

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**ANÁLISIS DE EFECTOS AMBIENTALES EN LA EXPRESIÓN DE
CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE MAÍZ**

Por:

ANA ELENA RUÍZ VÁZQUEZ

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Octubre 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

TESIS

ANÁLISIS DE EFECTOS AMBIENTALES EN LA EXPRESIÓN DE CALIDAD
FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE MAÍZ

POR:

ANA ELENA RUÍZ VÁZQUEZ

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobado por:

Dr. Froylán Rincón Sánchez
Asesor Principal

Dr. Norma Angélica Ruiz Torres
Asesor

Dr. Juan Manuel Martínez Reyna
Asesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México. Octubre de 2011.

Coordinación
División de Agronomía

DEDICATORIAS

A mis padres el Sr. **Transito Ruíz Macal** y la Sra. **Rosa O. Vázquez Torres** por su infinito amor, paciencia, consejos, por los desvelos y oraciones, pero sobre todo por creer en mí.

A mis abuelos **Miguel, Julián y Elena** (p.e.p.d.), aunque ahora ya no los tengo a mi lado, los conservo en mis recuerdos y en el corazón, les agradezco todo su amor y buenas enseñanzas, pero sobre todo por cada momento compartido con ellos en la niñez.

A mi abuelita **Rosa**, por su amor, por confiar en mí, por sus bendiciones y por esas lágrimas que derramaba cada vez que tenía que alejarme de ustedes para seguir mi sueño.

A mis hermanos **Marcos, Carolina y Ronay** por su comprensión, paciencia, amor y por preocuparse por mí en todo momento, además del apoyo económico y moral que me brindaron. Gracias por compartir sus vidas conmigo y por ser mis hermanos.

Al **Ing. Ramiro Alejandro López Jiménez** por estar conmigo estos últimos 4 años en las buenas y en las malas, gracias por su cariño, comprensión, compañía y sobre todo gracias por tu amor.

A mí cuñada **Flor** por apoyarme y a mis sobrinos **Jesús** y a la nueva bebe, por esos momentos maravillosos y por brindarme su cariño.

A todos mis tíos, tías y primos en especial a mi tía Consuelo (q.e.p.d), por sus consejos que incansablemente me dieron.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por el regalo más preciado la “vida” y por todas las cosas buenas que ha puesto en ella.

A mi “Alma Mater” Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme sus puertas y prepararme en el ámbito profesional.

A mi asesor principal el Dr. Froylán Rincón Sánchez por darme la oportunidad de participar en este proyecto tan importante para mí, por su apoyo, paciencia, conocimientos y tiempo para realizar este trabajo.

A la mesa directiva la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres y al Dr. Juan Manuel Martínez Reyna por su tiempo en la revisión de este trabajo y conocimientos.

Al Ing. Huberto Sandoval R. y a su familia por su apoyo y amistad.

A la T.A. Magdalena Olvera Esquivel por su apoyo en laboratorio.

A mis compañeros de generación y a todos aquellos que compartieron a mi lado momentos felices y difíciles a todos ellos gracias por su valiosa amistad, pero sobre todo el apoyo que me brindaron en los momentos difíciles.

A mi primo el Ing. Miguel A. Carrera V. y a su esposa la Lic. Teresita Gómez por abrirme las puertas de su hogar y apoyarme en todo momento.

A mis amigos; Verito, Lupita, Delia, Sadiay Josué por su amistad incondicional.

A la Bióloga Silvia Pérez C., MC. Felipa Morales L. y al MC. José Daniel, por sus consejos y su amistad incondicional.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera me brindaron su amistad y cariño gracias o todos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Importancia del maíz.....	4
Componentes del grano de maíz.....	6
Ambientes de producción.....	7
Concepto de semilla.....	8
Calidad fisiológica.....	10
Germinación.....	10
Vigor.....	11
Contenido de humedad.....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
Material genético.....	12
Evaluación.....	14
Germinación estándar.....	15
Prueba de vigor.....	16
Peso seco de plántula.....	16
Contenido de humedad de la semilla.....	16
Diseño experimental.....	18
Análisis de información.....	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
V. CONCLUSIONES.....	32
VI. LITERATURA.....	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1.	Producción nacional de maíz según la modalidad hídrica.	6
Cuadro 2.2	Tipos de maíz que se encuentran en México.	6
Cuadro 2.3	Composición química del grano de maíz.	7
Cuadro 3.1	Materiales genéticos utilizados en el estudio de calidad fisiológica.	12
Cuadro 3.2	Condiciones de clima y localización de los ambientes de evaluación.	13
Cuadro 4.1	Cuadros medios del análisis de varianza de las variables en estudio.	20
Cuadro 4.2	Medias de las localidades por origen de semilla de las variables en estudio.	22
Cuadro 4.3	Medias de los genotipos en evaluación.	25
Cuadro 4.4	Coeficientes de correlación de variables de características de la calidad fisiológica.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pagina
2.1	Producción de los principales cereales en México 1996-2006.	5
4.1	Deserción de la interacción ambientes x caracteres en el análisis de calidad fisiológica de la semilla.	29

RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo fueron: a) determinar la calidad fisiológica del grano de 18 genotipos de maíz con diferente origen de producción y b) determinar el efecto del ambiente de producción en la calidad fisiológica de la semilla de maíz. El presente estudio fue realizado con semilla procedente de la evaluación agronómica de 18 materiales genéticos en tres localidades contrastantes: El Mezquite, Galeana, N.L., San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coah. y General Cepeda, Coah., en el 2007. Adicionalmente, la semilla original fue incrementada en Tepalcingo, Mor. en el 2008. La semilla de las localidades de producción (evaluación agronómica), el incremento en Tepalcingo, Mor., y la semilla original fueron considerados ambientes en el presente estudio. La calidad fisiológica consistió en las determinaciones del porcentaje de germinación y vigor, así como peso seco de la semilla y peso seco de plántula. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en los distintos ambientes de producción y los genotipos para todas las variables estudiadas; también se encontró una respuesta diferencial ($P \leq 0.01$) de los genotipos a las condiciones del ambiente de producción (Genotipo x Ambiente). Se encontró que los resultados de la germinación está asociada positivamente con el peso seco de plántula y el vigor de la semilla. Los valores promedio de los ambientes indican que la localidad de Tepalcingo, Mor. y Saltillo, Coah. fueron los que mostraron los valores inferiores de calidad fisiológica, comparados con la semilla original y las localidades de General Cepeda, Coah. y El Mezquite, Galeana, N.L. De acuerdo a los resultados,

el peso seco de la semilla (PSS) puede ser un indicador que ayude a explicar el efecto del ambiente, donde los valores obtenidos presentan buenos índices de calidad como lo es el caso de Mezquite, Galeana, N.L. con un valor de 203.78 mg. El análisis de interacción de genotipos \times ambientes \times caracteres, gráficamente muestra y corrobora las diferencias entre ambientes, así como las relaciones entre los caracteres de calidad fisiológica de la semilla. En conclusión, la expresión de la calidad de la semilla depende de los genotipos y de la interacción con el ambiente de producción, donde estos tienen un efecto directo en la calidad fisiológica de la semilla de maíz.

Palabras clave: *Zea mays*, germinación, vigor, calidad fisiológica.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*L.) es actualmente cultivado en la mayoría de los países del mundo, es uno de los cultivos que ocupa los primeros lugares en importancia después del trigo y el arroz (FAO, 2011).

Giraldo *et al.* (2000) mencionan que la calidad de la semilla se puede expresar como la suma de tres factores intrínsecos a la semilla: calidad genética, calidad fisiológica y calidad sanitaria. La calidad genética por sí sola no garantiza que una semilla sea de buena calidad, pues se puede tener un cultivar altamente rendidor, con muy buena adaptación, resistente a sequía, pero de nada serviría esto, si la semilla no se encuentra viva, sana y capaz de producir plántulas normales y vigorosas.

La calidad fisiológica es el atributo de la semilla para producir plántulas vigorosas capaces de establecerse debidamente en el campo (Sánchez, 2004). La calidad sanitaria es el nivel de sanidad que determina la expresión de la capacidad productiva de un genotipo. Se trata de prevenir las enfermedades o sanear un material, preservando el nivel óptimo de sanidad (Pagliano, 1999).

Giraldo *et al.* (2000) mencionan que la calidad fisiológica de la semilla depende de muchos factores externos que pueden dañarla muy fácilmente en

cualquiera de las etapas de maduración, cosecha, trilla, secado, desgrane, procesamiento, almacenamiento, distribución y siembra. Estos factores externos son: el tiempo de permanencia de la semilla en el campo después de la madurez fisiológica, la humedad de la semilla, la temperatura, la humedad relativa, los daños causados durante la trilla, daños por insectos, entre otros.

El maíz se siembra en sitios desde el nivel del mar hasta los 2500 m de altura. La amplia adaptación permite clasificar al maíz en materiales del trópico, zonas intermedias o bajío y de altura.

La producción del cultivo de maíz depende de diferentes factores importantes, como el material genético, condiciones agroclimáticas (riego y temporal), control de malezas, tipo de suelo y fertilización. Las variaciones ambientales y la diversidad de genotipos y la interacción genotipo x ambiente ocasionan variaciones en la expresión fenotípica tanto de planta como en la semilla y su calidad.

En el presente trabajo de investigación se analizó la expresión de la calidad de la semilla de distintos materiales, con base en la respuesta de diferentes ambientes de producción,

Objetivos

1. Determinar la calidad fisiológica del grano de 18 genotipos de maíz con diferente origen de producción.
2. Determinar el efecto del ambiente de producción en la calidad fisiológica de la semilla de maíz.

Hipótesis

Los genotipos presentarán diferencias en cuanto a la calidad fisiológica de la semilla, según al ambiente al que fue sometido para su producción.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La demanda de alimentos que día a día va en crecimiento y la explosión demográfica, obligan a disponer de más y mejores semillas con características fisiológicas superiores.

Gran parte de la producción de los cultivos depende de la calidad de la semilla. Por lo tanto, la calidad de la semilla de maíz es de gran importancia tanto para los agricultores como para la industria semillera. Para el agricultor, porque de ello depende el establecimiento de plantas y por lo tanto, uniformidad en la población por hectárea, es decir, prefiere aquellas que muestran alto vigor; y en la industria, la calidad de la semilla esta determinada por la variación en tipo de grano, que exhiben las variedades e híbridos de maíz(Pérez *et al.*, 2007a).

Importancia del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es el segundo cultivo en importancia en el mundo por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar. El maíz se cultiva en mas de 140 millones de hectáreas con una producción anual de mas de 580 millones de toneladas (FAO, 2011). Donde los principales países productores de éste grano son Estados Unidos de América con 280,228.400 t, ocupando el primer lugar; China en segundo lugar produce alrededor de 132,645.000 t; Brasil en tercer lugar con 34,859.600 t, y en cuarto lugar se encuentra México con una producción total de 20,500.000 toneladas.

El maíz es el cultivo agrícola más importante de México, desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. Además es el más importante en relación con los demás cereales que se producen en México (trigo, sorgo, cebada, arroz y avena, principalmente) (SAGARPA-SIAP, 2007).

A continuación se observa una figura que indica la producción de los cereales más importantes en México.

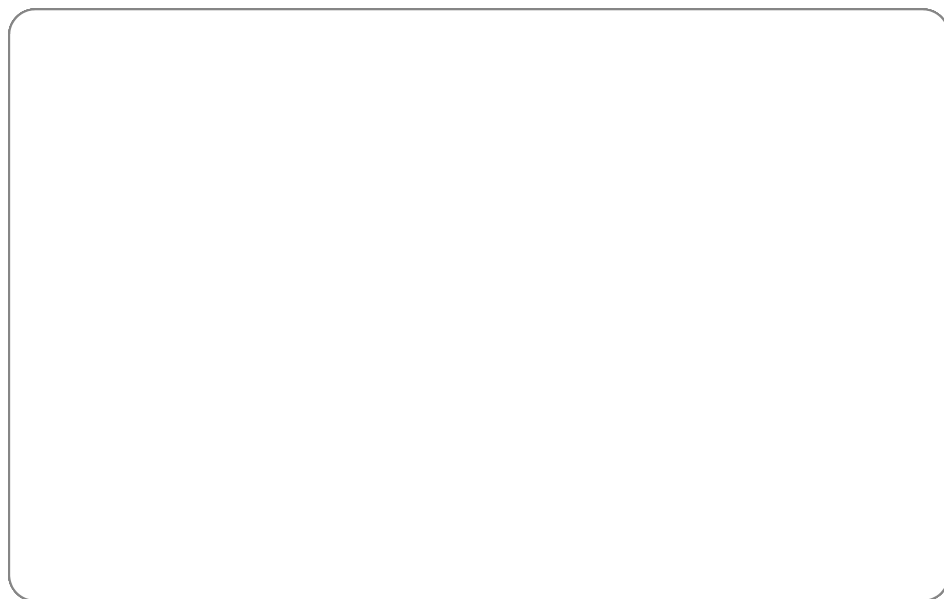


Figura. 2.1. Producción de los principales cereales en México 1996-2006.

Durante el periodo 2010 la producción nacional de maíz (Cuadro 2.1) bajo condiciones de riego fue de 25.5% con 1.986 t ha^{-1} , mientras que bajo condiciones de temporal se reportó una producción de 5.800 t ha^{-1} que corresponde al 74.5 % (SAGARPA-SIAP, 2011).

Cuadro 2.1. Producción nacional de maíz según la modalidad hídrica (toneladas).

	2005	2006	2007	2008	2009
Riego	9,006,759.70	9,131,993.86	10,211,646.68	10,436,900.02	10,219,218.18
Temporal	10,331,953.19	12,761,215.39	13,301,105.17	13,973,378.51	9,923,597.58
Total	19,338,712.89	21,893,209.25	23,512,751.85	24,410,278.53	20,142,815.76

Fuente: SAGARPA-SIAP, 2011.

Los materiales de maíz usados en México es una gama muy amplia (Cuadro 2.2). De manera general, los tipos más comunes son el maíz blanco y el maíz amarillo(SAGARPA-SIAP, 2007).

Cuadro 2.2. Tipos de maíz que se encuentran en México.

Tipos de maíz	
Maíz ceroso	Maíz palomero
Maíz cristalino	Maíz semidentado
Maíz dulce	Maíz truncado
Maíz dentado	

Fuente: SAGARPA- SIAP, 2007.

Componentes del grano de maíz

Para entender la composición de los diferentes componentes que se utilizan del grano de maíz, es necesario considerar previamente su estructura desde el punto de vista de su utilización como alimento directo, así como también de su aprovechamiento industrial (IICA, 1995).

Los granos de maíz están constituidos principalmente de tres partes: el endospermo, el embrión y el pericarpio. El endospermo es el depósito de alimento para la nueva planta y está compuesto principalmente por carbohidratos y en menor escala, por proteínas. El embrión es el responsable de generar una nueva planta al germinar la semilla, en tanto que el pericarpio, protege al grano contra el ataque de insectos y de las condiciones ambientales adversas (Ospina, 2002).

Cuadro. 2.3. Composición química del grano de maíz.

Parte del grano	Cenizas	Proteína	Aceite	Azúcar	Carbohidratos almidón	peso grano entero
	%	%	%	%	%	(%)
Endospermo	0.31	9.4	0.8	0.64	86.4	81.9
Germen o embrión	10.10	18.8	34.5	10.80	8.2	11.9
Pericarpio	0.84	3.7	1.0	0.34	7.3	5.3

Fuente: IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), 1995.

Ospina (2002) menciona que los granos constituyen parte fundamental de la alimentación humana, proveen de sustancias indispensables para la vida como son los carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales. Las diferentes partes de los granos tienen composición química y bioquímica diferente.

Ambientes de producción

Un ambiente de producción se define como los espacios físico-biológicos en que se produce un determinado cultivo o se desarrollan y/o crían especies pecuarias (Saravia y Enciso, 1996). Los mismos autores mencionan que para identificar los ambientes de producción hay que tomar en consideración la altitud, fertilidad, precipitación, la pendiente, entre otros.

La clasificación de los ambientes de cultivo, indican el área y las características requeridas para cultivar exitosamente en cada país es, sin duda, una herramienta útil (FAO, 2011). Para un buen manejo del cultivo de maíz depende de diferentes factores importantes, como lo es la elección del material, riego, control de malezas, suelo y la fertilización.

Es importante el control de las malezas ya que es uno de los factores que puede afectar seriamente los rendimientos de los cultivos. El control de malezas debe hacerse antes de que produzcan semillas. El control adecuado de las malezas también tiene efectos en el control de enfermedades e insectos dañinos para el cultivo (SAGARPA, 2011).

Los nutrientes que limitan en gran medida la productividad del cultivo de maíz son el nitrógeno y el fósforo. Por lo tanto, es importante realizar fertilización a base de nitrógeno, fósforo y potasio, ya que son nutrientes esenciales para el crecimiento normal de la planta, debido a que participan en procesos fisiológicos que permiten la producción de biomasa (follaje y grano) (Guerra y Osorio, 2002).

Concepto de semilla

En un sentido botánico, una semilla es un óvulo fecundado que desarrolla un embrión, dotado de una reserva de materiales, que entra en

estado de letargo o latencia, protegido por capas exteriores, lugar o ambiente que rodea la semilla y que sean propicias para que esta germine (Casseres, 1981). Paliwal (2001) señala que el maíz tiene una gran variabilidad en el color del grano, la textura, la composición y la apariencia. Puede ser clasificado en distintos tipos según la constitución del endospermo y del grano, el color del grano, el ambiente en que es cultivado, la madurez y su uso. Este autor menciona que el fruto del maíz es un cariósipide en el cual la pared del ovario o pericarpio está fundida con la cubierta de la semilla o testa y ambas están combinadas conjuntamente para formar la pared del fruto.

Por su parte, Moreno (1996) menciona que en términos económicos y comerciales, se le conoce como semilla a toda clase de granos, frutos y estructuras más complejas que se usan en las siembras agrícolas. Una semilla verdadera es un embrión en estado latente, acompañado o no de tejido nutricional y protegido por el epispermo.

Calidad fisiológica

La calidad fisiológica es la medida de la capacidad de la semilla para germinar y generar una planta (Rao *et al.*, 2007), se expresa como el porcentaje de semilla fisiológicamente viable, con respecto al total de la muestra de un lote.

Miranda (1981) considera que la calidad de la semilla es una de las cualidades más importantes y útil para la agricultura, ya que ésta es esencial

para alcanzar un alto rendimiento en la producción de grano y semilla de diferentes especies cultivables.

Por otro lado, Wightman *et al.* (2006) mencionan que una semilla tiene calidad fisiológica si los procesos biológicos necesarios para que viva o crezca, son normales y adecuados. La calidad fisiológica se manifiesta, en concreto, en lo bien desarrollada que esté la semilla al momento de recolectarla y en que pueda almacenarse bien.

Germinación

La International Seed Testing Association (ISTA) describe a la germinación de una semilla en laboratorio, como el desarrollo de las estructuras esenciales del embrión donde su aspecto manifiesta la habilidad para continuar con un desarrollo normal bajo condiciones óptimas (ISTA, 2009).

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

La germinación incorpora eventos que inician con la absorción de agua por la semilla seca y termina con la elongación del eje embrionario. El proceso concluye cuando la radícula penetra y atraviesa las estructuras que rodean al embrión (Herrera *et al.*, 2006).

Vigor

El vigor según la International Seed Testing Association (ISTA) es la suma total de las características de la semilla que determinan el nivel de la actividad y del funcionamiento de la semilla o la porción de la semilla durante la germinación y la aparición de la planta (ISTA, 2009).

Contenido de humedad

El contenido de humedad en las semillas, es la cantidad de agua que contienen, esta puede estar presente en forma libre como combinada con compuestos químicos de células. Este se puede expresar con base al peso seco, es decir, la pérdida de peso como porcentaje del peso seco de las semillas. El contenido de humedad es uno de los factores más importantes y cruciales, para determinar la velocidad en que las semillas se van deteriorando (Rao *et al.*, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El material genético utilizado en el trabajo de investigación fueron materiales principalmente comerciales (híbridos) de diferentes compañías semilleras (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Materiales genéticos utilizados en el estudio de calidad fisiológica.

Número	Genotipo	Procedencia	Porcentaje de Germinación
1	530G 4	PIONEER	84.0
2	30G57	PIONEER	100.0
3	30G59	PIONEER	95.0
4	30G88	PIONEER	91.0
5	30M16	PIONEER	96.0
6	30P45	PIONEER	78.0
7	30V46	PIONEER	86.0
8	31G66	PIONEER	94.0
9	31G98	PIONEER	95.0
10	32T83	PIONEER	99.0
11	33J56	PIONEER	93.0
12	33T17	PIONEER	88.0
13	AN447	UAAAN	88.0
14	BISONTE	MONSANTO	99.0
15	DK2020	MONSANTO	99.0
16	DK2022	MONSANTO	96.0
17	P7573	UAAAN	94.0
18	TIGRE	MONSANTO	83.0

Se utilizó semilla de cada unidad experimental de la evaluación agronómica de los materiales genéticos en tres localidades. El experimento de evaluación fue realizado en el 2007, en tres localidades diferentes: El Mezquite, Galeana, N.L., San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coah. y General Cepeda, Coah. Adicionalmente, la semilla original fue incrementada a través de cruza fraternales (# PaP) en 2008 en la estación experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en la localidad de Tepalcingo, Mor.

La semilla procedente de cada una de las localidades y la semilla original fueron identificadas como ambientes en el presente estudio.

Las condiciones climáticas de los ambientes de evaluación se presentan en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Condiciones de clima y localización de los ambientes de evaluación.

	Mezquite, Galeana, N.L.	San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coah.	Tepalcingo, Mor.	General Cepeda, Coah.
<u>Coordenadas geográficas</u>				
Latitud norte	25° 6' 7.3"	25° 14' 14.9"	18° 36' 42"	25° 23' 00"
Longitud oeste	100° 39' 0.7"	101° 10' 16"	98° 50' 361"	101° 27'00"
Altitud (msnm)	1,896 msnm	1895 msnm	1182 msnm	1590msnm
<u>Datos climáticos</u>				
Temperatura media anual (°C)	15.49 °C	16 °C	22.9 °C	17.94 °C
Precipitación anual (mm)	366.2 mm	521.2 mm	877.0 mm	229.8 mm

Fuente: COFUPRO, 2011.

Es importante señalar que la semilla del material utilizado en el presente estudio fue obtenida como muestra de los experimentos evaluados en 2007 y el incremento en 2008. Posteriormente estuvo almacenada bajo condiciones controladas de temperatura (3-5 °C) y de humedad relativa (40 a 60 %), en contenedores de plástico, hasta que se llevó a cabo los ensayos de germinación y vigor.

Las coordenadas geográficas, altitud y climáticas de Mezquite, N.L., Tepalcingo Mor., y San Juan de la Vaquería, se obtuvieron de las estaciones climatológicas cercanas a las localidades. En El Mezquite, Galeana, N. L. se usó la estación climatológica “Agrodelta El Cuije”; los datos de San Juan de la Vaquería, corresponden al rancho “el padrino”; las de Tepalcingo, Mor., provienen de la estación climatológica Tepalcingo para el caso de General Cepeda, Coah. las coordenadas geográficas fueron obtenidas con georeferenciación, en tanto que la precipitación y temperatura promedios provienen de la estación meteorológica ubicada en el rancho “La Gloria” que es el más cercano a la localidad (COFUPRO, 2011).

Evaluación

La evaluación de la calidad fisiológica de la semilla se realizó en el laboratorio de calidad de semilla del Centro de Conservación de Semillas Ortodoxas Región Norte del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI) ubicado en las instalaciones de la

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coah. Se utilizaron muestras de semilla de las combinaciones del material genético x localidades de evaluación x repeticiones.

Germinación estándar

Para esta prueba fue necesaria una muestra de 100 semillas para establecer cuatro repeticiones de 25 semillas. Se usó el método “entre papel” recomendado por la International Seed Testing Association (ISTA, 2009), que consistió en colocar las 25 semillas con el embrión hacia abajo (previamente tratadas con un fungicida) en papel tipo anchor, el cual se humedeció y las semillas fueron distribuidas en hileras dejando un espacio en los bordes. Se cubrió las semillas con otra hoja húmeda y se enrollaron en forma de tacos, al terminar se sujetó con ligas para evitar que se desenrollen, posteriormente se marcó con lápiz tinta taco escribiendo el número correspondiente a la unidad experimental y una flecha señalando la dirección a donde se dirigen las raíces.

Una vez terminado de elaborar todos los tacos se introdujeron en bolsas de polietileno de manera ordenada (5 tacos por bolsa) y se acomodaron 4 bolsas en una canastilla, 2 en cada extremo, y se colocaron las canastillas en la cámara de germinación a una temperatura de 25 °C durante 7 días. Transcurridos los siete días se procedió a desenrollar los tacos y contar las plantas normales (PN), anormales (PA) y las semillas sin germinar (SSG).

Prueba de vigor

Se llevó a cabo al realizarse el primer conteo al cuarto día de la prueba de germinación, donde se contabilizaron las plántulas normales. Se consideró como normal a la plántula que midió más de 2.5 cm, tanto de plúmula como de radícula.

Peso seco de plántula

Para obtener los resultados de peso seco de plántula se obtuvo de las plántulas normales de la prueba de germinación las cuales fueron colocadas en bolsas perforadas de papel estraza y posteriormente colocadas en un horno de secado Lumistell HTP-41 a 70 °C durante 24 horas. Por último se pesó en una balanza analítica AND Gx-600 y el peso se reportó en mg plántula⁻¹.

Contenido de humedad de la semilla

El método más preciso para determinar el contenido de humedad es el del secado en la estufa, eliminando el agua de las semillas por la acción de calor. Además, es considerado como un método directo. Las especificaciones en ISTA(2009), recomienda el uso de dos repeticiones de 0.5 a 4.5 g de semillas para esta prueba. En éste estudio, debido a la disponibilidad del material, se usó dos repeticiones de 50 semillas.

El contenido de humedad se determinó de la siguiente manera:

Se usó recipientes de aluminio con tapas ajustadas, bien secos y marcados con su número correspondiente. Se pesó cada recipiente incluyendo la tapa y se registró el peso en la hoja de datos. Posteriormente se colocó la semilla de una repetición en el recipiente junto con la tapa, y se registró nuevamente el peso a continuación se colocó los recipientes destapados en la parrilla de la estufa, a una temperatura de 130 °C, previamente ajustada, y se dejaron las muestras por un tiempo de 4 horas. Transcurrido este periodo de tiempo, se apagó la estufa y se taparon los recipientes; posteriormente, se colocaron en un desecador y se dejaron enfriar por 15 a 30 minutos, finalmente se pesó los recipientes con la muestra ya seca y se registró.

Para calcular el contenido de humedad en la semilla con base a peso fresco se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \left(\frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \right) \times 100$$

En donde:

P_1 = peso del recipiente con la tapa; P_2 = peso del recipiente con la tapa y la muestra antes del secado; y P_3 = peso del recipiente con la tapa y la muestra después del secado.

Diseño experimental

El experimento fue establecido como un diseño de bloques incompletos con arreglo factorial (18 x 5) con cuatro repeticiones. Las repeticiones fueron consideradas como bloques mayores y dentro de estos, los 18 genotipos y los cinco ambientes de producción, en sub-bloques (bloques incompletos). El diseño para el experimento fue generado con el programa de cómputo CropStat 7.2 (IRRI, 2007).

Análisis de la información

Se llevó a cabo el análisis de varianza de las variables estudiadas (vigor, germinación, peso seco de plántula, contenido de humedad y peso seco de semilla) con los datos obtenidos de las pruebas en laboratorio. Los datos de las variables evaluadas se procesaron con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2004).

El modelo lineal que se utilizó para el análisis de varianza a continuación se describe:

$$\text{Donde: } Y_{ijkl} = \mu + R_i + \beta_{j(i)} + A_k + G_l + AG_{kl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} , la variable respuesta; μ , el efecto de la media general; R_i , el efecto de la i -ésima repetición; $\beta_{j(i)}$, el efecto del j -ésimo bloque incompleto dentro de la i -ésima repetición; A_k , el efecto del k -ésimo ambiente; G_l , el efecto del l -ésimo genotipo; AG_{kl} , el efecto de la interacción del l -ésimo genotipo y el k -ésimo ambiente; ε_{ijk} , el error experimental.

Se efectuó la comparación múltiple de medias mediante el valor estadístico de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) de Tukey para analizar las diferencias relativas entre las variables de estudio.

Se realizó un análisis de correlación con promedios entre las variables de interés en estudio, con el procedimiento PROC CORR de SAS (SAS Institute, 2004).

Finalmente se realizó un análisis de dispersión gráfica para analizar visualmente la diferencia entre los ambientes de producción de la semilla (Yan y Kang, 2003).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a que la semilla para este estudio se obtuvo de diferentes ambientes de producción (Mezquite, Galeana, N. L., General Cepeda, Coah., Tepalcingo, Mor., San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coah.), se realizó el análisis de calidad de la semilla para estudiar el efecto que tiene su ambiente de producción sobre ésta. El Cuadro 4.1 presenta los resultados del análisis de varianza de los caracteres indicadores de la calidad fisiológica de la semilla.

Análisis de varianza

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables en estudio.

FV	gl	VIGOR (%)	GERM (%)	PSP (mg plántulas ⁻¹)	gl	HUM (%)	PSS (mg)
Repeticiones (Rep)	3	299.64	1.73	734.361 **	1	0.034	108.77
Bloques (B)/Rep	88	1,106.42 **	55.55 **	188.15 **	44	0.33	357.62
Ambientes (Amb)	4	8,870.17 **	1,200.02 **	2,067.18 **	4	13.07 **	40,492.83 **
Genotipos (Gen)	17	1,465.40 **	119.63 **	997.17 **	20	0.50 *	4,397.50 **
Gen x Amb	68	694.63 **	120.94 **	203.03 **	79	0.50 **	2,289.29 **
Error	607	193.84	37.47	41.43	309	0.27	376.96
CV (%)		29.06	6.54	9.12		8.83	6.90

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; FV= fuentes de variación; gl= grados de libertad; GERM= porcentaje de germinación; PSP= peso seco de plántula; HUM,=contenido de humedad; PSS= peso seco de semilla.

El control de la variación ambiental durante el desarrollo del experimento fue importante en el vigor, germinación y peso seco de plántula con una

significancia ($P \leq 0.01$) en los efectos de bloques. En cambio en las repeticiones, la única variable que presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) fue el peso seco de plántula, lo cual indica que esta determinación es muy sensible a los factores ambientales. En los resultados obtenidos del análisis de varianza en cuanto a las variables estudiadas de calidad fisiológica, se encontró que en los diferentes ambientes en los que fue producida la semilla indican diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en todas las variables estudiadas. Esto puede deberse, como ya se mencionó, a que la semilla fue producida en ambientes totalmente diferentes (Cuadro 4.2).

Los genotipos mostraron diferencias en todas las variables evaluadas con significancia estadística ($P \leq 0.01$) y ($P \leq 0.05$). Además, se encontró una respuesta diferencial de los genotipos a las condiciones ambientales de producción (Gen \times Amb) con significancia estadística ($P \leq 0.01$). Estas diferencias en los genotipos eran de esperarse, ya que son materiales diferentes y procedentes de empresas distintas (Cuadro 4.3). Otra razón por la cual se presentan diferencias puede deberse a la calidad inicial de la semilla (Cuadro 4.1), la cual, además de las diferencias entre genotipos y ambientes son componentes que explican la interacción genotipo \times ambiente.

Sandoval (2010) encontró que las poblaciones evaluadas mostraron un comportamiento diferente en la calidad fisiológica de las semillas provenientes de

distintos orígenes de producción, atribuido principalmente a las condiciones ambientales.

Pérez *et al.* (2007b) mencionan que en un estudio de materiales sometidos a diferentes ambientes de producción encontraron que un grupo de genotipos superan a otros en vigor. Además, obtuvieron un mejor rendimiento de grano en los ambientes donde han sido sometidas de manera recurrente a selección por los agricultores o fitomejoradores.

Prueba de medias

Con base en los diferentes orígenes de la semilla evaluada (Cuadro 4.2), se realizó el análisis para explorar los valores medios de los ambientes que pudieran tener en la calidad de la semilla según su ambiente de producción.

Cuadro 4.2 Medias de los ambientes de producción de semilla de las variables en estudio.

	GERM	VIGOR	PSP	HUM	PSS
	(%)	(%)	(mg plántulas ⁻¹)	(%)	(mg)
General Cepeda, Coah.	96.94 a	55.87 a	72.99 a	5.53 c	287.44 b
Tepalcingo, Mor.	94.44 b	38.72 c	62.71 c	5.80 b	238.34 d
Mezquite, Galeana, N.L.	94.13 b c	49.24 b	73.79 a	6.46 a	302.78 a
Original	92.11 c d	57.61 a	67.49 b	5.22 d	300.59 a
San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coah.	90.04 d	38.61 c	68.59 b	5.94 b	261.35 c

Los valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$); GERM = Germinación; PSP = Peso seco de plántula; HUM= contenido de humedad; PSS = peso seco de semillas.

Considerando el valor medio de germinación, se puede observar que hay diferencia entre los ambientes de producción en la viabilidad de la semilla, la cual fue obtenida en el mismo ciclo agrícola.

En germinación, de acuerdo a las normas de calidad, todos los materiales evaluados obtuvieron buenos índices de calidad que están por encima del 85 %. Aunque se presentan diferencias entre ellas, se encuentran dentro de los límites de calidad. La semilla procedente de la localidad de General Cepeda, Coah. (Cuadro 4.2) produce semilla con buen porcentaje de germinación (96.94 %), mientras que la semilla de San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coah. fue la que reflejó datos más bajos de germinación con 90.04 %.

Se observó que la localidad que cuenta con semilla de buen vigor es el ambiente original (57.61 %), seguido de General Cepeda, Coah. con 55.87 % (Cuadro 4.2).

Los resultados de la prueba de vigor (Cuadro 4.2) indican que la semilla original, además de contar con buena viabilidad, también era semilla que aseguraba su emergencia en campo.

El peso seco de la plántula también ha sido considerado como una prueba de vigor, en una etapa posterior a la germinación. Las localidades de El Mezquite Galeana, N.L. y General Cepeda, Coah. expresaron valores superiores en el peso

seco de plántula. La localidad de Tepalcingo, Mor., aunque mostró altos índices de viabilidad (94.4 %), es la que resultó con los valores más bajos de peso seco de plántula (62.7 mg plántula⁻¹). Lo anterior es consistente con los valores de vigor de la semilla.

El peso seco de la semilla en este estudio es quizás un indicador que ayuda a explicar el efecto del ambiente. Los valores de peso seco de la semilla tienen buenos índices de calidad presentando un valor de 302.78 mgplántula⁻¹ para la localidad de El Mezquite, Galeana, N.L, similares estadísticamente a la semilla original (300.59 mgplántula⁻¹) (Cuadro 4.2). Por otra parte, se presenta un descenso en los valores de calidad del resto de las localidades, alcanzando los valores más bajos en la localidad de Tepalcingo, Mor. (238.34 mgplántula⁻¹).

Virgen *et al.* (2010) encontraron que la superioridad en cuanto a rendimiento de algunos híbridos comerciales se debe a la buena adaptación a las condiciones de ciertos ambientes.

En el Cuadro 4.3 se presentan los valores medios de los genotipos en la evaluación a través de los ambientes de producción.

Cuadro 4.3. Medias de los genotipos en evaluación a través de los ambientes.

GENOTIPO	GERM (%)	VIGOR (%)	PSP (mg plántula ⁻¹)	HUM (%)	PSS (mg)
32T83	96.40	60.60	75.40	5.63	340.61
33T17	96.09	47.82	68.91	5.87	280.58
30G54	95.64	49.09	61.55	5.66	263.08
31G98	95.27	59.46	79.34	5.84	297.47
30G59	95.27	42.82	67.32	5.68	285.26
BISONTE	95.18	47.36	75.84	6.27	277.48
33J56	94.64	43.91	70.29	6.36	278.88
DK2020	94.64	42.73	72.70	5.79	270.23
TIGRE	94.46	49.00	77.40	5.80	285.27
DK2022	94.27	41.46	76.01	5.99	274.88
31G66	94.00	59.36	65.43	5.82	289.54
30G88	93.36	45.82	70.79	5.81	277.68
30G57	92.73	48.00	68.11	5.73	292.07
30M16	92.46	42.27	62.52	5.72	258.77
P7573	91.36	49.00	72.14	6.25	272.15
30P45	91.09	50.82	65.58	6.06	268.86
AN447	89.55	53.73	74.38	5.91	281.16
30V46	88.82	30.36	66.80	5.87	273.18
\bar{X}	93.61	47.91	70.56	5.89	281.21
Tukey (DMS)	4.59	10.43	4.82	0.55	20.69

GERM = Germinación; PSP = Peso seco de plántula; HUM=contenido de humedad; PSS = peso de semillas.

En la comparación de medias, la germinación como ya se mencionó, esta dentro de los límites de calidad. Sin embargo, se presentan diferencias como es el caso de 30V46 (88.82 %) que se encuentra por debajo de la media general, en

cambio, 32T83 con un valor de 96.40 % está por encima de estos con una semilla de buena calidad (Cuadro 4.3).

En cuanto al vigor de la semilla se refiere, el genotipo con valor más alto fue el 32T83 con 60.60 %, como fue en el caso de germinación y el peso seco de semilla. Mientras que el genotipo 33T17 se encuentra con buen vigor ya que entra en el rango de la media general a diferencia de 30V46 que su vigor es el más bajo con valor de 30.36 % (Cuadro 4.3).

El peso seco de plántula también arrojo variaciones de consideración: 31G98 con valor de 79.34 mg es el más alto, 30G88 y 33J56 están alrededor de la media general con valores de 70.79 y 70.29 mg, respectivamente y 30G54 con valores por debajo de la media general (Cuadro 4.3).

En peso seco de semilla, una vez más el genotipo 32T83 con sus valores de 340.61mg son los más altos, por lo tanto, la semilla posee buena calidad (Cuadro 4.3), por el contrario los materiales 30G54, 30M16 se ubican como los más bajos en cuanto a calidad, ya que sus valores están por debajo de la media general y además son los más bajos en comparación con los demás.

Los agricultores usan las variedades locales y en ocasiones sus propias variedades o semilla procedente de variedades de polinización abierta y varios tipos de híbridos (FAO, 2005).

La calidad de la semilla de maíz depende más del genotipo de la variedad utilizada que de su tamaño (Pérez *et al.*, 2006). Además encontraron que para la calidad fisiológica en laboratorio, los pesos secos de la plántula y de raíz fueron los de mayor relevancia.

Análisis de correlación

El análisis de correlación fue realizado con promedios (Cuadro 4.4). Por lo tanto, los valores de los coeficientes son en general relativamente bajos debido a los efectos de los materiales genéticos, los ambientes de la interacción genotipo \times ambiente.

Cuadro 4.4. Coeficientes de correlación de variables de características de la calidad fisiológica.

	GERM	PSP	HUM	PSS
VIGOR	0.469 **	0.468 **	-0.236 *	0.328 **
GERM		0.355 **	-0.062	0.112
PSP			0.113	0.429 **
HUM				0.158

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; GERM= porcentaje de germinación; PSP= peso seco de plántula; HUM,=contenido de humedad; PSS= peso seco de semilla.

El porcentaje de germinación de la semilla está asociado positiva y significativamente con el peso seco de plántula y el vigor de la semilla. Por el contrario la germinación no muestra correlación alguna con el contenido de humedad de la semilla, esto indica que el contenido de humedad no tiene efecto alguno sobre la germinación (Cuadro 4.4). Igualmente se puede apreciar que el

vigor, el peso seco de plántula y el peso seco de semillas están asociados positivamente.

Pérez *et al.* (2007b) encontraron una correlación positiva entre las variables de vigor con el rendimiento de grano y el peso de la semilla. Estos mismos autores encontraron que las variables mejor correlacionadas con el vigor fueron velocidad de emergencia y el rendimiento de grano y el peso de 100 semillas.

Por su parte Duran (2008) menciona que diferentes variedades de maíz resultan ser genotípicamente diferentes entre sí, por lo que varía también su desempeño germinativo y de formación de plántulas.

La calidad de la semilla es un elemento de suma importancia para los productores, por tal motivo las pruebas de calidad física y fisiológica son primordiales para estimar eficacia.

En el análisis de la interacción Ambientes x Caracteres para calidad fisiológica de la semilla (Figura 4.1) donde las variables están indicadas por los vectores que parten del origen a los diferentes ejes.

El análisis de interacción está representado gráficamente (Figura 4.1), la cual se explica con dos componentes (64.3 % de la variación total de las variables originales).

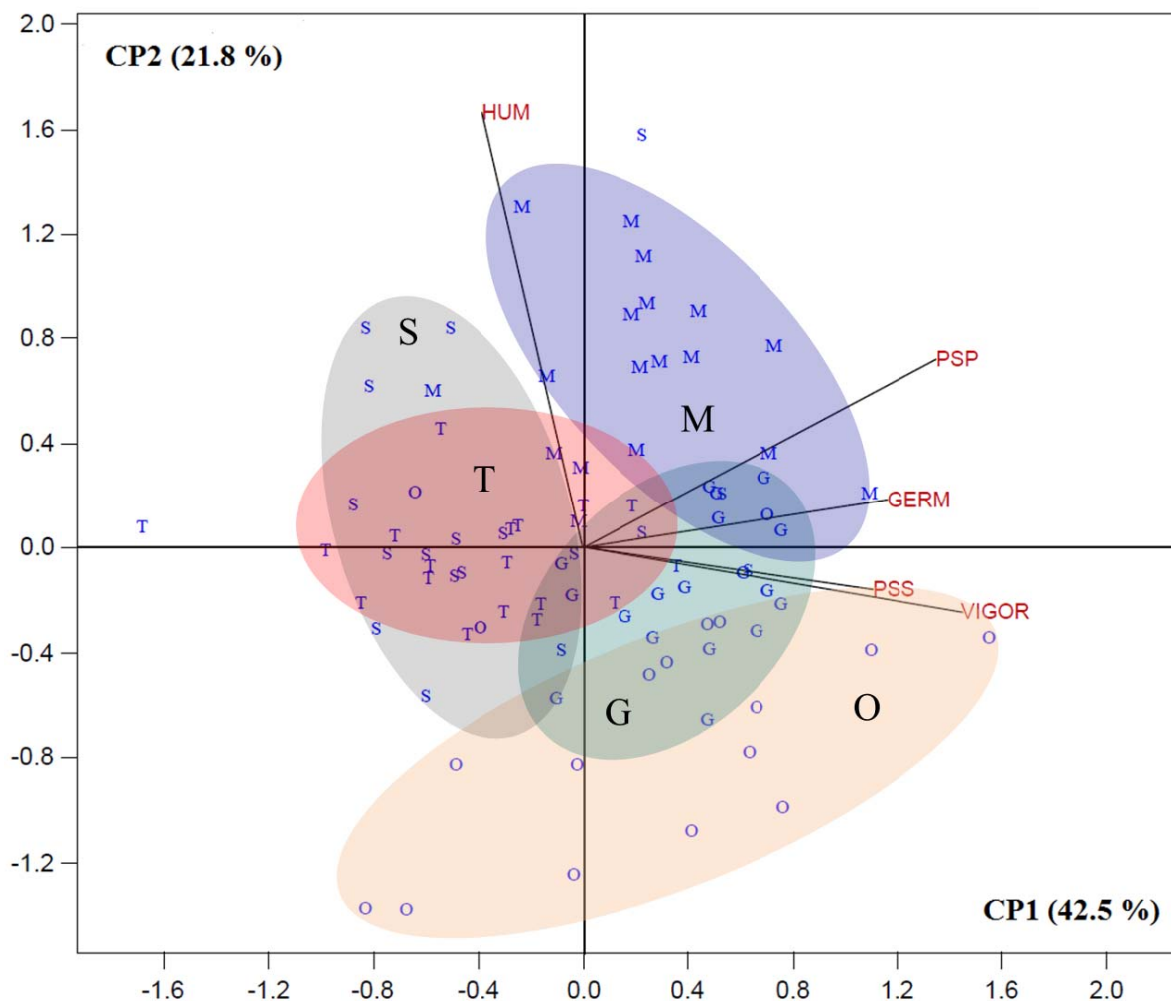


Figura 4.1. Dispersión de la interacción Ambientes × Caracteres en el análisis de calidad fisiológica de la semilla. Ambientes: O = Semilla original; M = El Mezquite, N. L.; S = Saltillo, Coah.; T = Tepalcingo, Mor.; G = General Cepeda, Coah. Caracteres: HUM = Contenido de humedad en la semilla; PSP = Peso seco de plántula; GERM = Porcentaje de germinación; PSS = Peso seco de semilla; VIGOR = Estimación de vigor (Primer conteo).

En la Figura 4.1 se nota la interacción de los ambientes así como las diferencias relativas entre ellos. De acuerdo a la dirección de los vectores (caracteres) a partir del origen, los caracteres vigor, peso seco de semilla, germinación y peso seco de plántula están positivamente correlacionadas ya que

están en la misma dirección y formando ángulos pequeños. Lo anterior coincide con el análisis de correlación (Cuadro 4.4) el cual incluyó el 100 % de la información de los caracteres.

En un estudio que realizó Macchi (2010) encontró asociación entre los caracteres de calidad fisiológica de la semilla, donde se presentó un ángulo formado entre los vectores de las variables menor de 30° a partir del origen.

La Figura 4.1 también puede usarse para la interpretación de la calidad fisiológica de la semilla. Los ambientes; semilla original, General Cepeda, Coah. y El Mezquite, Galeana N.L. muestran asociación positiva con los caracteres de calidad (dirección de los vectores); y en sentido contrario los ambientes de San Juan de la Vaquería y Tepalcingo Mor. Lo anterior coincide con los valores medios de los ambientes (Cuadro 4.2) principalmente en el vigor y peso seco de semilla. Por lo tanto, la determinación del vigor y el peso seco de la semilla son caracteres de importancia para explicar la diferencia en calidad de la semilla por efecto del ambiente de producción.

Por su parte Sánchez (2009) reporta que entre los atributos de calidad fisiológica, el vigor correlacionó positiva y significativamente ($P \leq 0.01$) con el peso seco de plántula; de la misma forma la germinación presentó correlación positiva y significativa ($P \leq 0.01$) con el peso seco de plántula.

V. CONCLUSIONES

La expresión de la calidad de la semilla depende de los genotipos y de la interacción con el ambiente de producción.

Los ambientes de producción tienen un efecto directo en la calidad fisiológica de la semilla de maíz.

VI. LITERATURA CITADA

- Casseres, E. 1981. Producción de hortalizas. 3 Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 387 p.
- COFUPRO (Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce A. C.). 2011. Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas. [En línea]. Disponible en: <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/> (Revisado: el 06 de mayo de 2011).
- Durán, H. D. 2008. Descripción fisiológica y molecular de semillas de maíz azul. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).2005. Principales productores de alimentos y productos agrícolas. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/es/ess/top/commodity.html>. (Revisado el 01 de julio de 2011).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).2011. FAOSTAT. Maíz en los Trópicos: mejoramiento y producción. [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm#toc>. (Revisado el 26 de julio de 2011).
- Giraldo G., M. Méndez, J. Franco. 2000. Manual para el manejo pre y poscosecha de semilla producida de manera artesanal bajo los modelos de pequeñas empresas de semilla (PES). Tegucigalpa, Honduras. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 59 p.
- Guerra F. y M. Osorio. 2002. Híbrido de Maíz HQ-61. Boletín técnico No 1. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). [En línea]. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/uploads/documentos/maiz.pdf>.
- Herrera J., R. Alizaga, E. Guevara y V. Jiménez. 2006. Germinación y crecimiento de la planta. Vol. 2. Editorial: Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 108 p.

- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 1995. Experiencias en el cultivo del maíz en el área Andina, Vol. III. Quito, Ecuador. 47 p.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2009. International Rules for Seed Testing. Edition 2009. The International Seed Testing Association (ISTA). Zürichstr.50 CH-8303 Bassersdorf, Switzerland. ISBN – 13 978-906549-53-8.
- IRRI (International Rice Research Institute). 2007. CropStat for Windows versión 7.2. Metro Manila, Philippines.
- Macchi L., G. 2010. Selección y mantenimiento de poblaciones como alternativa para la conservación *in situ* de la diversidad del maíz. Tesis de Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Miranda, C. M. 1981. Evaluation of an electrical conductivity method for rapidly estimating germination and assessing deterioration of soybean (*Glycine max* L Merr.) seed. Ph. D. Desertation. Mississippi State University. Mississippi, EUA. 96 p.
- Moreno M., E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. 3 Ed. Instituto de Biología. UNAM. México. D.F. 393 p.
- Ospina, M. J. 2002. Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Unidad de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Pagliano, D. 1999. Calidad genética y sanitaria. PROCISUR (Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Cono Sur). Montevideo, Uruguay. 91 p.
- Paliwal, R. L. 2001. Mejoramiento del maíz por selección recurrente. *In*: Paliwal, R. L., G. Granados, H. R. Lafitte, A. D. Violic (eds.). El maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción. F. A. O Roma, Italia. [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s15.htm>. (Revisado el 22 de junio de 2011).

- Pérez C., F., A. Carballo C., A. Santacruz V., A. Hernández L., J.C. Molina M. 2007a. Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura Técnica en México*. 33: 53-61.
- Pérez C., F., L. Córdova T., A. Santacruz V., F. Castillo G., E. Cárdenas S. y A. Delgado A. 2007b. Relación entre vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz chalqueño. *Agricultura Técnica en México*. 33: 5-16.
- Pérez M., C., A. Hernández L., F.V. González C., G. García S., A. Carballo C., T.R. Vásquez R., M.R. Tovar G. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica en México*. 32: 341-352.
- Rao K., J. Hanson, M.E. Dulloo, K. Ghosh, D. Novell y M. Laringe. 2007. Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. *Manuales para bancos de germoplasma N° 8*. Bioersity International, Roma, Italia. 165 p.
- SAGARPA–SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2011. Producción agrícola. [En línea]. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/index.php>. (Revisado el 04 de agosto de 2011).
- SAGARPA–SIAP. 2007. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012. (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). Labranza de conservación. [En línea]. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/>. (Revisado el 25 de julio de 2011).
- Sánchez P., B. E. 2009. Caracterización física y fisiológica de poblaciones criollas de maíz bajo dos sistemas de producción. Tesis de Maestría en Tecnología de Granos y Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Sánchez, H. 2004. Manual tecnológico del maíz amarillo duro y de buenas prácticas agrícolas en Huaura. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Lima, Perú. 139 p.

- Sandoval R., H. 2010. Calidad fisiológica de semilla de maíz y su relación con el ambiente de producción. Tesis de Licenciatura de Ing. Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Saravia A. y F. Enciso D. 1996. Guías para la formulación de los inventarios de cultivos anuales, cultivos perennes y de producción animal. Serie Publicaciones Misceláneas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 105 p.
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT[®] 9.1 User 'S Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.
- Virgen V., J. V. Arellano, J. L. Rojas, I. Ávila, M. A. Gutiérrez, F. Germán. 2010. Producción de semillas de cruza simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 33, Núm. 4. pp: 107-110.
- Wightman K., E., J. P. Cornelius, L. J. Ugarte. 2006. Manual sobre el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones maderables para productores de la Amazonía Peruana. World Agroforestry Centre (ICRAF). Lima, Perú.
- Yan W., and M. S. Kang. 2003. GGE Biplot analysis. A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press LLC, New York. 271p.