. 2000. Técnicas para la germinación de semillas forestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Proyecto de Semillas Forestales. Turrialba, Costa Rica. 54 p.
- Rahman, M. M., J. C. Hampton and M. J. Hill. 2004. Effect of seed moisture content following hand harvest and machine threshing on seed quality of cool tolerant soybean. *Seed Science and Technology* 32: 149-158.
- Ramírez, G. M. 1982. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Editorial CECSA. México, D.F. 300 p.
- Raven, P. H., R. F. Evert and S. E. Eichhorn. 1992. *Biología de las plantas. Volumen II.* Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España. 402 p.
- SAGARPA. 2007. Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de semilla. Diario Oficial. pp: 2.
- Salinas, J. and S. J. Sánchez. 2006. *Arabidopsis protocols. Second edition.* Humana Press Inc. New, Jersey, USA. 469 p.

- Sánchez, R., A. Martínez F. y A. López L. 1998. Oportunidades de desarrollo del maíz mexicano. FIRA, Boletín Informativo, Num, 309: XXX. p. 88.
- Sánchez, H. 2004. Manual tecnológico del maíz amarillo duro y de buenas prácticas agrícolas para el valle de Huaura. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Lima, Perú. 139 p.
- Sánchez, G. G. 2009. Calidad de semilla de líneas élite de maíz tropical y elección del mejor híbrido. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 70 p.
- Santiago, R. L .H. 1988. Comportamiento de la germinación y del vigor en semillas de maíz (*Zea mays* L.) de distinto origen genético sometidas a diferentes temperaturas y sustratos. Tesis de Ingeniero Agrícola. UNAM- Facultad de estudios superiores Cuatitlán, Edo. de Méx. 84 p.
- Shah, F. S., C. E. Watson and E. R. Cabrera. 2002. Seed vigor testing of subtropical corn hybrids. Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station 23: 1-6.
- Shieh, W. J. and M. B. McDonald. 1982. The influence of seed size, shape and treatment on inbred seed corn quality. Seed Science and Technology 10: 307-313.
- SIAP. 2009. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: [www.siap.sagarpa.gob.mx](http://www.siap.sagarpa.gob.mx). (Consultado 8 de Septiembre del 2009).

Sierra, P. J. O. 2005. Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros. 2 da edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 244 p.

SNICS. 2010. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/snics/Precios%20de%20semilla.htm> (Consultado 31 de Julio del 2010).

Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2005. Diccionario Forestal. Mundi Prensa Libros S.A. Madrid, España. 1317 p.

Sweedman, L. and D. Merritt. 2006. Australian seed: A guide to their collection, identification, and biology. CSiro Publishing. Australia. 272 p.

Terrazas, L. F. 2007. Deterioro de semillas de maíz por insectos de almacén: Oportunidad de cosecha y condiciones de manejo en almacenamiento. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 129 p.

Treviño del R., J. E. y E. A. García Z. 1984. Efecto de la profundidad de siembra sobre el vigor de las plántulas de maíz (*Zea mays*. L) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L.). Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 110 p.

Urbano, T. P. 1995. Tratado de Fitotecnia General. 2 da Edición. Mundi Prensa Libros S.A. Madrid, España. 865 p.

Van der Maesen, L. J. G. 1984. Seed storage, viability and rejuvenation. *In: Genetic Resources and their Exploration- Chickpeas, Faba Beans and Lentils*. Witcombe, R. J; (ed). Kluwer Academic Publishers. USA. pp: 13-22.

Villaseñor, M. H. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 149 p.

Wood, D. W., P. C. Longden and R. K. Scott. 1977. Seed size variation; its extent, source and significance in field crops. *Seed Science and Technology* 5: 337-352.

Zeballos, H. E. 2006. Agricultura y desarrollo sostenible. SIRENARE, COSUDE y Plural Editores. La Paz, Bolivia. 285 p.