

37
29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

COMPORTAMIENTO DE LA GERMINACION Y
DEL VIGOR EN SEMILLAS DE MAIZ (Zea mays L.)
DE DISTINTO ORIGEN GENETICO SOMETIDAS A
DIFERENTES TEMPERATURAS Y SUSTRATOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRICOLA

P R E S E N T A :

SANTIAGO ROJAS LEONARDO HUGO



DIRECTOR DE TESIS:

M. C. ADRIAN HERNANDEZ LIVERA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1988

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

	PAGS.
INDICE DE CUADROS	ix
RESUMEN	xii
I. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis	4
II. REVISION DE LITERATURA	5
2.1. Importancia y Concepto de Semilla	5
2.2. Calidad de Semillas	6
2.2.1. Calidad genética	6
2.2.2. Calidad física	7
2.2.3. Calidad fisiológica	7
2.2.4. Sanidad	8
2.3. Factores que Afectan la Calidad de las Se- millas	10
2.4. Concepto de Germinación	12
2.4.1. Fisiología de la germinación	12
2.4.2. Condiciones ambientales para la ger- minación	13
2.4.3. Objetivos de las pruebas de germina- ción	15
2.4.4. Resultados de las pruebas de germina- ción	16

CONTENIDO

	PAGS.
INDICE DE CUADROS	ix
RESUMEN	xii
I. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis	4
II. REVISION DE LITERATURA	5
2.1. Importancia y Concepto de Semilla	5
2.2. Calidad de Semillas	6
2.2.1. Calidad genética	6
2.2.2. Calidad física	7
2.2.3. Calidad fisiológica	7
2.2.4. Sanidad	8
2.3. Factores que Afectan la Calidad de las Se- millas	10
2.4. Concepto de Germinación	12
2.4.1. Fisiología de la germinación	12
2.4.2. Condiciones ambientales para la ger- minación	13
2.4.3. Objetivos de las pruebas de germina- ción	15
2.4.4. Resultados de las pruebas de germina- ción	16

	PAGS.
2.4.4.1. Plántulas normales	16
2.4.4.2. Plántulas anormales	17
2.4.4.3. Semillas sin germinar	17
2.4.5. Sustratos	18
2.4.5.1. El papel como sustrato	18
2.4.5.2. Arena como sustrato	20
2.4.5.3. Suelo como sustrato	22
2.4.6. Condiciones para la prueba de germinación en maíz	22
2.5. Vigor en Semillas	23
2.5.1. Importancia del vigor en semillas .	24
2.5.2. Concepto de vigor	26
2.5.3. Procesos directamente relacionados con el vigor	26
2.5.4. Factores que afectan el vigor	27
2.5.5. Evaluación del vigor en semillas ..	27
2.5.5.1. Pruebas directas.....	29
2.5.5.2. Pruebas indirectas	33
III. MATERIALES Y METODOS	36
3.1. Localización del Sitio Experimental	36
3.2. Material Genético	37
3.3. Experimento I. Comportamiento de la Germinación y del Vigor en Semillas de Maíz de la Variedad CPSV-19-I sometidas a dos temperaturas	37

3.4.	Experimento II. Comportamiento de la Germinación y del Vigor en Semillas de Seis Genotipos de Maíz Sometidas a Diferentes Temperaturas	42
3.4.1.	Conducción del experimento	42
3.4.2.	Variabes estudiadas	43
3.5.	Experimento III. Comportamiento de la Germinación y del Vigor en Semillas de Seis Genotipos de Maíz Sembradas en Invernadero	45
3.5.1.	Conducción del experimento	45
3.5.2.	Análisis estadístico	47
IV.	RESULTADOS	48
4.1.	Comportamiento de la Germinación y del Vigor en Semillas de Maíz de la Variedad CPSV-19-I a Dos Temperaturas	48
4.1.1.	Análisis de varianza	48
4.1.2.	Prueba comparativa de medias	48
4.1.3.	Correlación entre variables	50
4.2.	Comportamiento de la Germinación y del Vigor en Semillas de Seis Genotipos de Maíz Sometidas a Diferentes Temperaturas	51
4.2.1.	Análisis de varianza	52
4.2.2.	Prueba comparativa de medias	52
4.2.2.1.	Análisis individuales	52
4.2.2.2.	Análisis combinado	56

	PAGS.
4.2.3. Correlaciones entre variables	58
4.2.3.1. Análisis individual	58
4.2.3.2. Análisis combinado	58
4.3. Comportamiento de la Germinación y del Vi- gor en Semillas de Seis Genotipos de Maíz Sembradas en Invernadero	60
4.3.1. Análisis de varianza	60
4.3.2. Prueba comparativa de medias	61
4.3.3. Correlación entre variables	62
V. DISCUSION	64
5.1. Comportamiento de la germinación y del <u>vi</u> gor en semillas de maíz de la variedad CPSV-19-I sometidas a dos temperaturas ..	64
5.2. Comportamiento de la germinación y del <u>vi</u> gor en semillas de seis genotipo de maíz sometidas a diferentes temperaturas	66
5.3. Comportamiento de la germinación y del <u>vi</u> gor en semillas de seis genotipos de maíz sembradas en invernadero	72
VI. CONCLUSIONES	76
VII. BIBLIOGRAFIA	78
VIII APENDICE	82

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Págs.
1	Relación de materiales genéticos, y <u>ex</u> perimentos para evaluar el comportamiento de la germinación y del vigor en semillas de maíz de distinto origen.	39
2	Cuadrados medios obtenidos del análisis de varianza de las diferentes variables en estudio.	49
3	Comparaciones (Tukey, $P < 0.05$) entre los valores medios correspondientes a <u>tempe</u> raturas .	49
4	Coefficientes de correlación y significancias estadísticas entre variables <u>es</u> tudiadas de la variedad CPSV-19-I.	50
5	Valores medios y significancia estadística (Tukey, $P < 0.05$) para la variable PIS de los seis genotipos utilizados.	51
6	Cuadrados medios y significancia estadística de los análisis de varianza individuales y conjunto para las diferentes temperaturas.	53
7	Prueba de medias (Tukey, $P < 0.05$) para los seis genotipos de maíz evaluados por su respuesta a las temperaturas de 20, 25, 30 y 35°C.	54

Cuadro	Título	Págs.
8	Comparación de medias del análisis de varianza combinado para los seis genotipos evaluados a las cuatro temperaturas.	57
9	Coefficientes de correlación y significancia estadística entre las variables estudiadas a diferentes temperaturas.	59
10	Coefficientes de correlación para las variables de interés en el análisis combinado.	60
11	Cuadrados medios y significancia estadística de las variables bajo estudio en la evaluación en invernadero.	61
12	Comparación de medias (Tukey, $P < 0.05$) de las variables bajo estudio en la evaluación de invernadero.	62
13	Coefficientes de correlación y significancia estadística para las variables bajo estudio en la evaluación de invernadero.	63

INDICE DE CUADROS DEL APENDICE

Cuadro	Título	Págs.
1A	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables en estudio.	83
2A	Comparación de medias (Tukey, $P < 0.05$) del análisis combinado para las <u>variables</u> en estudio en las cuatro <u>temperaturas</u> .	84

RESUMEN

El concepto de calidad de semillas constituye la suma de múltiples atributos de las mismas, resultando de vital importancia la calidad fisiológica que se evalúa mediante ensayos de germinación y vigor; por tal motivo el presente trabajo realizado en la Sección de Semillas del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados, tuvo como finalidad verificar si en genotipos de maíz formados en distintas regiones de México, se adecúan las normas de la ISTA (International Seed Testing Association) para ensayos de germinación en semillas, así como comparar las metodologías de laboratorio e invernadero. El estudio se llevó a cabo mediante tres experimentos; el primero, utilizando semillas de maíz de la variedad CPSV-19-I sometidas a 20 y 35°C; el segundo, usando semillas de los genotipos H-509, H-452, H-311, H-303, Lote 1-56 y Mont. 86 y 5X4 Mont. 86, sometidas a 20, 25, 30, y 35°C, en cámara germinadora y un tercero con los mismos genotipos de la segunda etapa, pero conducido en invernadero. Se evaluaron parámetros de germinación (porcentajes de germinación y de plántulas anormales) e indicadores de vigor (velocidad de germinación, longitud y producción de materia seca).

De los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Los genotipos de maíz presentaron una respuesta diferencial a los tratamientos de temperatura, mostrando su máximo potencial de germinación y vigor a temperaturas diferentes a las especificadas por las reglas de la ISTA.
2. Es necesario adecuar las reglas de la ISTA para evaluar correctamente la calidad fisiológica de las semillas de los genotipos producidos en México.
3. Los híbridos estudiados mostraron su más alto potencial de germinación a diferentes temperaturas, agrupándose de acuerdo a su origen.
4. Es posible acortar el tiempo de las pruebas de germinación y vigor, utilizando temperaturas a 30 ó 35°C, obteniendo resultados similares al período establecido por las reglas de la ISTA.
5. Para propósitos de evaluación de la calidad de lotes de semillas de maíz y para el mejoramiento genético, se pueden utilizar como parámetros de selección la velocidad de germinación (VG) y peso seco de plántulas normales (PSPN).
6. La conducción de las pruebas en cámara de ambiente controlado fue de más fácil manejo al realizar las observaciones y cuantificación de la germinación y del vigor así como mayor homogeneidad en resultados, en tanto, que la prueba en invernadero fue más drástica y necesitó mayor tiempo.

7. El desarrollo de la prueba en invernadero, por las condiciones de temperatura que se presentaron al interior, se asemejó a la prueba en cámara de ambiente controlado a 35°C.

I. INTRODUCCION

Con el propósito de valorar la calidad de las semillas para siembra, se han desarrollado diferentes técnicas de en sayo que permiten estimar esta calidad. En 1924 fue creada la Asociación Internacional de Análitas de Semillas (ISTA) con la finalidad de estandarizar los ensayos de semillas a nivel mundial, mediante la aplicación de técnicas uniformes en la determinación de la calidad, para los distintos sectores de la industria relacionada con este medio de producción: el productor, el almacenista, el comerciante, el agricultor, la autoridad encargada de certificación y el gobierno u organismo responsable de su control; cubriendo adicionalmente los aspectos legales que rigen el comercio nacional e inter nacional (FAO, 1978).

En la ISTA se encuentran asociados actualmente 60 países del mundo que aplican estas reglas para la valoración de las semillas sometidas a transacciones comerciales inter nacionales, y por lo tanto sirven de modelo en la regulari zación que sobre el control de la calidad de semillas exis ten en cada nación.

México no es socio de la ISTA, pero con el objetivo de garantizar que la semilla sea de buena calidad, el 14 de abril de 1961 se publicó en el Diario Oficial de la

Federación la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas. Con esta Ley se crea el Sistema Nacional de Producción, Certificación y Comercio de semillas que se encuentra integrado por: El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); el Comité Calificador de Variedades de Plantas; el Registro Nacional de Variedades de Plantas; la Productora Nacional de Semillas (PRONASE); las Asociaciones de Productores de Semillas; la Comisión Nacional de Fruticultura y el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

Es responsabilidad de SNICS certificar el origen y la calidad de las semillas que se ofrecen a los productores, garantizando con esto que la semilla correspondiente se obtuvo siguiendo medidas que aseguren la identidad genética, y que en el momento de su análisis en el laboratorio alcanzarán valores de germinación, pureza física y de otras características que permiten su empleo con seguridad de éxito (Badillo, 1981).

Las normas vigentes de certificación de semillas incluyen reglas específicas para 40 cultivos alimenticios básicos, hortícolas, oleaginosas industriales y forrajeras. Sin embargo, la Ley no contempla en su contenido a algún organismo o institución responsable de realizar investigaciones relacionadas con el proceso de la producción y tecnología de las semillas (Orozco, 1985).

A nivel nacional instituciones como PRONASE, INIFAP, SNICS y algunas de educación superior, realizan pruebas para evaluar la calidad fisiológica de las semillas siguiendo las reglas de la ISTA; sin embargo, para las pruebas de vigor, salvo el primer conteo, no existe un procedimiento aceptado a nivel internacional, y en consecuencia no ha sido posible obtener una estandarización en los ensayos, principalmente porque no se cuenta con personal especializado, falta de infraestructura y de aparatos de precisión; así como a la falta de materiales con características estipuladas por las reglas, ya que la mayoría son de importación. Adicionalmente cabe señalar que los materiales genéticos usados en los laboratorios de la ISTA a nivel mundial, son diferentes a los materiales locales.

Ante esta problemática se hace necesario el planteamiento de trabajos de investigación para generar metodologías que estén acordes con la situación económica del país y proporcionen aportaciones al conocimiento científico y técnico.

Considerando los aspectos señalados, en esta investigación se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis.

1.1 Objetivos

- a) Verificar si en genotipos de maíz formados en México, se adecúan las normas de la ISTA para ensayos de germinación.

- b) Observar la respuesta de la germinación de seis genotipos de maíz a diferentes temperaturas en una cámara de ambiente controlado, y cotejarla con pruebas de invernadero.
- c) Comparar las metodologías de laboratorio e invernadero para la estimación de la germinación y el vigor de semillas.

1.2 Hipótesis

- a) Existe una respuesta diferencial en las pruebas de germinación y de vigor entre los genotipos provenientes de distintas regiones climáticas.
- b) Las pruebas de vigor en laboratorio correlacionan positivamente con las pruebas de invernadero, aportando elementos para predecir el comportamiento del cultivo en el campo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Importancia y Concepto de Semilla

La semilla es el insumo más delicado e importante en la producción de cualquier especie, ya que es portadora del potencial genético. Hess (1980) define a la semilla como un embrión estático rodeado por endosperma más o menos bien formado, y a continuación afirma que es una unidad de dise-minación. Para Potts (1987) la semilla consiste en un eje embriónico, una fuente de alimentación almacenado y una envoltura protectora; además le atribuye las siguientes funciones: a) portadora de las características genéticas; b) un sistema eficaz de almacenaje para una planta viva; y c) la reproducción, cuando se alcanzan las proporciones adecu-das de humedad, temperatura, oxígeno y a veces luz, emergen las estructuras que llamamos plántulas.

Por su parte, Moreno (1984) señala que en términos agronómicos y comerciales se conoce como semilla a toda clase de granos, frutos y estructuras más o menos complejas (unidad semilla) que se emplea en las siembras agrícolas; también menciona que botánicamente una semilla verdadera es un embrión en estado latente, acompañado o no de tejidos nutricionales y protegido por episperma.

Las respuestas obtenidas ya sea a la buena preparación del terreno, al riego, la fertilización y al control fitosanitario, van a depender de la calidad de la semilla que se haya sembrado. A diferencia de otros insumos, la semilla es un ente vivo y como tal nos interesa que al momento de sembrarla se encuentre viva y con su más alto potencial para producir una planta normal y productiva.

2.2 Calidad de Semillas

La calidad de las semillas constituye la suma de múltiples atributos de las mismas: fidelidad con el cultivar, daños mecánicos, capacidad y vigor de germinación, infecciones debidas a enfermedades, daños provocados por los insectos, tratamiento, tamaño, contenido de humedad, frecuencia de semillas de malas hierbas comunes y nocivas, semillas de otros cultivos y material inerte (FAO, 1979). La calidad de una semilla se puede evaluar desde los puntos de vista: genético, físico, fisiológico y sanidad.

2.2.1 Calidad genética

Garay (1981) señala que debido a la importancia de este componente se han desarrollado los programas de fitomejoramiento, mediante la introducción y/o cruzamiento y selecciones para identificar el material genético adecuado, lográndose a obtener variedades e híbridos con características sobresalientes, tales como un mayor rendimiento, calidad de

producto, resistencia a plagas y enfermedades; así como su respuesta a condiciones ecológicas específicas, aplicación de fertilizantes y de plaguicidas. El hecho de obtener este "material genético superior", significa que se ha obtenido el primer componente de la calidad de la semilla. Entonces esta calidad viene determinada por el genotipo de la variedad o híbrido. Al respecto, García (1981) considera a la calidad genética como un factor que corresponde a la fidelidad con que la semilla transmite las características genotípicas de la variedad, tales como identidad y pureza genética.

2.2.2 Calidad física

Hernández (1985) indica que la calidad física consiste en determinar el contenido de humedad, su peso por volumen y la pureza de la semilla; en el análisis de pureza se determina la proporción de sus componentes haciéndose los separados clásicos; semilla pura, semilla de otros cultivos, semilla de malas hierbas y material inerte. Adicionalmente García (1981) menciona al color y el daño de hongos e insectos como tres componentes más.

2.2.3 Calidad fisiológica

Con respecto a la calidad fisiológica de la semilla, García (1981) considera dos factores principales: el de viabilidad y el poder germinativo. El primero se refiere a la

capacidad que tiene una semilla para permanecer viva durante un determinado período. El segundo se refiere a la propiedad de toda semilla viva, después de la siembra, en presencia de factores ambientales favorables, siendo el vigor de la semilla el que garantiza su establecimiento aun en condiciones críticas.

Hernández (1985) señala que la capacidad de germinación y el vigor de las semillas esta relacionada con la calidad fisiológica; sin embargo, en los últimos años algunos investigadores y analistas de semillas han cuestionado las pruebas de germinación. Al respecto, Delouche y Cadwell (1962) indican que estas críticas a las pruebas de germinación se basan en que el análisis se hace bajo condiciones óptimas de luz, temperatura y humedad, con lo cual no se esta evaluando adecuadamente el potencial de producción de la semilla; por lo tanto, sugieren que se debe incluir al vigor de la semilla dentro de los factores de calidad, ya que está directamente relacionado con una germinación más rápida y uniforme, así como con plántulas más vigorosas. No obstante lo anterior, Delouche y Baskin (1970) establecen que mientras no se pueda demostrar que una prueba de vigor reemplace completamente las pruebas de germinación, deberán aplicarse como un complemento de éstas. Por su parte Martínez (1987), menciona que es posible mejorar la calidad fisiológica de las semillas por medio de selección e hibridación.

2.2.4 Sanidad

Valadez (1985) indica que aproximadamente el 90% de las enfermedades son transmitidas por semilla; estas enfermedades pueden afectar a la calidad de las semillas durante su producción en campo o en el almacén causando daños directos o indirectos; estas semillas enfermas representan posteriormente la fuente de inóculo primario, el cual dará lugar a la dispersión del patógeno a través del aire, agua, insectos, por semilla infectada, o mecánicamente. De esta forma los patógenos pueden ser transmitidos eficientemente de lugar a lugar o de estación a estación, sin importar muchas veces la logevity de las semillas. Existen tres formas de asociación semilla-patógeno: acompañamiento, transporte externo y transporte interno.

Garay (1981) señala que muchas variedades de especies cultivadas han sido mejoradas genéticamente para resistencia a enfermedades e insectos dañinos. Adicionalmente las prácticas de producción de semillas, beneficio, tratamiento químico y almacenamiento deben estar orientados hacia la obtención de una semilla sana. Aún en variedades no mejoradas, con el solo hecho de producir semilla sana (sin virus, bacterias, etc.) se puede obtener una mejora estable en su capacidad productiva. También menciona que para obtener semillas sanas es necesario cuidar los siguientes aspectos: a) origen de la semilla; b) zona de producción; c) erradicación

del inóculo; d) control de vectores; e) tratamiento de la se milla y f) almacenamiento.

2.3 Factores que Afectan la Calidad de las Semillas

La semilla es una unidad biológica susceptible a ser dañada en todo instante, y por consiguiente su manejo desde su producción hasta su siembra requiere un alto grado de cuidado y especialización. Esta especialización es necesaria para producir una semilla de alta calidad, para que ésta lleve dentro su más alto potencial genético.

Bekendam (1975) menciona que las condiciones ambientales bajo las cuales una planta de semilla es cultivada, influyen en las propiedades morfológicas, fisiológicas y sanitarias de la semilla; por otra parte, Carver (1980) indica que los factores que afectan la calidad de las semillas son: a) zona de producción; b) manejo del semillero; c) método y momento de cosecha; d) duración y condiciones de almacenamiento; e) método de beneficio y f) tratamiento químico.

Robinson (citado por Hernández, 1985) señala que los factores que afectan la calidad de la semilla pueden ser físicos y bióticos. Dentro de los factores físicos más importales se encuentran los siguientes:

a) Humedad relativa del aire. Las semillas son consideradas como cuerpos físicos compuestos de agua y materia seca, que mantienen su equilibrio con la humedad que

prevalece en el aire, expresada en humedad relativa; por lo tanto, la semilla para poder contener la menor cantidad de agua, deberá estar en donde existe una humedad relativa baja.

b) La temperatura del aire esta íntimamente relacionada con la humedad relativa del mismo y por consecuencia, al contenido de humedad de la semilla; las temperaturas y la humedad relativa baja son favorables para que los contenidos de humedad de la semilla se encuentre dentro de los límites de seguridad para su conservación.

c) La luz puede abatir la germinación de las semillas; efecto que no es perceptible en algunas especies mientras que en otras es determinante; también provoca coloraciones que afectan la apariencia de la semilla.

Como factores bióticos cabe señalar que las semillas durante su almacenamiento estan propensas a ser atacadas por insectos que se alimentan de ellas y crean un ambiente propicio para su reproducción, causando daños de consideración; al mismo tiempo causan un incremento en la humedad relativa del aire que se encuentra entre las semillas acelerando su respiración, la cual es acompañada por una elevación de la temperatura que puede ocasionar la muerte del embrión; creando además condiciones favorables para el establecimiento de hongos.

2.4 Concepto de Germinación

Copeland (1976) define a la germinación de semillas como la reanudación del crecimiento activo del embrión que resulta de la ruptura de la cubierta de la semilla y la emergencia de la planta joven. Mientras que para Jann y Amen (1980) es la reanudación del crecimiento del eje embrionario que fue temporalmente suspendido durante la quiescencia o dormancia y la iniciación de un nuevo programa genético (resumido en diferenciación y transcripción del genoma).

Por su parte Moreno (1984), define a la germinación como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión y que manifiestan la capacidad de las semillas para producir una planta normal, bajo condiciones favorables.

2.4.1 Fisiología de la germinación

Los principales eventos que ocurren en la germinación de las semillas según Copeland (1976) son los siguientes:

a) imbibición de agua; b) activación enzimática; c) iniciación del crecimiento del embrión; d) ruptura de la cubierta seminal y emergencia de la plántula; y e) establecimiento de la plántula.

Van Overbeek (citado por Rojas, 1981) hace una sinopsis de la fisiología de la germinación señalando que cuando

las células del embrión se hidratan sintetizan giberelinas, las cuales son secretadas pasando a las células del endospermo para inducir la síntesis de amilasa, por lo que las reservas de las semillas son hidrolizadas y el embrión obtiene glucosa que es fuente de energía para el desarrollo; a continuación, el embrión forma citocininas que estimulan la división de las células en los meristemos apicales, y luego a partir de las reservas de aleurona se forman aminoácidos y ácidos indolacético bajo cuya inducción las células se alargan mientras el tallo y la raíz crecen, y presentan polaridad.

Leung (1985) propone hacer el estudio de la transformación de una semilla en plántula en dos fases: a) el tiempo desde el inicio de la siembra de la semilla hasta la primera señal visible de protrusión de la radícula, la cual es propiamente la germinación de la semilla y b) la fase caracterizada por el crecimiento del eje embriónico hasta la formación de una plántula, que es el crecimiento post-germinativo.

2.4.2 Condiciones ambientales para la germinación

Para una óptima germinación las semillas maduras necesitan de condiciones ambientales como la humedad, el oxígeno y temperatura favorable. Además, la luz favorece la germinación de las semillas de muchas especies y retrasa o inhibe la de otras.

Sin embargo el efecto de la luz o de la obscuridad es modificado por otros factores especialmente la temperatura (Thomson, 1979).

Con respecto a los factores ambientales para la germinación, Demolón (1972) indica que la cantidad necesaria de agua para una buena germinación es aproximadamente del 35 al 50% de la materia seca del maíz y que existe cierto paralelismo entre la cantidad de agua trnspirada y la materia seca producida en los diferentes estadios de desarrollo de una planta. Por su parte Hess (1980) señala que para la germinación es necesaria la energía, la cual se presenta en forma de ATP, que deriva de la cadena de fosforilación a nivel de sustrato y de la cadena respiratoria y esto supone la presenica de oxígeno.

Los requerimientos de temperatura son específicos para cada especie en la germinación; es una condición externa que se requiere para el desarrollo de cada especie. Wilsie (citado por Espinosa, 1985), menciona que la temperatura es uno de los factores limitantes más comunes en la distribución de las plántas y es probable que durante su evolución hayan ganado o perdido ciertas características como resultado aleatorio, las cuales les ayudan a persistir o eliminarse también en forma aleatoria. Goldsworthy (citado por Espinosa, 1985) afirma que dentro de los factores que influyen más durante el desarrollo del cultivo del maíz se encuentra la

temperatura. Cseresnyes (1979) indica que la temperatura óptima para germinación es cuando se obtiene un número máximo de plántulas normales.

Gray (1979) cita que Hegarty (1971, 1973) encontró que en varios lotes de zanahoria de la misma variedad, estas germinaron y emergieron bien a 20°C, pero a 10°C la germinación y emergencia fue reducida en algunos de ellos.

Naylon (1982) en un estudio con dos poblaciones de semillas de *Poa annua* estimó la respuesta de la germinación a diferentes temperaturas, obteniendo que entre 20 y 15°C se dan medias superiores a 70% y decrecen considerablemente a temperaturas fuera de estos límites.

Al realizar estudios de germinación en seis variedades de soya a bajas temperaturas (de 7.5 a 20°C) Mathews y Hayes (1982) agruparon a estas en: rápidas a temperaturas superiores y relativamente lentas a bajas temperaturas (10°C y menos); relativamente lentas a altas temperaturas y buenas a bajas temperaturas y, lentas a todas las temperaturas.

2.4.3. Objetivos de las pruebas de germinación

La National Academy of Science (citada por Harty, 1983) indica que la prueba de germinación de semillas es un importante método para incrementar el valor alimenticio de granos y existe la necesidad de estudiar las técnicas de

germinación. Para Moreno (1984), el objetivo de las pruebas de germinación es obtener información con respecto a la capacidad de las semillas para producir plántulas normales. Además permite hacer comparaciones del poder germinativo entre diferentes lotes de semillas de la misma especie. Según Cseresnyes (1979) el método de análisis cuantitativo de semillas en laboratorio esta estrictamente determinado por las características biológicas y fisiológicas de las semillas.

2.4.4 Resultados de las pruebas de germinación

Al realizarse la prueba de germinación, los resultados deberán plasmarse en porcentaje de germinación que indica la proporción por número de semillas que pueden producir plántulas, bajo condiciones y dentro del período especificado por las reglas, así como el tipo de plántula producida; normal o anormal y el tipo de semilla sin germinar; los criterios a seguir para tal clasificación están dados por las "International Rules for Seed Testing" (ISTA, 1985).

2.4.4.1 Plántulas normales. Son aquellas que poseen las estructuras esenciales para continuar un desarrollo satisfactorio a plantas, cuando crezcan en suelo de buena calidad y bajo condiciones favorables de humedad, temperatura y luz. Se consideran como plántulas normales las siguientes: a) Plántulas intactas, plántulas con todas sus estructuras esenciales bien desarrolladas, completas en

proporción y sanas; b) plántulas con pequeños defectos en sus estructuras esenciales, pero que muestran un desarrollo satisfactorio y balanceado comparable con las plántulas intactas de la misma prueba y c) plántulas con infección secundaria, plántulas con evidencias que están comprendidas en los incisos anteriores y además están afectadas por hongos y bacterias de otra fuente que no es la semilla misma.

2.4.4.2 plántulas anormales. No presentan el potencial de desarrollo de una planta normal cuando crecen en suelo de buena calidad y bajo condiciones favorables de humedad y luz. Se clasifican como anormales las siguientes: a) Plántulas con alguna de las estructuras esenciales ausentes o más o menos dañada y daños irreparables, cuyo desarrollo normal no puede ser esperado; b) plántulas deformes o desequilibradas, con débil desarrollo o trastornos fisiológicos o estructurales esenciales deformadas o ausentes de proporción y c) plántulas podridas, plántulas con alguna de sus estructuras esenciales más o menos enferma o podrida (de origen en la semilla) que impide el desarrollo normal.

2.4.4.3 Semillas sin germinar. Semillas que no germinan al final del período de prueba aun cuando bajo condiciones favorables, son clasificadas como: a) semillas duras, semillas que permanecen duras al final del período de prueba, porque no pudieron absorber agua; b) semillas frescas (latentes) que no son duras, ni pueden germinar, solo permanecen limpias y firmes, aparentemente viables al final del

período de prueba; c) semillas muertas que al final del período de prueba no son duras, ni frescas, ni pueden producir alguna parte de plántula y d) otras categorías, en algunas circunstancias semillas vacías y sin germinar pueden ser una categoría adicional acordada.

2.4.5 Sustrato

Para la realización de las pruebas de germinación las "Reglas internacionales para ensayos de semillas" (ISTA, 1985) recomiendan el uso de papel o arena como sustrato; el suelo o composta artificial no son recomendados como sustratos primarios de ensayos; sin embargo, son permitidos en casos especiales bajo indicaciones.

2.4.5.1 El papel como sustrato. Las normas (ISTA, 1985) señalan cuales son las características del papel a usar: el papel puede ser filtro o toalla. Este papel puede ser 100% blanqueado químicamente, de madera, algodón o de otra celulosa purificada; además libre de hongos, bacterias y sustancias químicas tóxicas que causan interferencia en el crecimiento o evaluación de plántulas; debe contener poros naturales y permitir que la raíz crezca sobre el papel y no entre el papel.

Debe poseer resistencia para evitar que se rompa y facilite el manipuleo durante la prueba. Además presenta suficiente capacidad de humedad para garantizar el continuo

suministro de humedad a las semillas, durante el período de prueba. El pH debe ser con un valor de 6.0 a 7.5.

Este papel debe estar almacenado en un cuarto frío con baja humedad relativa y protegido de polvo o daños durante el almacenaje. Puede ser necesario la esterilización del papel para eliminar organismos extraños que pudieran ser adquiridos durante el almacenaje. Para efectuar un control de calidad en el uso del papel de calidad desconocida se puede realizar una prueba biológica comparándola con otra hecha en papel de calidad conocida, esta consiste en utilizar especies que son sensibles a sustancias tóxicas que pueden estar contenidas en el papel; estas especies son: *Phleum pratense*; *Agrostis gigantea*; *Eragrostis curvulata*; *Festuca rubra*, var. *commutata* y *Hepium saltivum*. En esta prueba se compara el desarrollo de la raíz de las plántulas en los dos tipos de papel; los síntomas de toxicidad son: raíces cortas, algunas veces raíces decoloradas en el extremo, raíces como pelos amontonados, coleoptilos muertos, aplanados o cortos.

Peterson y Cooper (1979) señalan que es improbable que el oxígeno pueda ser una limitante para la germinación de las semillas cuando estas se colocan sobre o entre papel. Sin embargo, el papel puede contener solutos en cantidades suficientes para producir una solución osmótica, citan a Collis-George y Sands quienes demostraron que es poco probable que afecte la germinación a menos que en ellos exista

una muy alta concentración (toxicidad).

Cseresnyes (1979) al trabajar con girasol concluye que la cantidad óptima para humedecer el papel toalla es de 100% de la capacidad de retención de agua. El exceso de humedad durante la germinación causada por cualquier medio induce a un decremento de la germinación hasta un 20%, esto es por el incremento en el número de plántulas anormales debido al intenso ataque de patógenos y a la debilidad de embriones que no fueron capaces de desarrollar todas las estructuras necesarias para producir una plántula normal.

Skinner y Schroeder (1978) reportan que en una prueba de germinación practicada a dos lotes de semillas de soya (*Glicine max*), en 11 laboratorios de la AOSA (Asociación Oficial de Análitas de Semillas) y ocho de la ISTA, probaron cada lote usando papel toalla y arena. Para un lote 16 laboratorios (80%) y para el otro lote 14 laboratorios (70%) estuvieron dentro la tolerancia y recomiendan el uso de papel toalla en la prueba, porque presenta una mayor uniformidad de resultados, además de que utilizan menos espacio y requiere un manejo más fácil.

2.4.5.2 Arena como sustrato. Según las normas de la ISTA (1985), la arena debe ser razonablemente uniforme, el tamaño de partícula es de 0.8 a 0.05 mm de diámetro. Debe estar libre de semillas extrañas, hongos, bacterias y sustancias tóxicas que causen posibles interferencias con la

con la germinación de semillas, el crecimiento de plántulas o su evaluación. Debe tener suficiente capacidad de retención de agua y proporcionar continuo movimiento de agua a las semillas y plántulas, así como proporcionar suficiente aereación para una óptima germinación y crecimiento de raíz. El pH debe tener un valor de 6.0 a 7.5.

Es necesario el lavado y esterilización antes de usar la arena. Este sustrato puede usarse varias veces, sólo se lava y esteriliza. La arena usada en pruebas de productos químicos debe ser descartada.

Skinner y Schroeder (1978) señalan que pruebas de germinación realizadas en dos lotes de semillas de soya (*Glycine max* L.) en 11 laboratorios de AOSA y ocho de ISTA usando como sustrato arena; encontraron que 18 laboratorios (90%) para un lote y 8 laboratorios para el otro lote, estuvieron dentro de la tolerancia, y afirman que esto se debe a que cada laboratorio usa su propia arena presentándose una mayor variabilidad.

En un estudio comparativo de germinación de 62 muestras de semillas de *Helianthus annuus* en tres sustratos, Cseresnyes (1979) encontró que toallas enrolladas de papel dieron valores de germinación similares a los obtenidos en arena, y altamente superiores a los obtenidos usando papel secante plegado. Las diferencias entre los resultados obtenidos con toallas enrolladas y con arena no fueron significativas,

y ciertamente significativas con papel plegado.

2.4.5.3 Suelo como sustrato. El suelo para pruebas de germinación según la ISTA (1985), debe ser de buena calidad, libre de partículas grandes, semillas extrañas, hongos, bacterias, nemátodos y sustancias tóxicas que causen posibles interferencias con la germinación de semillas, crecimiento de plántulas y su evaluación. Debe retener humedad suficiente y permitir una aereación adecuada para germinación y crecimiento de la raíz. El valor del pH debe estar dentro de la amplitud de 6.0 a 7.5. Debe contener los requerimientos de limpieza habitual y no contener productos químicos depositados en el suelo; es recomendable que sea usado sólo una vez.

2.4.6 Condiciones para la prueba de germinación en maíz

Las normas de la ISTA (1985), indican como condiciones específicas para las pruebas de germinación en maíz las siguientes: temperatura de 20 , 25°C ó de 20 - 30°C en ciclos alternados; usar como sustrato papel o arena; la posición de la semilla es entre papel, y los recuentos serán a cuatro y siete días respectivamente.

Para Bekendam (1975) no solo en el medio natural sino también en laboratorio, la germinación esta relacionada con un juego de complejas condiciones, las cuales interactúan con el complejo de propiedades de la semilla.

2.5 Vigor en Semillas

Mediante el análisis de semillas se determinan las características de calidad, y es esencial para la aplicación de la Ley que especifica los requisitos que debe tener la semilla para su venta al productor (CIAT, 1982).

Recientemente se reconoció al vigor como un factor definitivo de la calidad y se comprendieron sus efectos sobre el comportamiento de la semilla y del cultivo en el campo (Perry, 1980) por lo tanto debe de ser considerado para la evaluación de la calidad de semillas. Al respecto Harty (1983) señala al vigor como el factor más importante de la calidad de semillas.

Las pruebas de germinación y las pruebas de vigor directas están estrechamente ligadas, ya que no se puede realizar la prueba de vigor directa sin haber practicado la de germinación. Thomson (1979) indica que la alta capacidad germinativa está asociada con el alto vigor de un lote de semillas.

Para Halmer y Bewley (1984) el término vigor es aplicado en muchos sentidos específicos para describir la qualidad que influencia parámetros fácilmente medibles como velocidad de germinación, velocidad de elongación de plántula, incremento de peso fresco o seco en condiciones de prueba.

Estas propiedades de la semilla o plántula pueden o no estar asociadas con el potencial de emergencia final en campo.

Otras de las aplicaciones del vigor de semillas, es señalada por Perry (1980), donde la estimación observada entre la germinación en laboratorio y la emergencia en campo, para semilla de distintas calidades es con frecuencia buena cuando las condiciones del suelo son favorables, pero no tan buenas cuando las condiciones del suelo se vuelven adversas, debido a la mayor sensibilidad de los lotes deteriorados.

2.5.1 Importancia del vigor en semillas

Perry (citado por Villaseñor, 1984) considera que el valor principal del concepto de vigor de la semilla, consiste en que su aplicación sobre semillas sembradas en el campo donde puede ser usado para describir variaciones en rendimiento entre lotes. Al respecto, Copeland (1976) señala que el vigor de la semilla se observa más fácilmente durante la emergencia, siendo posible en la etapa de desarrollo, encontrar mayor diferencia entre genotipos con diferente vigor e incluso entre lotes de un mismo genotipo, lográndose así seleccionar aquellos lotes que aseguren mayor emergencia, establecimiento del cultivo y capacidad competitiva bajo diversas condiciones de siembra.

Halmer y Bewley (1984) indican que densidades óptimas de siembra en el campo, necesitan semillas con una habilidad para emerger a altos niveles dentro de una amplitud de condiciones ambientales. Emergencia rápida sirve al establecimiento de plantas y maximiza el período de crecimiento, pues un cereal que emerge uniformemente puede ser tratado más efectivamente durante su crecimiento y produce una calidad más uniforme a la cosecha.

Villaseñor (1984), considera al vigor como factor importante dentro del análisis de la calidad de semillas, siendo factible emplearse como un carácter de selección para mejorar el vigor en plántulas y posiblemente el rendimiento; sin embargo, aún no se conocen claramente cuáles son los factores más importantes involucrados en esta característica y cómo mejorarla. Al respecto, Bean (1980) afirma que es posible mejorar el vigor de las plántulas mediante selección y cruzamiento.

Para Heydecker (1972) el vigor de semilla se expresa de la forma siguiente: a) por sobrevivir intacta en estado inactivo (una semilla vigorosa es aquella que permanece en esta condición en el estado inactivo previo a la germinación); b) por sobrevivir a la siembra en campo (una semilla vigorosa resiste ataques); c) por su habilidad para establecer una plántula, (una semilla vigorosa tiene abundancia de todas las reservas necesarias y las usa durante las fase

autotrofica del crecimiento).

2.5.2 Concepto de vigor

Para Thomson (1979) no existe una definición precisa de vigor ya que hay diferentes clases de vigor y señala dos dificultades para definir el vigor: a) en que las condiciones adversas de prueba no son siempre las mismas (estandarización) y b) el vigor no puede ser expresado con un valor numérico preciso.

La definición del Comité de Vigor de la ISTA (Perry, 1980), indica que el vigor de la semilla, es la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel potencial de actividad y comportamiento de la misma o del lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas. Por su parte Copeland (1976), indica que es el potencial para una germinación rápida y uniforme y crecimiento rápido de plántula dentro de condiciones generales de campo. Villaseñor (1984) señala al vigor como la capacidad de la semilla puesta en diversas condiciones ambientales para emerger más rápidamente y producir la mayor cantidad de materia seca en menor tiempo.

2.5.3 Procesos directamente relacionados con el vigor

El vigor puede estar relacionado con: a) procesos y reacciones bioquímicas durante la germinación, como son reacciones enzimáticas y actividad respiratoria; b) tasa

y uniformidad de la germinación de las semillas y del crecimiento de las plántulas; c) tasa y uniformidad de emergencia de las plántulas y crecimiento en el campo, y d) capacidad de emergencia de las plántulas bajo condiciones ambientales desfavorables (Perry, 1980).

2.5.4 Factores que afectan el vigor

Los factores de la variabilidad del vigor según Moreno (1984) son: a) genotipo; b) ambiente y nutrición de la planta madre; c) estado de madurez al momento de la cosecha; d) tamaño, peso volumétrico de la semilla; e) daños físicos, f) deterioro y envejecimiento; y g) patógenos.

2.5.5 Evaluación del vigor en semillas

Para minimizar el deterioro y la pérdida de calidad de las semillas, que ocurre durante las diferentes etapas de su producción, es necesario una cuidadosa atención durante cada fase de ésta. El uso de pruebas sensitivas para evaluar la calidad, permite detectar grados relativamente pequeños de deterioro en las semillas y se pueden tomar medidas correctivas, ya sea para minimizar el deterioro o prevenir que ocurre de nuevo. El grado y la magnitud del deterioro en las semillas, es un indicador bastante confiable del vigor que las semillas exhiben (Andrews, 1981).

Para Carver (1980), el objeto del análisis de vigor, es el de complementar la prueba de germinación de laboratorio y de esta manera, determinar con mayor precisión el valor de dicho lote de semillas para la siembra a nivel de campo, ya que mediante la prueba de vigor puede ser posible eliminar aquellos lotes de semilla de baja calidad, y como ejemplo indica que en las normas de la Comunidad Económica Europea se considera generalmente semilla aceptable la que se encuentra entre 85 y 100% de germinación; sin embargo, en esta amplitud existe semilla que desde el punto de vista de vigor no es aceptable.

En la actualidad existen pruebas, tanto de campo como de laboratorio para evaluar el vigor de las semillas; sin embargo muchas de estas pruebas han sido ideadas y desarrolladas para condiciones muy particulares y en determinadas especies, por lo que difícilmente podrán aplicarse en otras condiciones y otras especies (Perry; citado por Villaseñor, 1984).

La Asociación Oficial de Análistas de Semillas (AOSA), ha incluido la rapidez y uniformidad en la emergencia de las plántulas como criterio para vigor de semillas (Knittle y Burris, 1979).

Virgen (1983), cita a Isely (1957) quién clasificó las pruebas de vigor en: a) pruebas directas; las cuales simulan condiciones favorables o desfavorables de campo y b) pruebas

indirectas; en las cuales se miden ciertos atributos fisiológicos de la semilla que están relacionados con su comportamiento en el campo.

2.5.5.1 Pruebas directas. Villaseñor (1984) señala que estas pruebas se caracterizan porque la evaluación de vigor se hace una vez que la semilla ha germinado bajo condiciones favorables de germinación, en unos casos, o condiciones desfavorables de germinación para otros; éstas pruebas pueden ser realizadas bajo condiciones de campo o de laboratorio. Menciona que entre las principales pruebas directas se encuentran:

a) Prueba de frío. Esta prueba no solo involucra a las características inherentes de la semilla, sino también a factores externos como la temperatura y presencia de patógenos. Al principio se someten las semillas a temperaturas bajas (9-10°C) durante 5 a 10 días, posteriormente a temperaturas óptimas (20-25°C) durante 3 a 5 días, después de lo cual se realiza la medición de vigor que puede ser expresada en porciento de germinación, peso seco, longitud, etc.

b) Prueba de crecimiento de plántula. Esta prueba puede ser incorporada a una prueba de germinación común y corriente. Es relativamente fácil de hacer y puede ser fácilmente estandarizada. Esta prueba consiste en medir el crecimiento de plántula a un intervalo dado de tiempo y aquellas plántulas que presentan mayor longitud serán

consideradas como más vigorosas.

c) Prueba de velocidad de crecimiento en plántula y peso seco de ésta. Consiste en medir la cantidad total de materia seca producida por plántula, pudiendo separar la parte aérea y raíz. Las plántulas que producen una mayor cantidad de materia seca se consideran como de mejor vigor.

Martínez (1987) sugiere que para la evaluación de calidad de lotes de semilla y para el mejoramiento genético del vigor y la longevidad del maíz, se pueden utilizar como parámetros de selección al tamaño inicial de semilla, porcentaje de germinación y peso unitario de plántula.

Al realizar una evaluación de vigor en maíz, Virgen (1983) encontró correlaciones altamente significativas en tre tamaño de semilla con peso seco de plántula ($r=0.24$); mientras que el peso seco de plántula correlacionó positivamente con la longitud ($r=0.42$) y ancho ($r=0.29$) de la hoja primaria, peso seco de la hoja primaria ($r=0.50$) y altura de plántula ($r=0.66$). Concluye que una plántula vigorosa se identificará cuando provenga de semilla grande, longitud grande de hoja primaria (determinada en el momento de que aparece la lígula), así como mayor peso seco que es el parámetro aceptado para medir vigor.

Marroquín (1986) trabajando con maíz, encontró que el peso seco de plántula presentó correlaciones altamente significativas con longitud de plántula ($r=0.477$), peso seco

de semilla ($r=0.592$) y tamaño de semilla ($r=0.552$); además encontró correlaciones significativas con tamaño de embrión ($r=0.416$) y peso seco de embrión ($r=0.443$). Señala también que las semillas de mayor peso y volumen tienen mayor peso y volumen de embrión y materia de reserva; las semillas y sus estructuras (embrión y materia de reserva) que presentan los mayores pesos y volúmenes dan origen a las plántulas más vigorosas, principalmente en base a peso seco de plántula y de raíz, y en longitud de parte aérea.

d) Pruebas de velocidad de germinación. Para Gelmond (1978) el buen establecimiento de plántulas en el campo, depende de una uniforme y rápida germinación; y señala que es esencial el acortamiento del período de germinación en la semilla a través de preimbibición de las mismas. Esta prueba puede ser incorporada a la prueba de germinación común, pero requeriría más tiempo para su evaluación. Después de que las semillas han empezado a germinar, deben ser los conteos diarios, aproximadamente a la misma hora; la prueba termina una vez que se considere que se ha logrado el máximo de germinación de las semillas sembradas, la expresión matemática para calcular la velocidad de germinación es la siguiente:

$$V.G. = \frac{X_1}{1} + \frac{X_2}{2} + \dots + \frac{X_{i-1}}{i-1} + \frac{X_i}{n}$$

Donde:

X_i = número de semillas germinadas por día

n = número de días después de la siembra

El lote que tenga el mayor valor de V.G. se considera como el más vigoroso.

Maguire (1962) realizó un estudio de vigor en semillas de dos variedades de pasto azul de Kentucky, ambas con 87% de germinación, y comparándolas en pruebas de vigor, obtuvo los resultados siguientes: la Newport con un índice de velocidad de germinación de 4.1, porcentaje de emergencia de 37% e índice de velocidad de emergencia de 0.6; y la PNW 205 con índice de velocidad de germinación de 5.1, porcentaje de emergencia de 42% e índice de velocidad de emergencia 1.3.

Lafond y Baker (1986) compararon el vigor de nueve variedades de trigo de primavera y dos tamaños de semilla, encontrando diferencia entre variedades, en dos años de experimentación, para velocidad de emergencia, grado de desarrollo de planta (grado de crecimiento/día) y peso seco de la parte aérea de la plántula. Además las plántulas provenientes de semilla pequeña emergieron rápidamente sólo que acumularon menos peso seco de parte aérea que plantas provenientes de semillas grandes. Concluyen que la selección por vigor de plántulas puede ser hecha mediante selección por tamaño de semilla, velocidad de emergencia y grado de desarrollo.

e) Prueba del primer conteo de germinación. Esta prueba puede ser incorporada al ensayo de germinación

común. El número de plántulas normales que se obtenga cuando se hace al primer conteo de germinación es una indicación de la calidad del lote de semillas.

f) Prueba de envejecimiento acelerado. La supervivencia de la semilla después de un envejecimiento acelerado es un índice de longevidad potencial en almacenamiento inadecuado. Para saber esto, las semillas se colocan en una atmósfera de 100% de humedad relativa y de 40-42°C durante 4 ó 5 días. Después se hace una prueba de germinación para determinar la supervivencia.

g) Prueba de ladrillo molido. Esta es una de las pruebas de vigor más viejas que se utilizan. Las semillas son cubiertas por una capa de ladrillo molido. La habilidad de las plántulas para atravesar esta capa respectiva es una medida general del vigor de las semillas.

2.5.5.2 Pruebas indirectas. Este tipo de pruebas son más sofisticadas que las pruebas directas, ya que por lo general requieren de aparatos especializados o sustancias que no fácilmente se consiguen: el nombre indirectas se debe a la evaluación de vigor que se aplica directamente sobre las semillas antes de que se inicie la germinación (Villaseñor, 1984). Entre estas pruebas se encuentran:

a) Prueba de tetrazolio. Esta prueba se basa en la actividad de las enzimas. Los índices de vigor se obtienen mediante la observación cercana de los patrones del tinte

y la condición física del embrión. Las pruebas que miden la actividad de las enzimas son usualmente las pruebas de vigor más rápidas.

b) Prueba de la tasa de respiración. La respiración del embrión es un índice de vigor. Para esto las semillas son germinadas y se mide la cantidad de CO_2 emanado. La mayor cantidad de CO_2 indica mayor vigor de las semillas.

c) Prueba de la actividad del ácido glutámico descarboxilasa (GADA). La enzima desdobla el ácido glutámico liberando anhídrido carbónico (CO_2). Una solución de ácido glutámico es añadida a las semillas finamente molidas y la cantidad de CO_2 que emana de esta mezcla durante 30 minutos de incubación, es el índice de actividad de la enzima presente en la semilla.

d) Prueba de niveles de adenosina trifosfato (ATP). La prueba se basa en la necesidad de abastecer la energía (ATP) para reacciones como la regulación de la biosíntesis de proteínas durante el proceso de germinación. La prueba consiste en poner a remojar la semilla durante el tiempo definido (4-6 hr) y posteriormente medir el contenido de ATP.

e) Prueba de conductividad eléctrica. Prueba rápida y sencilla, se determina con lotes de semillas mediante medición de conductividad eléctrica una vez puestos en

contacto con agua destilada a temperatura de 20°C. Supuestamente el lote que presente mayor conductividad eléctrica será más vigoroso como resultado de una mayor actividad energética.

f) Prueba de cambios en permeabilidad. Cuando la semilla se deteriora o se dañan las membranas celulares. Estas semillas cuando se sumergen en agua, pierden diversas sustancias solubles en el agua porque sus membranas no tienen permeabilidad selectiva. La permeabilidad puede ser medida remojando las semillas en agua destilada y luego midiendo la resistencia eléctrica del agua.

Andrews (1981) indica que los criterios que deben considerarse al seleccionar las pruebas de vigor son: a) costos; b) tiempo necesario; c) personal disponible y d) aspecto particular de la calidad que se piensa evaluar.

Para Perry (1980) las características esenciales de una prueba de vigor práctica son que los resultados deben ser 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.

III. MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se dividió en tres etapas: 1) Trabajo preliminar; comportamiento de la germinación y del vigor en semillas de la variedad de maíz CPSV-19-I sometida a dos temperaturas, con el propósito de familiarizarse con la técnica para ensayos de germinación y percatarse de los problemas que eventualmente pudieran presentarse durante el desarrollo de la segunda etapa, y de esta manera lograr una mejor conducción del experimento; 2) Comportamiento de la germinación y del vigor en semillas de seis genotipos de maíz sometidas a diferentes temperaturas en cámara de ambiente controlado; 3) Comportamiento de la germinación y del vigor en semillas de seis genotipos de maíz sembradas en invernadero; para hacer comparaciones y observar la relación con la prueba en la cámara de ambiente controlado.

3.1 Localización del Sitio Experimental

Las diferentes etapas del trabajo se realizaron en el laboratorio e invernadero de la Sección de Semillas del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados, ubicados en el Campo Agrícola Experimental de Montecillo dentro del área de influencia de Chapingo, Méx. Esta localidad se encuentra situada a 19°30' latitud norte y 98°51' longitud oeste con una altitud de 2240 m.s.n.m.

De acuerdo con la clasificación climática de Koppen modificada por García (1981), el clima de la región corresponde a un $C(w_0)(w)b(i')g$, templado subhúmedo con lluvias en verano y es el subtipo más seco de los $C(w)$; con una precipitación total anual de 644.8 mm y una temperatura media anual de 15°C.

3.2 Material Genético

Los materiales genéticos fueron proporcionados por el Área de Producción de Semillas del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados y por el Campo Agrícola Experimental Valle de México (CAEVAMEX), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Los genotipos fueron usados de la manera como se indica en el Cuadro 1.

3.3 Experimento I. Comportamiento de la Germinación y del Vigor en Semillas de Maíz de la Variedad CPSV-19-I sometidas a dos temperaturas

De la población de maíz de la variedad CPSV-19-I se seleccionaron visualmente semillas clasificadas como planas grandes, que no presentaran daño mecánico, por insectos u hongos. De la semilla seleccionada se prepararon ocho repeticiones de 100 semillas cada una; cada repetición se dividió a su vez en cuatro partes de 25 semillas cada una, las cuales se homogenizaron por pesos.

Antes de establecer las pruebas de germinación, como una medida preventiva contra la contaminación por hongos, se desinfectó la semilla con Captán, a una dosis de tres gramos por litro de agua destilada. La semilla se sumergió en la solución por 10 segundos y posteriormente se seco al sol.

Utilizando la misma solución de Captán que para el tratamiento de la semilla, se desinfectaron las toallas de papel absorbente "sanitas", de 20 cm de ancho por 25 cm de largo, que se emplearon como sustrato; éstas fueron humedecidas y secadas en el laboratorio a temperatura ambiente.

Las pruebas de germinación se realizaron en el laboratorio usando el método, entre papel, recomendado por la ISTA, el cual consiste en extender dos toallas previamente humedecidas con agua destilada sobre una superficie plana y encima de estas se colocaron 25 semillas distribuidas en cinco columnas y cinco hileras; posteriormente se cubrieron con otras dos toallas húmedas y se enrollaron en forma de taco o churro, para después ponerlas a germinar. A cada churro se le identificó con el número de repetición, y se colocaron en charolas de plástico previamente desinfectadas con formaldehído (36-38%).

Para aplicar los tratamientos de temperatura en este experimento se usó una germinadora de ambiente controlado (Cleland International 1 000 FAATR) con dos cámaras (A y B). La cámara "A" se mantuvo a temperatura constante de 20°C

Cuadro 1. Relación de materiales genéticos, y experimentos para evaluar el comportamiento de la germinación y del vigor en semillas de maíz de distinto origen.

Materiales genéticos	Origen	Experimentos
CPSV-19-I	V.A.	I. Comportamiento de la germinación y del vigor en semillas de maíz sometidas a dos temperaturas.
H-509	T.	
H-452	T.	
H-303	B.	II. Comportamiento de la germinación y del vigor en semillas de seis genotipos de maíz sometidos a diferentes temperaturas.
H-311	B.	
Mont. 86 L1-56♀	V.A.	
Mont. 86 5 x 4	V.A.	
H-509	T.	
H-452	T.	
H-303	B.	III. Comportamiento de la germinación y del vigor en semillas de seis genotipos de maíz sembradas en invernadero.
H-311	B.	
Mont. 86 L1-56♀	V.A.	
Mont. 86 5 x 4	V.A.	

V.A. = Valles Altos.

T = Tropical.

B = El Bajío.

durante los siete días que duro la prueba, mientras que la temperatura de la cámara "B" fue de 35°C en el mismo período. Después de ordenar los churros en forma vertical sobre charolas de plástico, se agregó agua destilada para evitar que las toallas perdieran humedad. La cantidad de agua para las dos charolas de la cámara "A" fue de 500 ml por charola, en tanto para las dos charolas de la cámara "B" se usaron 600 ml para cada una.

La distribución de los tratamientos en la cámara de ambiente controlado fue bajo el diseño estadístico completamente al azar, con cuatro repeticiones. Cada repetición estuvo formada por cuatro "churros" de 25 semillas cada uno. Durante los siete días que duró la prueba se mantuvieron constantes los niveles de agua de las charolas y de las cámaras de germinación, así como las temperaturas.

Las variables estudiadas fueron las siguientes:

1) Peso inicial de semillas (PIS). En cada una de las cuatro partes de cada repetición se determinó el peso de las 25 semillas en gramos. Dichos pesos fueron sumados para obtener el PIS por repetición.

2) Porcentaje de germinación (PG). Considerando aquellas plántulas que tenían raíz y plúmula bien desarrolladas, sanas y sin mal formaciones.

3) Porcentaje de Plántulas Anormales (PPA). Fueron aquellas que presentaron mal formaciones en sus estructuras

esenciales (raíz y plúmula), que les impide su desarrollo normal.

4) Semillas sin germinar (SSG). Fueron las que no presentaron ni plúmula ni radícula al finalizar la prueba.

5) Longitud de la parte aérea (LPA). Una vez hecho el conteo de plántulas normales, estas se ordenaron de acuerdo a su tamaño y se seleccionaron visualmente las dos más grandes, las dos más chicas y dos de tamaño intermedio (seis en total). La medición se hizo en cm, del cuello de la raíz hasta el ápice de la hoja más larga.

6) Longitud de la raíz (LR). Este dato se tomó en las plantas donde se midió la parte aérea. La medición se hizo en cm, del cuello de la plántula hasta la punta de la raíz más larga.

7) Peso seco de la parte aérea (PSPA). La determinación de la materia seca se realizó solamente en la parte aérea de las plántulas normales, sin considerar el resto de semilla, colocándolas en una estufa a 75°C por 72 horas; al final de este período se determinó el peso seco en gramos (g) en una báscula de precisión.

8) Peso seco de la raíz (PSR). El sistema radical de las plántulas normales de cada tratamiento fue separado del resto de la semilla y colocado en una estufa a 75°C por 72 horas; al final del período se determinó el peso seco en gramos.

9) Peso seco total de plántulas (PSTP). Una vez obtenido el peso seco de plántula y el de raíz, se sumaron para obtener el peso seco total.

10) Peso seco de restos de semilla (PSRS). De las plántulas normales de cada tratamiento se desprendieron los restos de semilla, y los que fueron secados a 75°C durante 72 horas y pesados en gramos.

3.4 Experimento II. Comportamiento de la Germinación y del Vigor en Semillas de Seis Genotipos de Maíz Sometidos a Diferentes Temperaturas.

Para realizar la segunda etapa de la investigación se utilizaron seis genotipos, dos de origen tropical (T), dos de El Bajío (B) y dos de Valles Altos (VA).

H-509 (T)	H-303 (B)	1-56♀ (VA)
H-452 (T)	H-311 (B)	5 x 4 (VA)

3.4.1 Conducción del experimento

De cada uno de los genotipos se seleccionaron visualmente semillas grandes que no presentaron daños mecánicos, de insectos u hongos. De la semilla seleccionada se prepararon dieciseis repeticiones de 100 semillas por genotipo. Cada repetición se dividió en cuatro partes de 25 semillas cada una, procurando que las diferencias en peso entre ellas no fueran mayores de 0.50 gramos.

Las toallas de papel absorbente "sanitas" que se usaron como sustrato en las pruebas de germinación, fueron esterilizadas a 41°C durante diez días. El procedimiento para hacer los churros fue el mismo que se siguió en la primera etapa de la investigación. La colocación de los churros dentro de las cámaras de germinación fue en forma vertical sobre charolas de plástico. Los tratamientos de temperatura para las cuatro pruebas se aplicaron en el siguiente orden:

Fecha	Cámara "A"	Cámara "B"
2/JUNIO/1987	20°C	25°C
11/JUNIO/1987	30°C	35°C

Durante los siete días que duró cada una de las pruebas, se mantuvieron constantes los niveles de agua de las charolas (500 ml) y de las cámaras de germinación, así como las temperaturas.

Para el arreglo de los genotipos dentro de las cámaras (A y B) se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

3.4.2 Variables estudiadas.

Después del período que duró cada prueba, se tomaron datos de todas las variables descritas en la primera parte. Adicionalmente se consideraron las siguientes:

a) Porcentaje de germinación al cuarto día (PG4d). Considerando aquellas que tenían raíz y plúmula bien desarrollada, sanas y sin mal formaciones en cada repetición.

b) Peso seco de plántulas normales (PSPN). La determinación de materia seca se realizó separando toda la plántula del resto de semilla y colocándolas en una estufa a 75°C por 72 horas; al final del período se determinó el peso en gramos.

c) Materia seca producida por plántula normal (MS/PN). Una vez obtenido el peso seco de las plántulas normales por repetición, se dividió éste entre el número de plántulas normales de esa repetición.

d) Índice de eficiencia (IEF). Algunas de las variables medidas fueron utilizadas para generar el siguiente IEF:

$$\text{IEF} = \frac{\text{PSPN}}{\text{PSC}} \times 100$$

Donde:

PSPN = Peso seco de plántulas normales

P S C = P I S - P S R S

PSC = Peso Seco Consumido

PIS = Peso inicial de semillas

PSRS = Peso Seco Restos de Semilla

3.5 Experimento III. Comportamiento de la Germinación y del Vigor en Semillas de Seis Genotipos de Maíz Sembradas en Invernadero.

3.5.1 Conducción del experimento.

Para esta prueba se utilizó semilla de los mismos seis genotipos que se usaron en el experimento II. De cada material genético se obtuvo una muestra de 400 semillas para formar cuatro repeticiones de 100 semillas cada una. Posteriormente, se procedió a realizar la siembra conduciendo el experimento bajo el diseño de bloques completos al azar. Dicha siembra se efectuó en semilleros de madera de 2.5 x 1.0 m, utilizando arena esterilizada como sustrato. La parcela útil dentro del semillero estuvo constituida por surcos de 0.75 m de longitud, con una distancia de 5 cm entre tratamientos. La distancia entre semillas fue de 3 cm, colocándolas con la "corona" hacia arriba. Se aplicó un riego al momento de la siembra y después cada tercer día, para mantener húmedo el sustrato. Los semilleros se colocaron bajo un invernadero móvil tipo "túnel" con estructura metálica y cubierta de polietileno.

Las variables estudiadas en esta prueba fueron las siguientes:

a) Peso inicial de semilla (PIS). Este dato se tomó de la misma forma que en el experimento I.

b) Velocidad de germinación (VG). Esta variable se obtuvo aplicando la siguiente expresión:

$$V.G. = \frac{X_1}{1} + \frac{X_2}{2} + \dots + \frac{X_{i-1}}{n-1} + \frac{X_i}{n}$$

Donde:

X_i = Número de semillas emergidas por día

n = Número de días después de la siembra

c) Porcentaje de germinación (PG). Se contaron aquellas plántulas que tenían raíz y plúmula bien desarrollada, sanas y sin mal formaciones a los 12 días de iniciada la prueba.

d) Porcentaje de plántulas anormales (PPA). Fueron aquellas que presentaron mal formaciones en sus estructuras esenciales (raíz y plúmula), que les impide su desarrollo normal.

e) Longitud de parte aérea (LPA). A todas las plántulas normales de cada tratamiento se les midió la longitud de la parte aérea en cm. La medición se hizo del cuello de la raíz hasta el ápice de la hoja más larga.

f) Longitud de la raíz (LR). Este dato se tomó en las plántulas donde se midió la parte aérea. La medición se hizo en cm, del cuello de la raíz hasta la punta de la raíz más larga.

g) Peso seco de la parte aérea (PSPA). La determinación de la materia seca se realizó solamente en la parte aérea de

las plántulas normales, sin considerar el resto de semilla, colocándolas en una estufa a 75°C por 72 horas; al final de este período se determinó el peso seco en gramos en una báscula de precisión.

h) Peso seco de raíz (PSR). El sistema radical de las plántulas normales de cada tratamiento fue separado del resto de la semilla y colocado en una estufa a 70°C por 72 horas; al final del período se determinó el peso seco en gramos.

i) Peso seco de restos de semilla (PSRS). De las plántulas normales se desprendieron los restos de semilla y fueron secados a 70°C durante 72 horas y pesados en gramos.

j) Peso seco total de plántula (PSTP). Esta variable se generó sumando el PSPA + PSR.

k) Índice de eficiencia (IEF). Este dato se tomó igual que en el experimento II.

3.5.2 Análisis estadístico

Para los tres experimentos se realizó un análisis de varianza y a las variables cuyos cuadrados medios resultaron ser significativas estadísticamente se les aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); adicionalmente se calcularon las correlaciones entre todas las variables estudiadas, por el procedimiento CORR de SAS.

IV. RESULTADOS

4.1 Comportamiento de la Germinación y del Vigor de Semillas de Maíz de la Variedad CPSV-19-I Sometidas a Dos Temperaturas (20 y 35°C).

4.1.1 Análisis de varianza

En el Cuadro 2 donde se presentan los cuadrados medios de los análisis de varianza practicados a las variables medidas en el experimento, se observa que hubo diferencias altamente significativas entre temperaturas para las variables PG, PA, PSR, PSTP, y PSRS, y significativas para longitud de la parte aérea (LPA), y peso seco de la parte aérea (PSPA); mientras que el resto de las variables analizadas no presentaron diferencias significativas.

4.1.2 Prueba comparativa de medias

La comparación de medias que se realizó con la prueba de Tukey en las variables que resultaron estadísticamente significativas en el análisis de varianza, se encuentran en el Cuadro 3. Se puede observar que la variedad CPSV-19-I a la temperatura de 20°C, presentó las medias más altas en las variables PG y PSRS; en tanto que el resto de las variables mostraron los valores más bajos. Cuando este mismo genotipo fue sometido al tratamiento de 35°C se apreció una reducción

en el PG y PSRS; mientras que el PPA, PSPA, PSR y PSTP se incrementaron.

Cuadro 2. Cuadrados medios obtenidos del análisis de varianza de las diferentes variables en estudio.

Variables	<u>Factor de Variación</u>
	Tratamientos
PIS	0.2521 ^{NS}
PG	55.125**
PPA	45.125**
SSG	0.500 ^{NS}
LPA	5.628*
LR	31.443 ^{NS}
PSPA	1.023*
PSR	7.144**
PSTP	13.572**
PSRS	347.161**

NS = No significativo

* = Significativo al 5% de probabilidad

** = Significativo al 1% de probabilidad

Cuadro 3. Comparaciones (Tukey $p \leq 0.05$) entre los valores medios correspondientes a temperaturas.

Tratamiento	V a r i a b l e s						
	PG	PPA	LPA	PSPA	PSR	PSTP	PSRS
20°C	95.00a	5.00b	5.84b	1.96b	2.81b	4.77b	28.36a
35°C	89.75b	9.75a	7.52a	2.67a	4.70a	7.38a	15.19b

Medias con igual letra para cada variable son estadísticamente iguales.

4.1.3 Correlación entre variables

Los coeficientes de correlación y su probabilidad estadística entre las variables estudiadas se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación y significancia estadística entre las variables estudiadas de la variedad CPSV-19-I.

Vars.	PG	PPA	SSG	LPA	PSPA	LR	PSR	PSTP	PSRS
PIS	0.459	-0.472	-0.287	-0.426	-0.483	-0.640	-0.635	-0.618	0.573
PG		-0.996 **	-0.820 *	-0.528	-0.547	-0.421	-0.611	-0.619	0.850 **
PPA			0.765 *	0.546	0.579	0.440	0.647	0.655	-0.866 **
SSG				0.310	0.234	0.217	0.255	0.260	-0.577
LPA					0.976 **	0.626	0.673	0.799 *	-0.790 **
PSPA						0.720 *	0.796 *	0.893 **	-0.842 **
LR							0.901 **	0.887 **	-0.732 *
PSR								0.983 **	-0.893 **
PSTP									-0.918 **

* = Significativo al 5% de probabilidad

** = Significativo al 1% de probabilidad

En este cuadro se aprecia que las variables de peso seco tuvieron correlaciones altas entre ellas mismas. Las correlaciones más altas se presentaron entre las variables PSPA, PSR,

PSTP; mientras que estas mismas correlacionaron negativamente con PSRS. El porcentaje de germinación (PG) se asocia en forma directa con PSRS y negativamente con PPA y SSG.

4.2 Comportamiento de la Germinación y del Vigor en Semillas de Seis Genotipos de Maíz Sometidos a Diferentes Temperaturas.

Con el propósito de que los tamaños de semillas dentro de genotipos fuera uniforme, se homogeneizaron por peso las repeticiones. En el Cuadro 5 se presenta la comparación de medias (Tukey $p < 0.05$) de los seis genotipos utilizados, y se observa que los de El Bajío (H-311 y H-303) presentaron los pesos más altos, en tanto que 5x4 y L1-56q fueron los de menor peso, y los tropicales tuvieron valores intermedios.

Cuadro 5. Valores medios y significancia estadística (Tukey $p < 0.05$) para la variable PIS de los seis genotipos.

Genotipo	PIS
H-311	44.720 a
H-303	41.415 b
H-509	40.932 c
H-452	40.880 c
L1-56q	39.927 d
5x4	29.520 e

Medias con igual letra son estadísticamente iguales.

4.2.1 Análisis de varianza

Los cuadrados medios obtenidos del análisis de varianza individual, se muestran en el Cuadro 6, donde se observa que todas las variables estudiadas en los seis genotipos, presentaron diferencias altamente significativas en las cuatro temperaturas, excepto el PG4d a 35°C que no fue significativo.

Adicionalmente con el propósito de medir la interacción genotipo-ambiente se realizó un análisis de varianza conjunto, cuyos cuadrados medios y su significancia se muestran en el Cuadro 6; en donde se observa que hubo diferencias altamente significativas en todas las variables. Las demás fuentes de variación del análisis conjunto se encuentran en el Cuadro 1A del apéndice.

4.2.2 Prueba comparativa de medias

4.2.2.1 Análisis individuales. En el Cuadro 7 se presentan las comparaciones de medias, realizadas por medio de la prueba de Tukey, en seis genotipos de maíz evaluados por su respuesta a cuatro temperaturas.

Se puede apreciar que a la temperatura de 20°C el genotipo 5x4 fue el que sobresalió por sus medias más altas en las variables PG4d, PG7d, PSPN, MS/PN, MS/PN, IEF y una menor proporción de PA7d; sin embargo, este genotipo y el L1-56q a 35°C mostraron menores PG7d, PSPN, PSRS, MS/PN e IEF, así como un mayor número de PA7d.

Cuadro 6. Cuadrados medios y significancia estadística de los análisis de varianza individuales y conjunto para los diferentes tratamientos de temperatura.

Variables	FUENTES DE VARIACION				
	TRATAMIENTOS				Genotipo x Temperatura
	20°C	25°C	30°C	35°C	
PG4d	1777.14**	596.64**	22.367**	10.142 ^{NS}	505.85**
PG7d	212.06**	161.24**	47.800**	516.767**	220.163**
PPA7d	158.74*	120.96**	23.16*	515.375**	206.386**
PSPN	3.345**	5.649**	1.143**	7.738**	4.804**
PSRS	102.488**	117.392**	67.277**	61.239**	6.400**
MS/PN	3.15×10^{-4} **	4.50×10^{-4} **	8.2×10^{-5} **	3.84×10^{-4} **	2.93×10^{-4} **
IEF	357.648**	307.829**	49.851**	114.453**	169.334**

* = Significativo al 5% de probabilidad

** = Significativo al 1% de probabilidad

NS = No significativo

Cuadro 7. Prueba de medias (Tukey $p < 0.05$) para seis genotipos de maíz evaluados por su respuesta a las temperaturas de 20, 25, 30 y 35°C.

Variable	Genotipo	Temperatura (°C)			
		20	25	30	35
PG4d	H-509	1.71 c	66.75 c	92.75 abc	94.50a
	H-452	0.50 c	65.25 c	95.75 ab	94.50a
	H-311	10.75 bc	95.50 a	96.25 a	91.75a
	H-303	7.75 bc	80.75 b	91.00 c	91.50a
	L1-56♀	27.50 b	85.25 ab	92.25 bc	90.75a
	5x4	55.50 a	89.25 ab	96.50 a	92.25a
PG7d	H-509	83.25 ab	97.00 a	95.75 a	87.25a
	H-452	81.75 b	83.00 b	96.50 a	88.50a
	H-311	95.25 ab	97.00 a	95.75 a	83.50a
	H-303	81.75 b	82.75 b	88.50 b	82.00a
	L1-56♀	89.50 ab	90.00 ab	89.50 b	58.75b
	5x4	98.50 a	91.50 ab	93.50 b	72.00ab
PPA7d	H-509	15.25 ab	2.00 a	3.25 ab	11.50a
	H-452	16.75 b	15.00 b	3.00 ab	9.50a
	H-311	4.25 ab	2.00 a	2.50 a	12.75a
	H-303	14.00 ab	13.50 b	7.75 ab	13.50a
	L1-56♀	8.00 ab	8.00 ab	8.25 b	38.50b
	5x4	1.50 a	8.00 ab	5.25 ab	26.00ab
PSPN	H-509	2.623 b	7.590 ab	8.013 b	6.81a
	H-452	2.713 b	5.510 c	7.680 bc	5.99ab
	H-311	3.66 ab	8.600 a	8.745 a	6.50a
	H-303	4.040 ab	7.163 b	7.458 bc	6.15a
	L1-56♀	4.485 a	8.693 a	7.313 c	3.11c
	5x4	4.848 a	8.138 ab	7.448 bc	4.74b
PSRS	H-509	31.765 b	26.795 ab	16.490 bc	12.61b
	H-452	31.537 b	23.685 bc	17.372 b	14.16b
	H-311	35.125 a	28.332 a	20.030 a	17.15a
	H-303	31.737 b	21.557 cd	15.272 c	13.31b
	L1-56♀	27.255 c	19.845 d	12.475 d	8.42c
	5x4	20.705 d	13.267 e	8.327 e	6.48c

Cuadro 7. Continuación...

Variable	Genotipo	Temperatura (°C)			
		20	25	30	35
MS/PN	H-509	0.0309b	0.0783bc	0.0838b	0.0783a
	H-452	0.0327b	0.0664c	0.0796b	0.0675ab
	H-311	0.0385ab	0.0887ab	0.0913a	0.0782a
	H-303	0.0494a	0.0866ab	0.0843b	0.0756a
	1-560	0.0508a	0.0969a	0.0802b	0.0530b
	5 X 4	0.0492a	0.0890ab	0.0797b	0.0658ab
IEF	H-509	28.93b	53.63a	32.80a	24.18a
	H-452	30.37b	32.79b	32.68a	22.58a
	H-311	37.98b	52.69a	35.40a	23.82a
	H-303	41.72ab	36.42b	28.59b	21.92a
	1-560	35.24b	43.41ab	26.63b	9.91b
	5 X 4	54.89a	50.11a	35.14a	20.59a

Medias con igual letra para cada variable son estadísticamente iguales.

Los genotipos tropicales y de El Bajío a temperatura de 35°C mostraron un comportamiento similar en las variables PG7d, PA7d, PSPN, MS/PN e IEF; no así a 20°C donde los genotipos tropicales son los que presentan los valores más bajos en los caracteres: PG4d, PG7d, PSPN, MS/PN, IEF y una mayor frecuencia de PA7d.

4.2.2.2 Análisis combinado. En la comparación de los promedios correspondiente a la interacción Genotipos x Temperaturas (Cuadro 8) se puede apreciar que en la variable PG4d a 20°C todos los genotipos presentaron las medias más bajas, las cuales se incrementaron considerablemente a 25°C, mientras que a 30°C se obtuvieron los valores máximos para los genotipos H-452, H-311, L156q y 5x4, en tanto que para el H-509 y el H-303 lo fueron a 35°C.

Las medias más altas para la variable PG7d se encuentran principalmente a temperaturas de 25 y 30°C para todos los genotipos evaluados, mientras que las medias más bajas se obtuvieron con la temperatura de 20°C en los genotipos H-452 y H-509, los cuales mostraron un incremento en PA7d; en tanto que para los genotipos 5x4 y L1-56q las presentaron a 35°C, y de igual manera se incrementan las PA7d.

Los genotipos de Valles Altos (5x4 y L1-56q) en el parámetro PSPN obtienen sus valores máximos a 25°C, y los mínimos a 35°C; mientras que los tropicales y de El Bajío mostraron las medias máximas a 30°C y las mínimas a 20°C.

Cuadro 8. Comparación de medias del análisis combinado para los seis genotipos evaluados en cuatro temperaturas.

Tratamiento	Temperatura	PG4d	PG7d	PPA7d	PSPN	PSRS	MS/PN	IEF
5x4	30	96.50a	93.50a..e	5.25a..d	7.448ef	8.228l	0.0797d..f	35.16de
H-452	30	95.75a	96.50ab	3.00a..c	7.680d..e	17.373h	0.0796d..f	32.68ef
H-311	25	95.50ab	97.00ab	2.00ab	8.600a..c	28.333c	0.0887bc	52.69ab
H-509	30	92.75ab	95.75a..c	3.25ac	8.013c..e	16.490h	0.0838c..c	32.80ef
H-509	25	66.75e	97.00ab	2.00ab	7.590d..f	26.795d	0.0783e..f	53.63ab
5x4	35	92.25ab	72.00j	26.00i	4.738k	6.483m	0.0658g	20.59j
H-509	35	94.50ab	87.25f..i	11.50e..h	6.810gh	12.605k	0.0783ef	24.18hj
L1-56♀	35	90.75a..c	58.75k	38.50j	3.108nñ	8.418l	0.0530h	9.91k
H-311♀	30	96.25a	95.75a..c	2.50a..c	6.745a	20.028g	0.0913ab	35.40de
H-452	35	94.50ab	88.50e..h	9.50d..g	5.993ij	14.163ij	0.0676g	22.58ij
L1-56♀	30	92.25ab	89.50d..g	8.25c..f	7.313fg	12.475k	0.0802de	26.68g..i
H-311♀	35	91.75a..c	83.50g..i	12.75e..h	6.500hi	17.150h	0.0782ef	23.82ij
5x4	25	89.25bc	91.50b..f	8.00b..f	8.138b..d	13.268jk	0.089bc	50.11b
5x4	20	55.50f	98.50a	1.50a	4.848k	20.705fg	0.0492h	54.89a
H-452	25	65.25e	83.00hi	15.00gh	5.505j	23.665e	0.0664g	32.79ef
H-303	35	91.50a..c	82.00i	13.50f..h	6.150i	13.308jk	0.0756f	21.92j
H-303	30	91.00a..c	88.50e..h	7.25a..e	7.458ef	15..273i	0.0843cd	28.59fh
L1-56♀	25	85.25cd	90.00c..f	8.00b..f	8.69ab	19.845g	0.0969a	43.41c
H-303♀	25	80.75d	82.75hi	13.50fh	7.163fg	21.558f	0.0865bc	36.42de
H-303	20	7.75i	81.75i	14.00fh	4.040lm	31.738b	0.0494h	41.72c
H-311	20	10.75h	95.25a..d	4.25a..d	3.660mn	35.125a	0.0385i	37.98d
L1-56♀	20	27.50g	89.50d..g	8.00b..f	4.485kl	27.255c	0.0501h	35.24de
H-452♀	20	0.50j	81.75i	16.75h	2.713ñ	31.538b	0.0327j	30.37fg
H-509	20	1.75i	83.25hi	15.25gh	2.623ñ	31.765b	0.0309j	28.94fg

Medias con la misma letra para cada variable son estadísticamente iguales. Prueba de Tukey (p ≤ 0.05).

En cuanto a PSRS se puede apreciar una tendencia a disminuir el valor de sus medias conforme se incrementa la temperatura de 20°C a 35°C.

En la variable MS/PN los máximos valores se presentan en 25 y 30°C y los mínimos a 20°C para todos los genotipos.

Finalmente se puede apreciar que la variable IEF mostró las medias más altas a 20°C en los genotipos H-303 y 5x4; mientras que en el H-311, L1-56♀ y en los híbridos tropicales ocurrieron a 25°C. En general todos los genotipos mostraron las medias más bajas a 35°C.

4.2.3 Correlación entre variables

4.2.3.1 Análisis individual. El grado de asociación entre variables puede apreciarse en el Cuadro 9, donde se presentan los coeficientes de correlación y su significancia estadística para las variables estudiadas. Se aprecia que las variables PG7d y PPA7d mostraron correlaciones altamente significativas con PSPN e IEF en las cuatro temperaturas, siendo negativas las correlaciones del PPA7d. Por otra parte se observa que el peso inicial de semilla y el PSRS están asociadas positivamente en las cuatro temperaturas; mientras que el PG4d correlacionó positivamente con PSPN y MS/PN a 20°C. Los parámetros PIS y PSPN presentaron correlaciones significativas en sentido negativo a 20°C y positivo a 30°C.

4.2.3.2 Análisis combinado. Los coeficientes de correlación y significancia estadística del análisis combinado se

Cuadro 9. Coeficientes de correlación y significancia estadística entre las variables estudiadas a diferentes temperaturas.

VARIABLES	Temperatura (°C)	PSPN	PSRS	MS/PN	IEF
PIS	20	-0.4110*	0.9366**	-0.3095	-0.5766**
	25	-0.0999	0.8690*	-0.1515	-0.1272
	30	0.5051*	0.9048**	0.5490**	-0.2013
	35	0.3846	0.8146**	0.3158	0.1401
PG4d	20	0.7726*	-0.8355**	0.6701**	0.6642**
	25	0.7317**	-0.2348	0.7336**	0.3687
	30	0.3370	0.0182	0.0065	0.6638**
	35	0.2945	0.2227	0.0731	0.3172
PG7d	20	0.5855**	-0.3097	0.3559	0.6922**
	25	0.6106**	0.3937	0.1989	0.9580**
	30	0.5738**	0.4084*	-0.0077	0.7679**
	35	0.8927**	0.7210**	0.5381**	0.8865**
PPA7d	20	=0.6062**	-0.2951	-0.4038	-0.6821**
	25	-0.6256**	-0.4394*	-0.2305	-0.9395**
	30	-0.6314**	-0.5004*	-0.1098	-0.7446**
	35	-0.8974**	-0.7453**	-0.5522**	-0.8834**

* = Significativo al 5% de probabilidad

** = Significativo al 1% de probabilidad

presentan en el Cuadro 10; donde se encontró que la variable PG4d mostró correlaciones altamente significativas con PSPN, PSRS, MS/PN e IEF, siendo en sentido negativo en todos los coeficientes de PPA7d.

Cuadro 10. Coeficientes de correlación para las variables de interés en el análisis combinado.

Variabes	PSPN	PSRS	MS/PN	IEF
PIS	0.0284	0.4732**	0.0108	-0.1580
PG4d	0.7354**	0.8004**	0.8254**	-0.1485
PG7d	0.5450**	0.2891**	0.2678**	0.6979**
PPA7d	-0.5597**	-0.2865**	-0.2926**	-0.5701**

* = Significativo al 5% de probabilidad

** = Significativo al 1% de probabilidad

4.3 Comportamiento de la germinación y del vigor en semillas de seis genotipos de maíz sembradas en invernadero.

4.3.1 Análisis de varianza

En los análisis de varianza para las distintas variables en estudio (Cuadro 11) se encontró que existieron diferencias altamente significativas entre genotipos para todas las variables estudiadas. En cuanto al factor de variación repeticiones, la mayoría de las variables estudiadas presentaron diferencias estadísticamente significativas, excepto para peso inicial de semilla y peso seco del resto de semilla que no fueron significativas.

Cuadro 11. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables bajo estudio en la evaluación en invernadero.

Variables	Fuentes de Variación	
	Repeticiones	Genotipos
PIS	0.00106NS	106.941**
VG	14.5632**	36.710**
PG	328.819**	1863.742**
PPA	296.611**	962.267**
LPA	5.902**	3.506**
LR	15.477**	5.151**
PSPA	3.469**	21.032**
PSR	3.934**	9.061**
PSRS	1.151NS	43.882**
PSTP	13.697**	58.311**
IEF	133.726**	602.854**

* = Significativo al 5% de probabilidad

** = Significativo al 1% de probabilidad

NS = No significativo

4.3.2 Prueba comparativa de medias

En el Cuadro 12 se presentan las comparaciones realizadas por medio de la prueba de Tukey, entre los valores medios de todas aquellas variables en la que los valores de F para genotipos fueron significativos.

El genotipo H-452 resultó ser superior en las variables VG; PG, LPA, PSPA, PSR, PSTP, IEF y menor porcentaje de

plántulas anormales. Por otra parte en el genotipo 5x4 se en-
contraron las medias más bajas para PIS, PG, LR, PSPA, PSR,
PSRS y PSTP; resultados similares presentó el H-303 en las
variables VG, LPA e IEF, así como el más alto PPA.

Cuadro 12. Comparación de medias (Tukey $p < 0.05$) de las va-
riables bajo estudio en la evaluación de inverna-
dero.

Variables	G E N O T I P O S					
	H-509	H-452	H-303	H-311	5x4	L1-56q
PIS	40.91c	40.88c	41.40b	44.72a	29.56e	39.94d
VG	12.34b	15.24a	7.00c	11.54b	7.84c	10.74b
PG	73.00ab	87.75a	36.50d	61.75bc	30.75d	57.00c
PPA	10.25ab	6.00a	34.00c	20.00b	47.50c	28.75bc
LPA	12.7abc	14.19a	11.72c	13.71ab	12.24b	12.40abc
LR	18.22a	17.12a	15.95bc	16.99abc	15.29c	17.12ab
PSPA	6.35b	7.86a	2.52de	4.91c	1.89e	3.69d
PSR	4.64a	5.03a	1.56c	2.85b	1.23c	2.92b
PSRS	8.11b	10.36ab	4.99cd	11.26a	2.70d	5.64c
PSTP	11.00a	12.89a	4.09c	7.76b	3.13c	6.61b
IEF	33.57b	42.20a	11.39d	23.30c	11.67d	19.52c

Medias con igual letra para cada variable son estadísticamen-
te iguales.

4.3.3 Correlaciones entre variables

La asociación entre variables estudiadas y su signifi-
cancia se muestran en el Cuadro 13; donde se puede observar
que las variables VG, PG, PPA, LPA, PSPA, PSR, PSRS, PSTP e
IEF presentaron correlaciones significativas y altamente sig-
nificativas entre sí, en tanto que la variable PPA mostró
un sentido negativo en todas sus correlaciones.

Cuadro 13. Coeficientes de correlación y significancia estadística para las variables bajo estudio en la evaluación en invernadero.

Variabes	VG	PN	PA	LPA	LR	PSPA	PSR	PSRS	PSTP	IEF
PIS	0.3758	0.512 *	-0.6006 **	0.2521	0.3465	0.4930 *	0.4110 *	0.7431 **	0.4659 *	0.3798
VG		0.9669 **	-0.8777 **	0.8030 **	0.2933	0.9433 **	0.9004 **	0.7557 **	0.9404 **	0.9463 **
PN			-0.9340 **	0.7076 **	0.4186 *	0.9796 **	0.9382 **	0.8056 **	0.9780 **	0.9691 **
PA				-0.6056 **	-0.3839	-0.9249 **	-0.8910 **	-0.8119 **	-0.9256 **	-0.9020 **
LPA					-0.0188	0.7139 **	0.6540 **	0.5863 **	0.6997 **	0.7112 **
LR						0.3936	0.5343 **	0.4333 *	0.4605 *	0.4536 *
PSPA							0.9341 **	0.7951 **	0.9882 **	0.9826 **
PSR								0.6747 **	0.9778 **	0.9677 **
PSRS									0.7564 **	0.7347 **
PSPA+R										0.9924 **

* = Significativo al 0.05 de probabilidad

** = Significativo al 0.01 de probabilidad

V. DISCUSION

5.1 Comportamiento de la Germinación y del Vigor de Semillas de Maíz de la Variedad CPSV-19-I Sometidas a Dos Temperaturas (20 y 35°C).

Con base en el análisis de varianza (Cuadro 2) se puede señalar que existieron diferencias significativas en las variables PG, PPA, LPA, PSPA, PSR, PSTP, PSRS, lo cual es una indicación de que el genotipo CPSV-19-I respondió de manera diferente a los tratamientos de temperatura; situación que se pudo constatar al realizar la prueba de Tukey (Cuadro 3); sin embargo, existen características tales como PIS, SSG y LR en las que no hubieron diferencias por efecto de la temperatura.

Adicionalmente cabe señalar que al no encontrarse diferencias significativas en la variable PIS, la selección de semilla por peso antes del experimento fue efectiva, ya que se evitaron posibles errores al estar trabajando con semillas de distinto tamaño y por ende de diferente vigor.

La mejor temperatura para los parámetros que se miden en una prueba de germinación estandar resultó ser la de 20°C al obtenerse medias superiores en PG y un menor PPA; sin embargo, para las variables LPA, PSPA, PSR y PSTP que se utilizan como indicadores de vigor se obtuvieron los valores

más altos a 35°C, lo cual indica que a esta temperatura el crecimiento y desarrollo de las plántulas es mayor, manifestándose en una mayor elongación y producción de materia seca; no obstante lo anterior, a esta temperatura se presentó un mayor porcentaje de plántulas anormales, debido a daños causados por la alta temperatura (quemaduras en hojas) y una mayor incidencia de hongos.

En cuanto a la asociación entre variables (Cuadro 4), se pudo apreciar que los parámetros utilizados en la prueba de germinación estandar (PG, PPA y SSG) estuvieron altamente correlacionadas en sentido inverso, ya que al incrementarse el PG disminuyeron el PPA y de SSG, lo cual es importante ya que estos dos caracteres son indeseables al evaluar la calidad biológica de las semillas.

En relación a los parámetros para evaluar vigor se observó que el PSTP presentó altas correlaciones con LPA ($r = 0.799^*$), PSPA ($r = 0.893^*$), LR ($r = 0.887^*$) y PSR ($r = 0.983^{**}$), indicando que para trabajos posteriores se puede medir vigor con bastante confiabilidad usando únicamente este parámetro.

El signo negativo de las correlaciones de PSRS con la mayoría de las variables, es un indicador de que la materia de reserva contenida en la semilla es consumido por las estructuras esenciales que provienen del embrión, las cuales se desarrollan para constituir una plántula.

5.2 Comportamiento de la Germinación y del Vigor en Semillas de Seis Genotipos de Maíz Sometidos a Diferentes Temperaturas.

Las diferencias encontradas en el peso inicial de semillas (Cuadro 5) para cada uno de los genotipos probados estuvieron determinadas genéticamente, ya que los genotipos de El Bajío presentaron los mayores pesos, en tanto que los tropicales y los de Valles Altos tuvieron los pesos intermedios y más bajos respectivamente; por lo anterior cabría esperar que los híbridos H-311 y el H-303 sean los más vigorosos de acuerdo con Virgen (1983) y Marroquín (1986); sin embargo, al someterse las semillas a diferentes temperaturas para su germinación, la magnitud de su respuesta estuvo determinada por su potencial genético, el efecto del medio ambiente y la interacción entre ambos.

Del análisis de varianza (Cuadro 6) se puede inferir que los genotipos de maíz presentaron una respuesta diferencial a los tratamientos de temperatura, para las variables consideradas en la prueba de germinación estandar (PG7d, PPA) y los parámetros PG4d, PSPN, MS/PN e IEF que se utilizan para medir vigor; lo cual es una indicación de que el componente genético fue de fundamental importancia en la expresión de dichas características, situación que se pudo constatar al realizar la prueba de Tukey (Cuadro 7); donde se puede observar que a la temperatura de 20°C los genotipos que presentaron las medias más altas para las variables PSPN, MS/PN e

IEF fueron los de Valles Altos (5x4 y L1-56q), quienes tuvieron los pesos iniciales de semillas más bajos; contrario a lo que Virgen (1983), Morroqufn (1986) y Martínez (1987) reportaron, en el sentido de que para la evaluación de la calidad de lotes de semillas y para el mejoramiento genético del vigor se puede utilizar como parámetro de selección al tamaño inicial de semilla.

Considerando que la prueba de germinación se lleva a cabo en condiciones óptimas (Delouche y Cadwell, 1962), esta deberá efectuarse donde el genotipo exprese su más alto porcentaje de germinación (Cseresnyes, 1979); al respecto se encontró que los genotipos utilizados en este estudio presentaron una respuesta diferente a las temperaturas y tiempos específicos de prueba, así tenemos que el H-509 y el H-311 tuvieron a 25°C un mayor porcentaje de germinación al séptimo día, mientras que a 30°C el L1-56q y el H-452 mostraron un mayor PG al cuarto y séptimo día respectivamente; en tanto que el H-303 a 35°C (cuarto día) y el 5X4 a 20°C (séptimo día) exhibieron su más alto PG. Con base en lo anterior el material genético fue agrupado de acuerdo a su respuesta a la temperatura en: a) genotipos con alto porcentaje de germinación a temperaturas de 30 y 35°C: H-303, H-452 y L1-56q; b) Genotipos con alto porcentaje de germinación a temperatura de 25°C: H-509 y H-311, y c) Genotipos con alto porcentaje de germinación a temperatura de 20°C: 5x4.

El parámetro PPA7d se incrementó considerablemente en

todos los genotipos a la temperatura de 35°C, y como una consecuencia disminuyó el PG7d, debido principalmente a daños físicos y a una mayor incidencia de hongos; por lo anterior se puede inferir que es necesario acortar el período de prueba cuando se utilizan altas temperaturas, con la finalidad de evitar daños físicos y por microorganismos.

Por otra parte, al observar la variable PG4d (Cuadro 7) se aprecia que los genotipos tropicales tienen una media muy baja a 20°C, la cual se incrementó a 25°C y expresaron su máximo potencial a 35°C; en tanto que los híbridos de El Bajío y de Valles Altos incrementaron sus medias considerablemente a 25°C y obtuvieron sus valores máximos a 30°C. En cuanto a el parámetro PSPN se encontró que los híbridos Tropicales y de El Bajío, a 20°C mostraron sus valores más bajos y a 30°C los máximos; mientras que los de Valles Altos a 35°C exhibieron la media más baja y a 25°C la mayor; de lo anterior se puede deducir que para los genotipos Tropicales y de El Bajío, la temperatura de 20°C fue una limitante para la germinación y la producción de materia seca; por lo contrario, en los híbridos de Valles Altos la limitante para éstas mismas variables fue la temperatura de 35°C. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Cseresnyes (1979), en el sentido de que un análisis cuantitativo de la calidad de semillas está determinado por las características biológicas de las mismas, ya que éstas son portadoras de caracteres genéticos (Potts, 1987), que determinan las reacciones genético-fisiológicas de las plántulas a las condiciones de prueba. A este

respecto Bekendam (1975), menciona que las condiciones ambientales bajo las cuales se cultiva una planta que produce semilla, influyen en las propiedades fisiológicas de la semilla.

Por su parte Goldsworthy (citado por Espinosa, 1985), señala que dentro de los factores que más influyen durante el desarrollo del cultivo de maíz se encuentra la temperatura, ya que este factor determina considerablemente la actividad fisiológica de las plántulas; en este sentido se encontró que la actividad enzimática, la iniciación del crecimiento del embrión y la emergencia de la plántula, estuvieron de terminados por los diferentes tratamientos de temperatura, eventos que coinciden con los señalados por Copeland (1976).

Adicionalmente se puede señalar que las plántulas de to dos los genotipos mantuvieron una alta actividad fisiológica a la temperatura de 35°C, situación que se hizo evidente por los bajos valores encontrados en las variables PSRS, MS/PN e IEF; en tanto que a 20°C se observó la mayor cantidad de materia seca en los restos de semilla, una baja producción de materia seca por plántula normal y bajos porcentajes de germinación al cuarto día, por lo que hubo un menor crecimen to de plántula; ya que éste depende del integral funcionamiento de los procesos fisiológicos y de su apropiada velocidad. Además la temperatura pudo cambiar la capacidad de los puntos de crecimiento de las plántulas para funcionar como productores y almacen de productos de la fotosíntesis y nutrientes;

así como los mecanismos de translocación y distribución de los mismos. Colateralmente a lo anterior la respiración y transpiración son dos procesos fisiológicos que se ven afectados severamente por la temperatura a nivel de plántula. Otras de las consecuencias de mantener en stress de alta temperatura a la plántula es la reducción de los contenidos de proteínas y ácidos nucleicos, el mal funcionamiento del RNA, y clorosis debida a la destrucción de la clorofila, así como deficiencias en cloroplastos y ribosomas.

Por lo que respecta a la fuente de variación Genotipo x Temperatura del análisis combinado (Cuadro 6), se puede observar que existieron diferencias estadísticas en los cuadros medios de todos los parámetros evaluados; lo que indica que los genotipos tuvieron un comportamiento fenotípico diferencial cuando se les sometió a diferentes ambientes.

Considerando los valores de la prueba de medias del análisis combinado (Cuadro 8), se puede apreciar que las variables evaluadas en las plántulas de los diferentes genotipos, se manifestaron de acuerdo a la intensidad del factor temperatura dando como resultado una fuerte interacción genotipo-ambiente, que determinó su comportamiento fenotípico. En este estudio el genotipo H-311 presentó una mayor amplitud de adaptación, ya que mostró un comportamiento menos fluctuante a través de las diferentes temperaturas utilizadas. En cambio el genotipo L1-56q encontró un ambiente limitante a la temperatura de 35°C y los híbridos tropicales a 20°C.

Por lo anteriormente expuesto y dado que las reglas de la ISTA no consideran la respuesta diferencial de los genotipos a la temperatura, se considera necesario adecuar dichas reglas para evaluar correctamente la calidad fisiológica de las semillas, en los genotipos de maíz producidos en México. Por lo tanto, dependiendo del origen de la semilla, se deberán utilizar las temperaturas más apropiadas para las pruebas de germinación.

En cuanto a la asociación entre variables (Cuadro 9), se puede observar que a la temperatura de 20°C el PIS mostró una correlación negativa significativa ($r = -0.4110$) con PSPN, en tanto que a 30°C fue positiva ($r = 0.5051$); esto puede deberse a que los genotipos con semilla de menor peso fueron los que sobresalieron a baja temperatura, mientras que a 30°C los híbridos de mayor peso fueron superiores. Esta tendencia también se observó en la correlación negativa significativa ($r = -0.5766$) entre PIS e IEF a 20°C.

Por otra parte, la variable IEF mostró correlaciones altamente significativas en todas las temperaturas con el PG7d y negativas con PPA7d, que son parámetros evaluados en la prueba de germinación.

5.3 Comportamiento de la Germinación y del Vigor en Semillas de Seis Genotipos de Maíz Sembrados en Invernadero.

Con base en el análisis de varianza (Cuadro 11) se puede señalar que existieron diferencias significativas entre genotipos para las variables VG, PG, PPA, LPA, LR, PSPA, PSR, PSRS, PSTP e IEF; lo cual es una indicación de la importancia del componente genético en la expresión de dichas características; situación que se pudo comprobar al realizar la prueba de Tukey (Cuadro 12), donde se puede observar que los genotipos tropicales (H-452 y H-509) son los que sobresalieron con las medias más altas en porcentaje de germinación y un menor número de plántulas anormales; además mostraron las mejores medias en los parámetros de vigor (VG, LPA, LR, PSPA, PSR, PSTP e IEF), mientras que los híbridos H-303 y 5x4 fueron los que mostraron un bajo vigor.

El comportamiento anterior fue efecto de las altas temperaturas que prevalecieron en el interior del invernadero, las cuales fueron superiores a 30°C; situación que permitió sobresalir a los genotipos tropicales por encontrar un ambiente favorable para la expresión de los parámetros evaluados; en tanto que los híbridos H-303 y 5x4 tuvieron problemas en la emergencia y desarrollo de las estructuras esenciales que provienen del embrión, y como consecuencia se incrementó el porcentaje de plántulas anormales (PPA); esto indica que para una adecuada germinación los requerimientos

de temperatura dependeran del genotipo y del origen a que pertenecen las semillas. De acuerdo con Heydecker (1972), es ta prueba midió el vigor en base a la capacidad de las semillas para producir una plántula normal durante su fase heterotrófica, la cual esta determinada por su amplitud de adaptación.

Finalmente se pudo apreciar que los valores encontrados en la prueba de vigor de invernadero para las variables LPA, LR, PSPA, PSR y PSTP, fueron mayores al compararlas con las medias obtenidas en la cámara de ambiente controlado; situación que pudo deberse a causas tales como un mayor tiempo de duración de la prueba, fluctuaciones diarias en la temperatura y calidad de la luz; por lo que hubo un mayor desarrollo y acumulación de materia seca.

Cabe hacer notar que durante el desarrollo de este experimento fue necesario tenerlo cubierto con plástico, trayendo como consecuencia que la temperatura en su interior se elevara provocando un estado de stress en las semillas y plántulas de los genotipos de Valles Altos y de El Bajío principalmente. Lamentablemente no se registraron estas temperaturas, pero se pudo constatar que eran elevadas al momento de realizar las observaciones diarias, por lo que se considera prudente para trabajos posteriores proveer al invernadero de termómetro de máxima y mínima para poseer más elementos de discusión.

Por lo que respecta a las pruebas realizadas en arena, se pudo apreciar que es necesario efectuar un manejo más cuidadoso en el tiempo que dura la prueba; así como durante la toma de datos, ya que por las características del sustrato se pierden cantidades variables de raíz. No obstante lo anterior, esta prueba puede ser una alternativa cuando no se dispone de equipo de laboratorio. Sin embargo, hay que considerar que la variación en los resultados es mayor con respecto a la prueba conducida en cámara de ambiente controlado; lo cual concuerda con lo encontrado por Skinner y Schoeder (1978).

En cuanto a la asociación entre variables (Cuadro 13), se encontró que la velocidad de germinación (VG) estuvo altamente correlacionada con el porcentaje de germinación ($r = 0.967$), LPA ($r = 0.803$), PSPA ($r = 0.943$), PSR ($r = 0.900$), PSTP ($r = 0.940$) e IEF ($r = 0.946$); en tanto que el PSTP mostró estar correlacionado positivamente con PG ($r = 0.978$), LPA ($r = 0.699$), PSPA ($r = 0.988$), PSR ($r = 0.977$) e IEF ($r = 0.992$); por lo anterior se puede inferir que estas dos variables son confiables para evaluar vigor de las semillas en pruebas de invernadero.

Por otra parte, la variable longitud de parte aérea (LPA) mostró correlaciones altamente significativas con la mayoría de los parámetros estimados, por lo que también puede ser utilizada con cierta confiabilidad al evaluar el vigor de semillas de maíz.

La variable porcentaje de plántulas anormales mostró altas correlaciones negativas con ocho de los parámetros medidos, lo cual indica que al incrementarse esta variable son afectados los demás parámetros indicadores de la buena cali dad de la semilla (germinación y vigor).

VI. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Los genotipos de maíz presentaron una respuesta diferencial a los tratamientos de temperatura, mostrando su máximo potencial de germinación y vigor a temperaturas diferentes a las especificadas por las reglas de la ISTA.
2. Los híbridos estudiados mostraron su más alto potencial de germinación a diferentes temperaturas, agrupándose de acuerdo a su origen.
3. Es necesario adecuar las reglas actuales, para evaluar correctamente la calidad fisiológica de las semillas de los genotipos producidos en México.
4. Es posible acortar el tiempo de las pruebas de germinación y vigor, utilizando temperaturas de 30 o 35°C, obteniendo resultados similares al período establecido por las reglas de la ISTA.

5. Para propósitos de evaluación de la calidad de lotes de semillas de maíz y para el mejoramiento genético se pueden utilizar como parámetros de selección la velocidad de germinación (VG) y peso seco de plántulas normales (PSPN).
6. La conducción de las pruebas en cámara de ambiente controlado fue de más fácil manejo al realizar las observaciones y cuantificaciones de germinación y vigor, así como mayor homogeneidad en resultados; en tanto que la prueba en invernadero fue mas drástica y necesitó mayor tiempo.
7. El desarrollo de la prueba en invernadero, por las condiciones de temperatura que se presentaron al interior, se asemejó a la prueba en cámara de ambiente controlado a 35°C.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Andrews, H. 1981. Vigor de la semilla. Conferencia en el primer curso avanzado en protección y control de calidad de semillas. Cali, Colombia. Mecanografiado.
- Badillo N., E. 1981. El sistema de semillas certificadas en México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Bean, E.W. 1980. Factors affecting the quality of herbage seeds. In: P.D. Hebblethwaite (ed). Seed production. Great Britain. Butterworth. pp. 595-604.
- Bekendam, J. 1975. Germination. Seed Sci. and Technol. 3(2): 517-521.
- Carver, M. 1980. The production of quality cereal seed. In: P.D. Hebblethwaite (ed). Seed Production. Great Britain. Butterworth. pp. 295-306.
- C.I.A.T. 1982. Programa de semillas, guía de planeación y manejo. Cali, Colombia.
- Copeland, L.D. 1976. Principles of seeds science and technology. U.S.A. Burgess Publishing Co. 369. p.
- Cseresnyes, Z. 1979. The germination of *Helianthus annuus* seeds under optimal laboratory conditions. Seed Sci. and Technol. 7(3): 319-328.
- Delouche, J.C. and Cadwell, W.P. 1962. Seed vigor and vigor test. Procc. Ass. off Seed Annal. 50: 125-129.
- _____ and Baskin, C.C. 1970. Vigor determines performance of cotton. Copied from cotton international. 37th. Annual Edition. pp 65-70.
- Demolón, A. 1972. Crecimiento de los vegetales cultivados. Ed. Omega. Barcelona, España. pp. 39-124.
- Espinosa C., A. 1985. Adaptabilidad, productividad y calidad de líneas e híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

- F.A.O. 1978. Las semillas agrícolas y hortícolas. Roma, Italia.
- _____. 1979. Mejoramiento de la producción de semillas. roma, Italia. pp. 16-17.
- Garay A., E. 1981. Calidad de la semilla y su importancia en la productividad. Conferencia en el primer curso avanzado en producción y control de calidad de semillas. Cali, Colombia. Mecanografiado.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. UNAM. Inst. de Geografía. 246 p.
- Gelmond, H. 1978. Physiological aspects of seed germination. Seed Sci. and Technol. 6(3): 625-639.
- García G., J.C. 1981. Control de calidad de semillas en posco secha. Conferencia en el primer curso avanzado en protección y control de calidad de semillas. Cali, Colombia. Mecanografiado.
- Gray, D. 1979. The germination response to temperatura of carrot seed crop. Seed Sci. and Technol. 7(2): 169-178.
- Halmer, P. and J. Bewley. 1984. A physiological perspective on seed vigor testing. Seed Sci. and Technol. 12(2): 561-575.
- Harty, R.L. 1983. Testing of tropical species for germination. Seed Sci. and Technol. 11(1): 41-56.
- 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 Post graduados, Montecillo, México.
- Hess, D. 1980. Fisiología Vegetal. Ediciones Omega. Barcelona, España. pp. 304-309.
- Heydecker, E. 1972. Vigor. In: E.H. Roberts (ed). Viability of seeds. Great Britain. Chapman and Hall. pp. 209-252.
- ISTA. 1985. International Rules for Seed Testing. Seed Sci. and Technol. 13(2): 322-463.
- Jann, C.R. and D.R. Amen. 1980. What is germination?. In: A A.Khan (ed). The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination. Elsevier-North Holland Bio-medical Press. pp. 7-28.
- Knittle, K.H. and J.S. Burris. 1979. Soybean Hypocotyl growth under field conditions. Crop Sci. 19(1): 37-41.

- Lafond, G.P. and R.L. Baker. 1986. Effects of genotype and seed size on speed of emergence and seedling vigor in nine spring wheat cultivars. *Crop Sci.* 26(2): 341-346.
- Leung, D.W. 1985. Importancia de la investigación en fisiología y bioquímica de semillas. Memorias de la Reunión Nacional sobre Producción de Semillas en México. SOMEFI. Chapingo, México. pp. 86-90.
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2(2): 176-177.
- Marroquín B., A. 1986. Influencia del contenido de reserva y del tamaño del embrión de la semilla en el vigor de plántula de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Profesional. FES-Cuautitlán. UNAM.
- Martínez L., A. 1987. Comportamiento de la germinación y el vigor de plántulas en líneas e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) como respuesta al envejecimiento acelerado de semillas. Tesis Profesional. FES-Cuautitlán. UNAM.
- Matthews, D.J. and P. Hayes. 1982. Effect of temperature on germination and emergence of six cultivars of soybean (*Glycine max* L.). *Seed Sci. and Technol.* 10(3): 547-555.
- Moreno M., E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas. UNAM. Instituto de Biología. pp. 75-117.
- Naylor, R.E. and A.F. Abdalla. 1982. Variation in germination Behaviour. *Seed Sci. and Technol.* 10(1): 67-76.
- Orozco M., F.J. 1985. Proyectos y avances de investigación sobre producción de semillas en la Universidad Autónoma Chapingo. Memoria de la Reunión Nacional sobre Producción de Semillas en México. Chapingo, México. pp. 142-150.
- Perry, D.A. 1980. The concept of seed vigor and its relevance to seed production techniques. In: O.D. Hebblethwaite (ed). Seed production. Great Britain. Butterworth. pp. 585-591.
- Peterson, J.R. and P.G. Cooper. 1979. Some considerations of water in the germination test. *Seed Sci. and Technol.* 7(3): 329-340.
- Potts, H.C. 1987. Semillas: Desarrollo, Estructura y Función. Cali, Colombia. Mecanografiado.

- Rojas G., M. 1981. Fisiología vegetal aplicada. Mc. Graw Hill. México, D.F. p. 193.
- Skinner, J. and Schroeder, E. 1978. Comparison of papel towel and sand as substrats for soybean (*Glycine max* L.) seed. Seed Sci. and Technol. 6(1): 225-231.
- Thomson, J.R. 1979. An introduction to seed technology. Leonard Hill. London, Great Britain. pp. 243-257.
- Valadez M., E. 1985. Aspectos generales sobre patología de se millas. Memoria de la Reunión Nacional sobre Producción de Semillas. Chapingo, México. pp. 115-126.
- Villaseñor M., H. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Virgen V., J. 1983. Evaluación de vigor en maíz (*Zea mays* L.) en base a características de semillas y plántulas. Tesis Profesional. FES-Cuautitlán. UNAM.

VIII. APENDICE

Cuadro 1A. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables en estudio.

Variables	FUENTES DE VARIACION			
	Temperatura	Rep (Temp)	Tratamiento	TratxTemp
PIS	4.03×10^{-4} NS	3.29×10^{-3} *	430.543**	2.16×10^{-3} NS
PG4d	31,767.15**	134.608**	888.719**	505.858**
PG7d	952.538**	52.858NS	277.385**	220.163**
PPA7d	826.236**	51.447NS	199.092**	206.386**
SSG	8.403**	0.843NS	14.942**	2.303NS
PSPN	88.113**	1.255**	3.464**	4.804**
PSRS	1498.773**	3.324*	329.135**	6.400**
MS/PN	9.37×10^{-3} **	1.18×10^{-4} **	3.52×10^{-4} **	2.9×10^{-4} **
IEF	2,573.92**	64.955**	321.778**	169.334**

* = Significativo al 5% de probabilidad

** = Significativo al 1% de probabilidad

NS = No significativo.

Cuadro 2A. Comparación de medias (Tukey $p < 0.05$) del análisis combinado para las variables en estudio en las cuatro temperaturas.

Variables	Temperatura (°C)			
	20	25	30	35
PG4d	17.29c	80.45b	94.08a	92.54a
PG7d	88.33a	90.20a	93.25a	78.66b
PPA7d	9.95a	8.08a	4.91a	18.62b
PSPN	3.72c	7.61a	7.77a	5.55b
PSRS	29.68a	22.24b	14.99c	12.02d
MS/PN	0.041c	0.084a	0.083a	0.069b
IEF	38.18ab	44.84a	31.88b	20.49c

Medias con igual letra para cada variable son estadísticamente iguales.