

201-49

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán



**EVALUACION DE LINEAS DE MAIZ (Zea mays L.)
POR SU COMPORTAMIENTO EN LA PRUEBA DE
ENVEJECIMIENTO ACELERADO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A :
EDUARDO RODRIGUEZ GUZMAN

Director de Tesis: Dr. Aquiles Carballo Carballo



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

	Pág.
INDICE DE CUADROS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Objetivo.....	4
1.2 Hipótesis.....	4
2. REVISION DE LITERATURA.....	6
2.1 Vigor.....	6
2.1.1 Factores que influyen sobre el vigor	7
2.1.1.1 Componente genético.....	7
2.1.1.2 Componente ambiental.....	7
2.1.1.2.1 Ambiente y nutri	
ción de las plan	
tas progenitoras	7
2.1.1.2.2 Estado de madurez	
al momento de la	
cosecha.....	8
2.1.1.2.3 Tamaño y densidad	
específica de la	
semilla.....	9
2.1.1.2.4 Integridad mecá-	
nica.....	10

2.1.1.2.5	Deterioro y envejecimiento de la semilla.....	11
2.1.1.2.6	Patógenos.....	12
2.1.2	Expresión del vigor.....	12
2.1.3	Aspectos del comportamiento de la planta y las semillas asociados con diferencias en vigor.....	13
2.2	Pruebas de vigor.....	14
2.2.1	Pruebas directas.....	14
2.2.2	Pruebas indirectas.....	15
2.3	Envejecimiento acelerado.....	16
3.	MATERIALES Y METODOS.....	28
3.1	Localización del experimento.....	28
3.2	Material genético.....	28
3.3	Diseño experimental.....	29
3.4	Aplicación de los tratamiento de envejecimiento acelerado.....	29
3.5	Manejo de las semillas después del tratamiento de envejecimiento acelerado.....	33
3.6	Obtención de datos.....	34
3.6.1	Índice de vigor o velocidad de germinación (IV).....	34
3.6.2	Porcentaje de germinación (%G).....	34
3.6.3	Calificación visual de vigor (CVV)..	35
3.6.4	Peso seco de la parte aérea (PSP)...	35
3.6.5	Peso seco de la raíz (PSR).....	35

	Pág.
3.6.6	Peso seco total de la plántula (PST) 36
3.7	Análisis estadístico..... 36
4.	RESULTADOS..... 40
4.1	Evaluación de las líneas bajo estudio en su condición inicial (semillas sin tratamiento de envejecimiento acelerado)..... 40
4.2	Análisis de varianza..... 42
4.3	Comparación de medias..... 42
4.3.1	Tiempo en el tratamiento de envejeci miento acelerado..... 42
4.3.2	Porcentaje de germinación inicial y después de los tratamientos de enve- jecimiento acelerado..... 44
4.3.3	Comparación de líneas..... 46
4.3.4	Interacción entre líneas por perio- dos de envejecimiento acelerado..... 48
4.3.4.1	Comparación entre líneas en cada período de envejecimien to acelerado..... 48
4.3.4.2	Comparación entre períodos de envejecimiento acelerado en cada línea..... 52
4.4	Correlación entre variables..... 54
5.	DISCUSION..... 57
6.	CONCLUSIONES..... 62
7.	BIBLIOGRAFIA..... 64

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1 Superficie cosechada, producción total y rendimiento de los principales cereales en México (1980).....	1
2 Resumen de los mejores regímenes de envejecimiento acelerado para evaluar la capacidad de almacenamiento de lotes de semilla y su correlación con respuestas de semillas en almacén abierto, en la Universidad Estatal de Mississippi.....	24
3 Líneas de maíz utilizadas en la investigación. Montecillos, Méx. 1985.....	28
4 Análisis de varianza para cada variable bajo estudio.....	37
5 Promedios en el porcentaje de germinación, índice de vigor, peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz y peso seco total de la plántula, en 26 líneas de maíz (sin tratamiento de envejecimiento acelerado). Marroquín, 1986.....	41
6 Cuadrados medios, significancia estadística y coeficientes de variación en el análisis de varianza de las características evaluadas. Montecillos, Méx. 1985.....	43

7	Medias de los tratamientos de envejecimiento acelerado, para los parámetros índice de vigor y peso seco de la parte aérea. Montecillos, Méx. 1985.....	44
8	Promedios del porcentaje de germinación para las 26 líneas de maíz: sin tratamientos y con tratamientos de 108 y 132 horas de envejecimiento acelerado.....	45
9	Comparación de las líneas bajo estudio por su comportamiento en las pruebas de vigor. Montecillos, Méx. 1985.....	47
10	Comportamiento de las líneas (L) en el período de 108 horas de envejecimiento acelerado (EA), para los parámetros en los que se presentó interacción de L x EA. (Índice de vigor y Calificación visual de vigor). Montecillos, Méx. 1985.....	49
11	Comportamiento de las líneas (L) en el período de 132 horas de envejecimiento acelerado (EA), para los parámetros en los que se presentó interacción de L x EA. (Índice de vigor y Calificación visual de vigor). Montecillos, Méx. 1985.....	50

12	Líneas que mostraron diferencias significativas entre los períodos de envejecimiento acelerado para los parámetros índice de vigor y calificación visual de vigor. Montecillos, Méx. 1985.....	54
13	Coefficientes de correlación lineal entre las variables medidas, en cada período de envejecimiento acelerado. Montecillos, Méx. 1985..	55

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Probable secuencia de los cambios en la semilla durante el deterioro (Delouche y Baskin, 1973).....	17
2	Esquema conceptual del mecanismo de la prueba de envejecimiento acelerado (Delouche y Baskin, 1973).....	19
3	Respuesta de lotes de trébol carmesí al envejecimiento acelerado, y al almacenamiento en bodega.....	23
4	Cámara interior de envejecimiento acelerado y soporte de malla de alambre.....	32
5	Sobres de papel perforados, empleados para someter las semillas a tratamiento.....	32
6	Atado de los sobres en forma de abanico....	33
7	Almácigo y forma en la que se colocó la semilla.....	33
8	Respuesta de las líneas de maíz a la duración del envejecimiento acelerado, en base al índice de vigor. Montecillos, Méx. 1985.	51

9	Respuesta de las líneas de maíz a la duración del envejecimiento acelerado, en base a la calificación visual de vigor. Montecillos, Méx. 1985.....	53
---	--	----

RESUMEN

El presente trabajo parte de la necesidad de conservar los granos y semillas bajo las diferentes condiciones ambientales existentes en el país, y de la propuesta de Delouche y Baskin (1973) de emplear la prueba de envejecimiento acelerado para predecir la capacidad de almacenamiento de lotes de semillas, estimando su vigor, que es considerado una característica de calidad.

Así pues, en este estudio se emplearon dos períodos de envejecimiento acelerado: 108 y 132 horas a 40°C, y 100% de humedad relativa y se estimó el vigor de 26 líneas de maíz en una siembra en almácigo, por medio del porcentaje de germinación, índice de vigor, calificación visual de vigor, peso seco de la parte aérea de la plántula, peso seco de la raíz de la plántula y peso seco total de la plántula.

Los resultados obtenidos permitieron concluir lo siguiente:

- La comparación entre los porcentajes de germinación iniciales, que fueron similares, con los obtenidos después de someter las semillas al envejecimiento acelerado, permitieron detectar diferencias de comportamiento entre las líneas sometidas a tratamiento.

- Se observaron diferencias entre los tratamientos de 108 y 132 horas de envejecimiento acelerado tanto para el índice de vigor como para el peso seco de la parte aérea de la plántula, produciendo el tratamiento de 132 horas mayor disminución en ambos parámetros.
- Para todos los parámetros que se midieron se presentaron diferencias altamente significativas entre las líneas de maíz sometidas al envejecimiento acelerado presentándose una expresión de vigor consistente en todos los parámetros resultando más vigorosas las líneas 1186-2 \otimes y 1294-1 \otimes .
- La interacción entre los tratamientos de envejecimiento acelerado y las líneas fue significativa para el índice de vigor y la calificación visual de vigor de tal forma que hay una disminución de vigor y se producen mayores diferencias entre las líneas cuando se incrementa la duración del tratamiento.
- El índice de vigor fue el caracter en el cual se observaron más los efectos del envejecimiento acelerado y a la vez fue el que presentó valores de correlación altos y significativos con el resto de los caracteres; por el contrario la calificación visual de vigor fue el caracter que menos diferencias presentó y sus correlaciones fueron bajas, aunque significativas, con el resto de los caracteres.

I. INTRODUCCION

La producción de granos a nivel mundial reviste gran importancia debido a que en la mayoría de los países estos son considerados básicos en la alimentación de los seres humanos; y aún cuando en algunos, principalmente los industrializados, su consumo de manera directa por el hombre no es elevado, constituyen parte de la alimentación del ganado y por lo tanto presentan un consumo indirecto en la dieta humana.

En México, los principales granos destinados al consumo humano son el maíz, frijol y trigo, y como se puede observar en el Cuadro 1, tan solo el maíz representó en 1980 el 39% de la superficie total cosechada, mientras que el frijol y trigo ocuparon respectivamente el 10 y 4%. Otro cultivo cerealero, de consumo animal en México, fue el sorgo que tuvo el 9% de la superficie total cosechada.

Cuadro 1. Superficie cosechada, producción total y rendimiento de los principales cereales en México (1980).

Cultivo	Superficie cosechada (ha)	Producción total (Ton)	Rendimiento promedio (Ton/ha)
Total	17 824 201		
Maíz	6 955 201	12 383 243	1.8
Frijol	1 763 347	971 359	0.6
Sorgo	1 578 629	4 812 427	3.0
Trigo	738 523	2 785 209	3.8

Fuente: Dirección General de Economía Agrícola (SARH).

Guarino (1983) menciona que en México del 40 al 70% de la producción total del maíz y frijol es cosechada por los agricultores para su autoconsumo, y su almacenamiento se realiza en bodegas rústicas, cilindros de malla, tambos, tapan-cos o habitaciones de la vivienda, lo que ocasiona pérdidas del 20 al 22% del total cosechado.

La investigación en estos cereales se ha enfocado primordialmente a la búsqueda y producción de variedades más rendidoras y resistentes a ciertos factores ambientales y bióticos (plagas o enfermedades); a la elaboración de paquetes de recomendaciones sobre manejo del cultivo (labores de preparación del suelo, labores de cultivo, fertilización, control de plagas y enfermedades, etc.); a la obtención de recomendaciones acerca de los cuidados en cosecha y manejo postcosecha (humedad del grano al momento de la cosecha, ajustes de la maquinaria para cosecha, desgrane, secado, encostado, transporte, etc.) y a la búsqueda de condiciones de almacenamiento más adecuadas para su conservación (temperaturas, humedad relativa del aire, estibado, prevención y control de plagas y enfermedades del almacén, etc.).

Haciendo referencia a este último punto, o sea al almacenamiento de los granos y semillas, Ramírez (1982) y Arias (1983) consideran que su conservación en el almacén depende de los siguientes factores:

1. La ecología de la región considerada
2. El tipo de almacén utilizado

3. Características del producto (tipo y condición del pro ducto).
4. Duración del almacenamiento
5. Presencia de agentes biológicos (insectos, hongos, roe- dores).

Así, encontramos que en México el problema del almacena miento (que como ya se mencionó antes ocasiona pérdidas de 20 a 22% de la cosecha en maíz y frijol), es de importancia debido a las condiciones ecológicas predominantes en la ma- yor parte del país, sobre todo en las regiones tropicales donde prevalecen condiciones de elevada temperatura y altos porcentajes de humedad relativa que favorecen el desarrollo de insectos, hongos y roedores que dañan a las semillas en el almacén (Ramírez, 1982). Además, por ser la semilla la unidad biológica de reproducción de los vegetales, y encon trarse en reposo, realiza funciones de respiración que con el incremento de la temperatura y la humedad relativa se es timula, y provoca incluso la germinación y el desprendimien- to de calor acortando la vida del embrión, y la pérdida pro gresiva de vigor (Tijerina y Paredes, 1983).

Por lo anterior, es necesario incluir dentro de los pro- gramas de mejoramiento genético de los cereales una selec- ción de materiales que muestren mayor resistencia a los fac tores bióticos y abióticos que aceleran el proceso de deter- ioro de los granos y semillas durante el almacenamiento.

Un método propuesto por Delouche y Baskin (1973), Desai (1978) y otros, para estimar la capacidad de almacenamiento de un lote de semillas y que además se emplea como prueba de vigor, es el de envejecimiento acelerado, en el cual se producen altas temperaturas y humedad relativa elevada en un período de tiempo corto (de días a semanas) con la finalidad de aplicar condiciones de tensión a la semilla y producir de esta manera su deterioro de manera más rápida.

Entre las principales pruebas fisiológicas de la semilla y la plántula, que se aplican después de someter la semilla al envejecimiento acelerado, se encuentran el porcentaje de germinación y la velocidad de emergencia de las plántulas.

1.1 Objetivo

Considerando lo anterior, el objetivo propuesto para la presente investigación fue el siguiente:

Determinar diferencias en vigor entre líneas de maíz, después de someterlas a la prueba de envejecimiento acelerado, con el fin de estimar la utilidad de esta prueba para seleccionar materiales genéticos resistentes a los factores ambientales que provocan el deterioro de la semilla y poder predecir su capacidad de almacenamiento.

1.2 Hipótesis

Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

1. Existe diferente respuesta entre líneas de maíz, al

tratamiento de envejecimiento acelerado, debido a diferencias genéticas.

2. La expresión del vigor de la semilla es afectada por la duración del período de envejecimiento acelerado.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Vigor

Isely (citado por Heydecker, 1972) menciona que en la mayoría de los conceptos de vigor intervienen dos ideas principales:

1. La rapidez de crecimiento, y
2. La resistencia a condiciones desfavorables de crecimiento.

La definición de vigor adoptada por la International Seed Testing Association (I.S.T.A.) es la siguiente:

"El vigor es la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o lote de semillas durante la germinación y emergencia de plántula. Semillas que se comportan peormente son llamadas de poco vigor"

(Perry 1978, 1981).

El vigor puede ser visto como la habilidad de una plántula para establecerse bien y prosperar bajo condiciones de tensión, y está estrechamente relacionado con la productividad en el sentido que de semillas muy vigorosas se esperan mejores establecimientos, rápidamente y con alta producción (Filgueiras, 1981).

2.1.1. Factores que influyen sobre el vigor

Los factores que se considera influyen sobre el vigor de la semilla se pueden dividir en un componente genético que controla las diferencias en comportamiento, y el resto de los factores que modifican su expresión y que constituyen el componente ambiental (Filgueiras, 1981; Perry, 1981).

2.1.1.1 Componente genético. La constitución genética de la semilla determina el vigor de la plántula, encontrándose diferencias en vigor entre especies, variedades e incluso dentro de una misma variedad. Estas diferencias se pueden observar por ejemplo entre poliploides y plántulas de híbridos que son relativamente más vigorosas que las diploides y las plántulas de autofecundaciones.

Por ejemplo, en líneas autofecundadas de maíz con similar tamaño de semilla, se expresaron considerables diferencias en vigor (Copeland, 1976).

2.1.1.2 Componente ambiental. Los factores ambientales que modifican la expresión del vigor, mencionados por Copeland, 1976; Filgueiras, 1981; Heydecker, 1972; Maguire, 1977; Perry, 1980 y 1981, son los siguientes:

2.1.1.2.1 Ambiente y nutrición de las plantas progenitoras. Las condiciones ambientales presentes durante el desarrollo y crecimiento de las plantas progenitoras y durante la formación de las semillas, afectan tanto el vigor expresado

por la semilla en su comportamiento en almacén y siembra, como la emergencia en campo de la plántula. Como menciona Filgueiras (1981), el manejo y las condiciones ambientales influyen en el desarrollo del cultivo, satisfaciendo o no los requerimientos de la planta. Se ha observado, por ejemplo, que en pastos y leguminosas ocurren retrasos en el desarrollo del embrión a temperaturas por encima o por debajo de los 16°C, óptimos para su desarrollo; en algodón, temperaturas mayores y menor cantidad de lluvias se asocian con menor vigor de la plántula y una menor producción; en soya, temperaturas altas durante los últimos 45 días del desarrollo de la semilla, se han asociado con peor vigor de plántula en la progenie, permaneciendo esta condición a través del período de crecimiento y resultando en menor producción. En su estudio sobre fertilidad y vigor de plántula se mostró una influencia definida de la fertilización proporcionada a la planta progenitora, sobre el posterior vigor de plántula, así parece ser que la disponibilidad de nitrógeno y fósforo puede influir, pero sus efectos varían entre especies y dependen del estado de crecimiento de la planta y las condiciones ambientales prevalecientes; además es probable que los nutrientes inorgánicos que se encuentran almacenados en la semilla, proporcionen valiosas reservas durante los estados primarios del crecimiento y desarrollo que pueden ser especialmente críticos para el establecimiento de plántulas en suelos bajos en contenido de nutrientes (Copeland, 1976).

2.1.1.2.2 Estado de madurez al momento de la cosecha. Conforme

una semilla madura, aumenta su capacidad para una germinación más rápida y vigorosa. Por lo tanto, las semillas que se encuentran completamente maduras presentan la ventaja de tener un desarrollo físico y fisiológico completo, necesario para una máxima expresión de vigor (Copeland, 1976). Desde el momento en que se presenta la completa maduración hasta la siembra sólo ocurren cambios degenerativos (Filgueiras, 1981).

Generalmente la madurez fisiológica es el momento con máximo peso seco que alcanzan las semillas y debido a ello el contenido de humedad de la semilla se emplea frecuentemente como índice de madurez. Por ejemplo en arroz cosechado a 13 niveles diferentes de contenido de humedad (de 13 a 43%) se incrementó la emergencia cuando la semilla se cosechó 20% de humedad, y la resistencia de las plántulas a *Achlya klebsiana*, Pieters, fue óptima cuando se cosechó la semilla a 13% de humedad (Copeland, 1976).

Ahora bien, el problema de cuándo cosechar un cultivo, en orden a obtener un máximo vigor, puede ser puramente conceptual y práctico, ya que las parcelas para producir semillas presentan plantas con semillas en diferentes estados de madurez, y cosechar demasiado pronto o demasiado tarde ocasiona la obtención de poco vigor y menor capacidad de producir (Filgueiras, 1981).

2.1.1.2.3 Tamaño y densidad específica de la semilla. Generalmente semillas más grandes dan plantas más vigorosas y mejores producciones, particularmente cuando es igual el número de semillas por unidad de área sembrada (Brammer et al.,

1963; Filgueiras, 1981). En maíz dulce por ejemplo, se observó que las semillas grandes y pequeñas germinaron a la misma velocidad, pero las plantas de semilla grande alcanzaron su madurez 5 días antes que las plantas de semilla pequeña, por lo tanto se sugirió que graduar la semilla por tamaño es útil para obtener mayor uniformidad de mazorca para envasar (Copeland, 1976). Scotti y Godoy (1978) por su parte, encontraron que las semillas grandes de maíz son más vigorosas que las semillas pequeñas.

También se han presentado resultados contrarios como los mencionados por Kicks *et al.*, que concluyeron que no tiene justificación graduar la semilla, ya que los datos de producción de maíz promediados por año, localidad y variedad empleada no revelan efecto en el tamaño de la semilla; Dhillon (citado por Filgueiras, 1981) concluyó que no se justifica graduar la semilla de soya para usar semilla grande con la idea de obtener mejores plantas y una producción mayor.

En cuanto a la densidad de la semilla, esta tiene una fuerte influencia sobre la velocidad de germinación y puede estar estrechamente relacionada de una manera positiva con el vigor de la plántula y el comportamiento de la planta (Copeland, 1976).

2.1.1.2.4 Integridad mecánica. La cosecha defectuosa, la limpieza, el encostado y transporte, y en general el manejo de la semilla, provocan fracturas y cuarteaduras en la misma,

produciendo en ocasiones zonas necróticas que pueden ser desarrolladas por mecanismos fisiológicos o por actividad microbiana. El daño mecánico produce anormalidades en la germinación y menor vigor debido al deterioro fisiológico o al impacto físico; este daño puede ser minimizado cosechando a niveles de humedad seguros y ajustando el equipo de trillado a través del día como respuesta a los cambios en la humedad relativa y en el contenido de humedad de la semilla (Copeland, 1976).

2.1.1.2.5 Deterioro y envejecimiento de la semilla. El deterioro de la semilla se refiere a cualquier cambio degenerativo irreversible después de que ésta ha alcanzado su máximo nivel de calidad (Abdul-Baki y Anderson, 1972). Conforme envejece la semilla disminuye su vigor (Copeland, 1976). Entre las manifestaciones fisiológicas de deterioro se pueden mencionar los cambios en el color de la semilla, retraso en la germinación, disminución de su capacidad de tolerancia a las condiciones adversas durante la germinación, reducido crecimiento de la plántula, reducción en la capacidad de germinación, aumento del número de plántulas anormales, y aumento de la susceptibilidad a invasión por hongos (Abdul-Baki y Anderson, 1972).

Con los procesos de deterioro la capacidad de almacenamiento y la producción se ven afectadas, y un deterioro severo resulta en una mala germinación y deficiente establecimiento de plantas, aún en condiciones favorables (Copeland, 1976).

2.1.1.2.6 Patógenos. La presencia de bacterias, hongos y virus que se acumulan en la superficie de la semilla o dentro de ella pueden hacer peligrar su conservación, aún en condiciones apropiadas de almacenamiento o en condiciones adecuadas en el campo, provocando la invasión y agrandamiento de las zonas necróticas o competencia por el oxígeno, llegando a afectar la germinación, el vigor, la emergencia de plántulas e incluso la producción; representando además un peligro potencial por la posibilidad de que se extienda la enfermedad a la siguiente generación y a nuevas áreas de cultivo (Copeland, 1976; Filgueiras, 1981).

El crecimiento de los microorganismos puede ser propiciado por sustancias lixiviadas de la semilla al germinar, como ocurre en la pudrición del cuello del frijol que puede ser debida a un estímulo del crecimiento de *Pythium* y *Rhizoctonia*, por nutrientes lixiviados de la semilla (Copeland, 1976).

2.1.2 Expresión del vigor

De acuerdo con Heydecker (1972) el vigor de la semilla se puede expresar de manera amplia en las cuatro formas siguientes:

1. Por sobrevivir intacta en estado inactivo (una semilla vigorosa es aquella que permanece en esta condición en el estado inactivo previo a la germinación);
2. Por sobrevivir a la siembra en campo (una semilla

vigorosa resiste los ataques);

3. Por su habilidad para establecer una planta (una semilla vigorosa tiene abundancia de todas las reservas necesarias y las usa durante las fases heterotróficas y de transición del crecimiento);
4. Por su habilidad para crecer bien (una semilla vigorosa resulta en una planta que crece vigorosa durante la fase autotrófica del crecimiento).

2.1.3 Aspectos del comportamiento de la planta y las semillas asociados con diferencias en vigor.

Algunos aspectos del comportamiento de la planta y de las semillas, que de acuerdo con Copeland (1976) y Perry (1981) se han reportado asociados con diferencias en vigor de las semillas son:

1. Procesos bioquímicos y reacciones durante la germinación, tales como reacciones de enzimas y actividad respiratoria.
2. Velocidad y uniformidad de la germinación de la semilla y el crecimiento de la plántula.
3. Velocidad y uniformidad de la emergencia de la plántula y del crecimiento en el campo.
4. Habilidad de emergencia de plántula bajo condiciones ambientales desfavorables.

5. Desarrollo morfológico normal de las plántulas.
6. Producción.
7. Capacidad adecuada de almacenamiento bajo condiciones óptimas y adversas.

2.2 Pruebas de vigor

En una prueba de vigor se espera que los resultados obtenidos estén más estrechamente relacionados con el comportamiento en campo bajo ciertas condiciones, que los resultados de la prueba de germinación (Perry, 1981).

Las pruebas de vigor se emplean para identificar el probable comportamiento comparativo de lotes de semilla en condiciones que pueden ser o no óptimas, e identificar aquellos lotes con máximos niveles de tolerancia y adaptabilidad al ambiente, y además se usan para identificar lotes que producen plántulas robustas y largas (Perry, 1981).

Perry (1981) divide las pruebas de vigor en pruebas directas y pruebas indirectas.

2.2.1 Pruebas directas

Son aquellas pruebas en las cuales los factores de tensión que se espera reduzcan la emergencia en campo se imponen bajo condiciones controladas en el laboratorio. Un solo factor de tensión, por ejemplo: el contenido de humedad, la temperatura o poco oxígeno puede ser aplicado en una prueba de germinación in vitro.

Ejemplos de este tipo de pruebas son: las de frío en semillas de maíz, en la cual las semillas son sujetas a bajas temperaturas en un suelo recolectado en campo conteniendo patógenos capaces de explotar cualquier daño presente o inducido en la semilla; otra prueba es la llamada de Hilner, en la cual con arena esterilizada se impone un impedimento mecánico a la emergencia de las plántulas.

Las pruebas directas, principalmente las que involucran suelos de campo, son difíciles de estandarizar entre estaciones experimentales y tienden a dar resultados más variables que las pruebas de germinación (Perry, 1981).

2.2.2 Pruebas indirectas

Son aquellas pruebas en las cuales una característica de la semilla medida en el laboratorio, se relaciona con el comportamiento en el campo. Entre estas pruebas se encuentran las siguientes:

- Velocidad de crecimiento de plántulas, medida durante un período específico;
- Velocidad de germinación;
- Medición de la conductividad; donde la cantidad de electrolitos lixiviados en agua durante un remojo de 24 horas, se correlaciona con la emergencia;
- Prueba de tetrazolio, en la cual las semillas se sumergen en cloruro de tetrazolio, revelando la presencia de tejido muerto cuya localización y extensión está relacionada con el valor de siembra.

2.3 Envejecimiento acelerado

Esta prueba de vigor se considera dentro del tipo de pruebas indirectas, y en ella las tensiones de un almacenamiento prolongado se concentran en un plazo corto, de unos días a unas pocas semanas (Baskin, 1981; Likhachev *et al.* 1985; Thomson, 1977). Estas condiciones de tensión se logran sometiendo las semillas a temperaturas altas y humedades relativas elevadas. Generalmente se han empleado las siguientes condiciones de acuerdo a la especie estudiada (Copeland, 1976; Delouche y Baskin, 1973):

- a) Temperaturas entre 40 a 45°C y 100% de humedad relativa durante períodos de 2 a 9 días;
- b) Temperatura de 30°C y 75% de humedad relativa por períodos de 2 a 9 semanas.

Sometiendo las semillas a estas condiciones se ha logrado promover un deterioro más rápido en ellas; deterioro que sigue una secuencia similar a la que se presenta naturalmente durante el almacenamiento de las semillas. La secuencia de este deterioro se observa en la Figura 1.

En base a esto, se ha empleado la prueba de envejecimiento acelerado, para estudiar los procesos de deterioro ocurridos en la semilla, evaluar su vigor y calidad, y predecir su longevidad y capacidad de almacenamiento.

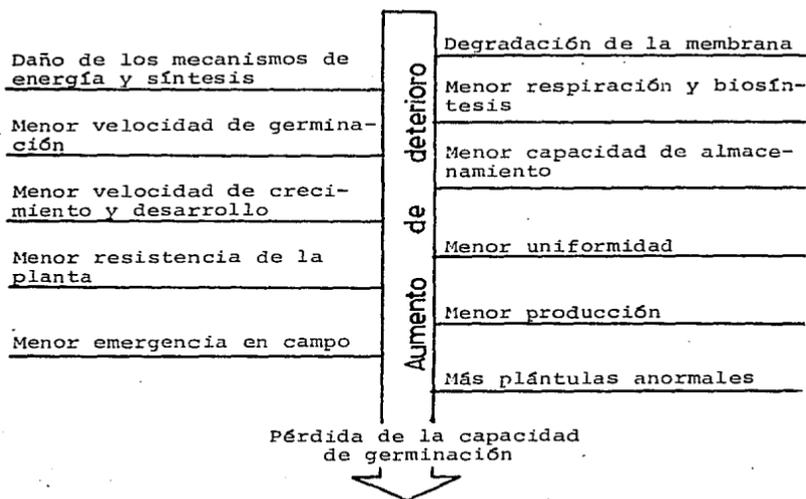


Fig. 1. Probable secuencia de los cambios en la semilla durante el deterioro (Delouche y Baskin, 1973).

Delouche y Baskin (1973) propusieron un esquema conceptual del mecanismo de la prueba de envejecimiento acelerado (Figura 2). En este esquema se consideran cuatro lotes de semilla con diferente historia de pre-almacenamiento y diferente nivel de deterioro antes de aplicárseles la prueba. La magnitud de deterioro antes de la prueba, en los lotes A y D es pequeño mientras que en los lotes B y C es mayor; en cuanto al porcentaje de germinación, los lotes A, B y C presentan valores más altos y casi iguales mientras que en el lote D el porcentaje es menor. El rango de deterioro antes y después del envejecimiento acelerado se representa por

barras; esto obedece a que dentro de un mismo lote se presentan diferencias en el nivel de deterioro.

El nivel de deterioro alcanzado se representa por el eje vertical, partiendo desde cero hasta cien por ciento; en tanto que en eje horizontal se indica el nivel al cual se afecta la germinación de las semillas.

El porcentaje de germinación de los lotes considerados en el esquema, después del envejecimiento acelerado se presenta como sigue:

- En el lote A no se afecta, permaneciendo igual;
- En el lote B se reduce poco;
- En el lote C se reduce sustancialmente;
- En el lote D ya no se presenta germinación

En resumen, lo que este esquema representa son las diferentes susceptibilidades o tolerancias que presentan los lotes de semilla a las condiciones de la prueba de envejecimiento acelerado. Los lotes más sensibles y por lo tanto más difíciles de conservar pueden incluso perder totalmente su capacidad de germinar.

Algunos investigadores, encontraron que el porcentaje de germinación después de la prueba de envejecimiento acelerado se correlaciona positiva y significativamente con la emergencia de las plántulas en el campo, bajo condiciones ambientales adversas a la siembra.

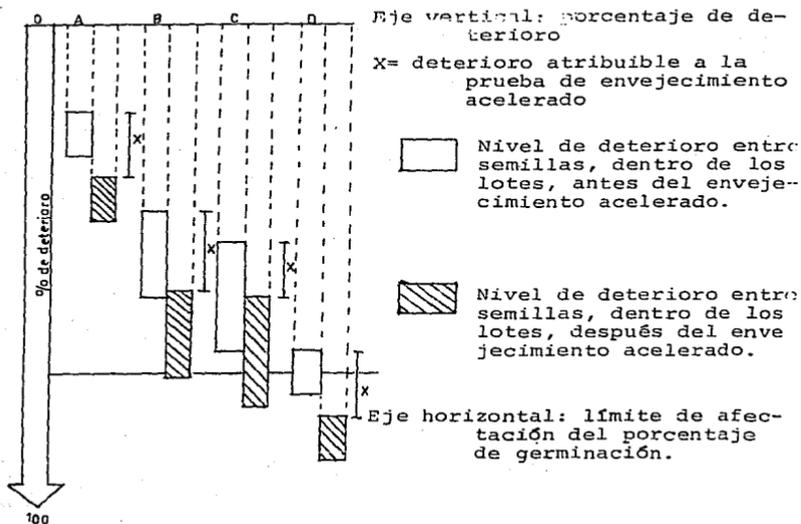


Fig. 2. Esquema conceptual del mecanismo de la prueba de envejecimiento acelerado (Delouche y Baskin, 1973).

Wolf *et al.* (1974) al trabajar con semillas de soya ob tuvieron una correlación significativa entre el envejecimiento acelerado y la emergencia en campo bajo condiciones ambientales adversas.

Bishnoi y Delouche (1980) al estudiar las relaciones entre pruebas de vigor y lotes de semilla, con el establecimiento de plántula encontraron que la prueba de envejecimiento acelerado se correlacionó significativamente con el

porcentaje de emergencia 4 días después de la siembra (0.999), con el porcentaje de emergencia 10 días después de la siembra (0.998) y con el porcentaje final de emergencia (0.998).

Suryatmana *et al.* (1980) compararon índices de vigor (germinación estándar, tetrazolium, envejecimiento acelerado, y conductividad de lixiviados) en semillas de frijol navy, y encontraron que bajo condiciones desfavorables de siembra el envejecimiento acelerado proporcionó la mejor predicción de emergencia en campo.

Kulik y Schoen (1982) encontraron en semillas de maíz dulce una correlación significativa entre conteo de plántulas normales y conteo de plántulas totales en la prueba de envejecimiento acelerado, con la emergencia en campo en 11 de los 14 sitios experimentales empleados para la siembra.

Anfinrud y Schneiter (1984), en semillas de girasol observaron que el porcentaje de germinación después del envejecimiento acelerado correlacionó significativamente con el porcentaje de emergencia de plántulas, al quinto día después de la siembra.

Scotti y Godoy (1978) evaluaron el vigor de cuatro cultivares de maíz (Ag-152, Hmd 7974, Centralmex y Cateto). Los resultados mostraron que el cultivar Cateto fue el más vigoroso; Hmd 7974 el menos vigoroso; y Centralmex y Ag-152 intermedios en vigor. Cateto no fue afectado por los tratamientos de envejecimiento acelerado, y el resto sólo resultó

afectado por un tratamiento de 120 horas a 40°C y 100% de humedad relativa.

Bourland e Ibrahim (1982) al estudiar la resistencia al deterioro de seis cultivares de algodón (TX ORMAR S-2, CAMD-E, DES-56, Delcot 277 J, Deltapine 61 y Stonville 213) encontraron respuestas diferenciales y más evidentes a altos niveles de envejecimiento acelerado, indicando diferentes grados de resistencia al deterioro entre los cultivares.

Clark (1982) al evaluar la calidad de semillas de "Crested dogstail" en relación a la capacidad de almacenamiento, observó que una temperatura de 42°C dió los resultados más satisfactorios, y el tratamiento de envejecimiento acelerado permitió clasificar en tres grupos los lotes de semillas, de acuerdo a su respuesta en germinación después del tratamiento.

Urberti (1982) con el fin de verificar la viabilidad del empleo de la prueba de envejecimiento acelerado en semillas de *Panicum maximum* Jacq. e intentar establecer las condiciones de prueba para determinar el vigor de los lotes de semilla, experimentó con lotes que presentaron valores iniciales de germinación estadísticamente semejantes. Los resultados mostraron que todos los períodos de envejecimiento acelerado (12, 24, 36, y 48 horas) detectaron diferencias en vigor. El período de 36 horas a 43°C y 100% de humedad relativa fue el recomendado para detectar con confianza diferencias en vigor entre muestras de semillas.

Anfinrud y Schneiter (1984) al comparar la relación entre comportamiento en campo y evaluación de vigor de la semilla en laboratorio, encontraron diferencias significativas en peso seco y porcentaje de germinación entre lotes de semilla envejecidos artificialmente, presentándose la prueba de envejecimiento acelerado como una prueba útil para evaluar el vigor de la semilla de girasol.

Bettac y Matthies (1985) estudiaron la validez de la prueba de envejecimiento acelerado como un método para evaluar el vigor de la semilla; para ello emplearon semilla de *Secale cereale* L. con diferencias en vigor. La prueba reveló diferencias significativas en vigor y dió información más relevante que la prueba de germinación.

Delouche y Baskin (1973) propusieron el uso de la prueba de envejecimiento acelerado para poder predecir la capacidad de almacenamiento de lotes de semilla, y consideraron que aquellos lotes que mantienen bien su germinación después de la prueba son capaces de almacenarse por más tiempo conservando su vigor, mientras que lotes que son reducidos en su germinación de manera considerable son peores para almacenarse. En el Cuadro 2 se muestran los mejores regímenes de envejecimiento acelerado para evaluar la capacidad de almacenamiento de lotes de semilla y su correlación con reservas en almacenamiento abierto.

Delouche y Baskin (1973) mostraron gráficamente la posibilidad de predecir la capacidad de almacenamiento en dos

lotes de semilla de trébol carmesí (Figura 3); como respuesta de los lotes al envejecimiento acelerado; el lote A no declina su germinación sino hasta el sexto día de tratamiento, mientras que el lote B comienza a declinar rápidamente a partir del segundo día de tratamiento; de lo cual predijeron que el lote A se almacenaba bien y que el lote B declinaba rápidamente en el almacén. Al observar los resultados obtenidos en la segunda gráfica al almacenar las semillas en una bodega en el Colegio Estatal de Mississippi, el comportamiento seguido por ambos lotes confirmó la predicción.

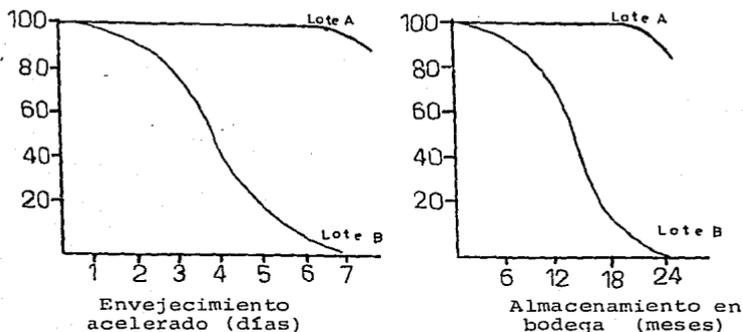


Fig. 3. Respuesta de lotes de trébol carmesí al envejecimiento acelerado, y al almacenamiento en bodega.

Wolf et al. (1974), al trabajar con 46 lotes de semilla de soya para identificar diferentes niveles de calidad, encontraron que la prueba de envejecimiento acelerado es útil

Cuadro 2. Resumen de los mejores regímenes de envejecimiento acelerado para evaluar la capacidad de almacenamiento de lotes de semilla y su correlación con respuestas de semillas en almacén abierto en la Universidad Estatal de Mississippi.

Cultivo/Régimen de envejecimiento acelerado	% de germinación en almacenamiento abierto en la Universidad Estatal de Mississippi (meses)								
	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Alfalfa									
42°C-100% h.r.-84 horas	.635**	.756	.755	.736	.597	.579	.541	.578	.495
30°C- 75% h.r.- 6 semanas	.659	.751	.692	.825	.641	.557	.612	.554	.469
Maíz									
42°C-100% h.r.-84 horas	.795	.839	--	--	--	--	--	--	--
30°C- 75% h.r.- 6 semanas	.978	.966	--	--	--	--	--	--	--
Trébol carmesí									
40°C-100% h.r.-72 horas	.851	.864	.961	.961	.953	--	--	--	--
30°C- 75% h.r.- 9 semanas	.893	.900	.946	.956	.941	--	--	--	--
Lechuga									
40°C-100% h.r.-72 horas	--	.695	.716	--	--	--	--	--	--
30°C- 75% h.r.-15 semanas	.701	.849	.880	--	--	--	--	--	--
Cebolla									
40°C-100% h.r.-120 horas	--	--	.861	--	.877	--	.908	--	--
30°C- 75% h.r.- 4 semanas	--	--	.931	--	.900	--	.882	--	--
Sorgo									
45°C-100% h.r.-72 horas	--	--	.917	.928	.959	.921	.875	--	--
30°C- 75% h.r.-12 semanas	--	--	.939	.960	.967	.931	.912	--	--
Soya									
40°C-100% h.r.-42 horas	.826	.885	.717	--	--	--	--	--	--
30°C- 75% h.r.- 9 semanas	.859	.736	.939	.811	--	--	--	--	--

h.r. = Humedad relativa

Los periodos de almacenamiento para cebolla representan semanas en lugar de meses.

** Todos los coeficientes de correlación son significativos al 1% de probabilidad.

para predecir la capacidad de almacenamiento.

Lago y Baskin (1975) usaron como índices de vigor, en 20 lotes de semilla de algodón: la prueba de germinación, conteo de germinación al quinto día después de la siembra, prueba de tetrazolio y envejecimiento acelerado, y compararon las respuestas de estas pruebas con las respuestas de germinación después de varios intervalos de almacenamiento abierto. Encontraron que el envejecimiento acelerado a 42°C y 100% de humedad relativa por 96 horas fue la prueba más exacta para predecir la capacidad de almacenamiento de la mayoría de los intervalos de almacenamiento abierto, presentándose los siguientes coeficientes de correlación: con 3 meses de almacenamiento (0.697), con 5 meses de almacenamiento (0.687), con 9 meses de almacenamiento (0.638), y con 11 meses de almacenamiento (0.696).

Vieira y Baskin (1975) usaron como índices de vigor en 20 lotes de semilla de soya, la prueba de germinación, germinación al primer conteo, prueba de tetrazolio, determinación del daño mecánico y envejecimiento acelerado; compararon los resultados de estas pruebas con las respuestas de germinación después de diferentes períodos de almacenamiento, y encontraron que el envejecimiento acelerado fue la prueba más útil para predecir la capacidad de almacenamiento a todos los intervalos de almacenamiento probados.

Desai (1978), al estudiar el uso del envejecimiento acelerado para predecir la capacidad de almacenamiento, encontró

que lotes de semilla que mantienen bien su germinación después del envejecimiento acelerado también mantienen su germinación bajo condiciones normales de almacenamiento, y en los lotes en que el porcentaje de germinación fue severamente reducido por el tratamiento, el porcentaje de germinación también disminuyó rápidamente durante el almacenamiento.

Krzyanowski *et al.* (1982) emplearon la prueba de envejecimiento acelerado en la evaluación de semillas de frijol de 5 cultivares (Goiano, Precoce, Rosinha Precoce, Bico de Ouro, Carioca y Rico 23) y encontraron que esta prueba fue eficiente para evaluar los niveles de vigor de los lotes y sus variaciones a través del período de almacenamiento. Un período de 72 horas a 42°C y 100% de humedad relativa diferenció niveles de vigor de lotes almacenados bajo condiciones no controladas de temperatura y humedad, y un período de 96 horas en las mismas condiciones de prueba permitió diferenciar lotes almacenados bajo condiciones controladas de temperatura y humedad (23°C y 35% de humedad relativa en el almacén).

Usberti (1982) analizó las relaciones entre la prueba de envejecimiento acelerado y el potencial de almacenamiento en 20 lotes de semilla de cacahuate variedad Tatu. Para ello almacenó semillas bajo condiciones ambientales no controladas y a cada lote le determinó el contenido de humedad, vigor y germinación cada 2 meses. La prueba de envejecimiento acelerado a 43°C y 100% de humedad relativa por 48, 72, 96, 120 y 144 horas detectó diferencias en vigor y predijo

la capacidad de almacenamiento, encontrando además las siguientes correlaciones entre períodos de envejecimiento acelerado y períodos de almacenamiento: 48 horas de envejecimiento acelerado con 2 meses de almacenamiento (0.637); 48 horas de envejecimiento acelerado con 10 meses de almacenamiento (0.731); 72 horas de envejecimiento acelerado con 12 meses de almacenamiento (0.571); 120 horas de envejecimiento acelerado con 4 meses de almacenamiento (0.554); 144 horas con 6 meses de almacenamiento (0.562), con 8 meses de almacenamiento (0.621), y con 14 meses de almacenamiento (0.608).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento.

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de la Sección de Producción de Semillas, en el Centro de Genética del Colegio de Postgraduados, en Montecillos, Texcoco, México.

3.2 Material genético

El material genético empleado en la investigación consistió de 26 líneas S_1 de maíz (Cuadro 3) provenientes de la variedad VS 22 SMC 1, obtenidas durante 1984 en el campo experimental de Montecillos.

Cuadro 3. Líneas de maíz utilizadas en la investigación. Montecillos, Méx. 1985.

No.	Línea	No.	Línea	No.	Línea
1	1186-2 ☒	10	1291-1 ☒	19	1317-3 ☒
2	1187-1 ☒	11	1293-1 ☒	20	1320-1 ☒
3	1212-1 ☒	12	1294-1 ☒	21	1341-1 ☒
4	1253-1 ☒	13	1294-3 ☒	22	1350-2 ☒
5	1277-1 ☒	14	1301-2 ☒	23	1352-1 ☒
6	1280-1 ☒	15	1302-1 ☒	24	1356-1 ☒
7	1285-1 ☒	16	1303-1 ☒	25	1357-1 ☒
8	1286-1 ☒	17	1304-1 ☒	26	1383-1 ☒
9	1290-1 ☒	18	1317-1 ☒		

3.3 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un arreglo en parcelas divididas y distribución en bloques al azar, con cuatro repeticiones.

Las parcelas grandes estuvieron constituidas por los tratamientos de envejecimiento acelerado, que fueron los siguientes:

1. 40°C y 100% de humedad relativa durante 108 horas
2. 40°C y 100% de humedad relativa durante 132 horas

Las parcelas chicas estuvieron constituidas por las 26 líneas de maíz indicadas en el Cuadro 3.

En la preparación del material genético para las unidades experimentales se tomaron dos muestras de 80 semillas de cada línea; cada una de las cuales se destinó a un tratamiento (tiempo) de envejecimiento acelerado, y se dividió en 4 submuestras de 20 semillas representando cada submuestra una repetición del tratamiento respectivo; por lo tanto, cada unidad experimental estuvo constituida por 20 semillas.

3.4 Aplicación de los tratamientos de envejecimiento acelerado

Los tratamientos de envejecimiento acelerado se aplicaron de la siguiente manera:

1. Se usó como cámara interior un bote de lámina de 20

litros de capacidad, forrado en el interior con toallas de papel, para evitar condensaciones en las paredes, que pudieran provocar la caída de agua directamente sobre la semilla; la tapa del bote también se cubrió con papel con el mismo fin y para conseguir además un cierre hermético (Figura 4). En el fondo del bote se colocó una malla de alambre sostenida por dos trozos de madera, a fin de colocar sobre ella los sobres con semillas debidamente aleatorizados de acuerdo al diseño; y debajo de la malla se colocaron dos cajas de petrí con algodón y agua, que funcionaron como fuentes de humedad para saturar el ambiente interno del bote.

2. Como cámara exterior se empleó una estufa incubadora Marca Blue Electric modelo No. 200, que funcionó como fuente de temperatura. Previamente se reguló a 40°C y se cerraron los orificios de salida de la humedad, con el fin de evitar variaciones de la temperatura interior provocadas por el intercambio de aire con el ambiente exterior.

La temperatura interior del bote se registró introduciendo un termómetro con el cual se obtuvo la temperatura real que fue de 41.5°C. La humedad relativa dentro del bote no fue posible registrarla, pero se considera que el ambiente se saturó de humedad puesto que se tuvo un sistema cerrado herméticamente, que no permitió el intercambio con el exterior.

El manejo de las semillas para someterlas a tratamiento fue como sigue:

Primeramente, a las semillas utilizadas no se les aplicó ningún producto químico, como fungicidas. Cada repetición de 20 semillas se introdujo en sobres de papel de 10.9 x 6.6 cm, que se perforaron para permitir la circulación del aire dentro del sobre (Figura 5). Cada sobre se identificó con el número de línea, número de repetición y tratamiento correspondiente, y después de agrupar por repetición de acuerdo al diseño experimental se amarraron por un extremo formando una especie de abanicos (Figura 6). Al principio y al final de cada abanico se colocaron sobres conteniendo semillas de la variedad Huamantla, los cuales se desecharon al finalizar los tratamientos, pues su función fue crear, en lo posible, condiciones iguales para todas las semillas empleadas en el experimento; esto es, que todos los sobres estuvieran expuestos de manera similar al ambiente, evitando que los sobres que quedaran en los extremos presentaran una mayor exposición a la circulación de aire.

La estufa se ajustó a 40°C, 12 horas antes de introducir las semillas a tratamiento, para asegurar que la temperatura permaneciera constante. Primero se introdujeron las semillas correspondientes al tratamiento de envejecimiento acelerado por 132 horas, y 24 horas después se introdujeron las semillas que se sujetaron al tratamiento por 108 horas. Pasado el período de tratamiento se extrajeron los sobres

de la cámara de envejecimiento, se desataron los abanicos y se secaron a la sombra sobre una mesa durante 24 horas.

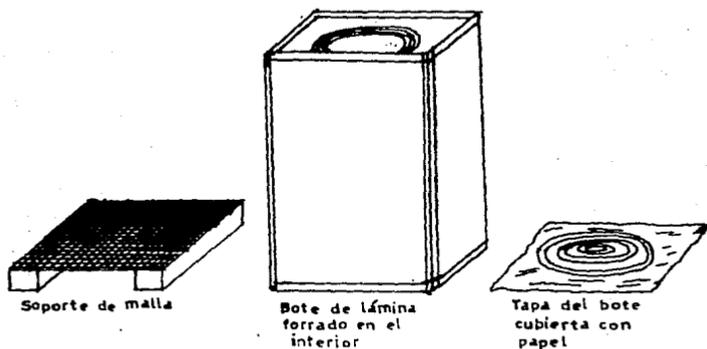


Fig. 4. Cámara interior de envejecimiento acelerado y soporte de malla de alambre.

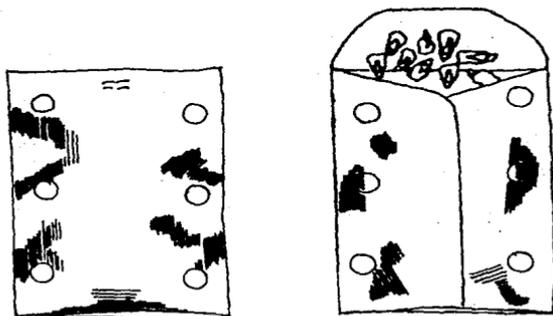


Fig. 5. Sobres de papel perforados, empleados para someter las semillas a tratamiento.



Fig. 6. Atado de los sobres en forma de abanico.

3.5 Manejo de las semillas después del tratamiento de envejecimiento acelerado

Después del secado de las semillas por 24 horas se realizó la siembra en almácigos de 90 cm de ancho por 2.5 m de largo, preparados con arena cernida en malla con orificios de 3 x 3 mm; siendo el espesor de la cama de siembra de 7 cm. La siembra se hizo de acuerdo al diseño ya indicado, colocando la semilla con el ápice hacia abajo y cubriéndola con una capa de arena cernida de 1 cm de espesor (Figura 7).

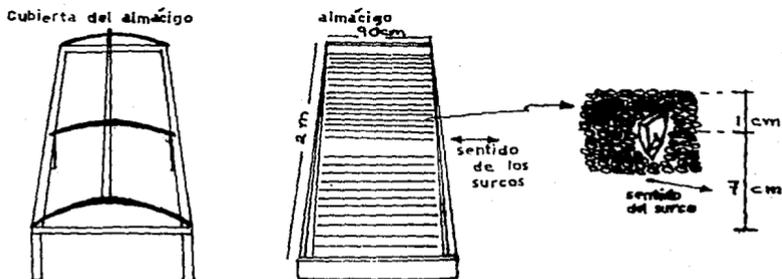


Fig. 7. Almácigo y forma en la que se colocó la semilla.

Los cuidados a los almácigos después de la siembra consistieron en riegos diarios, y protección de los mismos por las tardes con una estructura tipo invernadero, para evitar daños por pájaros, (Figura 7), descubriéndolos por la mañana para regar y evitar daños a las semillas y plántulas debido a la humedad y al calor que pudieran concentrarse al medio día debido al pequeño invernadero.

3.6 Obtención de datos

Los parámetros de vigor medidos fueron los siguientes:

3.6.1 Índice de vigor o velocidad de germinación (IV)

Estimado por medio de la fórmula siguiente (Copeland, 1976):

$$\text{Índice de vigor} = \frac{\text{No. de plántulas al primer conteo}}{\text{Días al primer conteo}} + \dots + \frac{\text{No. de plántulas al último conteo}}{\text{Número de días al último conteo}}$$

Para determinar este parámetro se realizaron conteos diarios de la germinación a partir del primer día en que se presentó ésta (cuarto día después de la siembra), hasta el día en que se extrajeron las plántulas (trece días después de la siembra).

3.6.2 Porcentaje de germinación (%G)

Número total de semillas germinadas al último día de conteo, convertido en porcentaje; considerando como 100% de

germinación cuando las 20 semillas de cada repetición germinaron.

3.6.3 Calificación visual de vigor (CVV)

Evaluación de la apariencia general de las plántulas de cada una de las unidades experimentales (repetición) el día de extracción de las plántulas. Este parámetro se determinó en base a los niveles propuestos por Virgen (1983):

- 0 = Sin germinar
- 1 = Bajo vigor de plántula
- 2 = Regular vigor de plántula
- 3 = Buen vigor de plántula
- 4 = Alto vigor de plántula

Para estos niveles se considera la apariencia general de la plántula, como grosor, altura, color, cantidad y apariencia de raíces.

3.6.4 Peso seco de la parte aérea (PSP)

Peso en gramos de la parte aérea de la plántula después de someterse a secado por 3 días a 60°C.

3.6.5 Peso seco de la raíz (PSR)

Peso en gramos de la parte subterránea de la plántula después de someterse a secado por 3 días a 60°C.

3.6.6 Peso seco total de la plántula (PST)

Peso en gramos de la plántula en total, que se obtuvo de la suma del PSP y del PSR.

Para la determinación de los tres últimos parámetros, después de extraer las plántulas de los almácigos se lavaron con agua, en una cubeta, para retirar toda la arena, después con un bisturí se separaron la plúmula y la radícula, las cuales por separado se colocaron en sobres de papel y se sometieron al secado durante 72 horas a 60°C, en una estufa Modelo HDP-867. El peso seco se determinó en una balanza electrónica Ohaus 300.

3.7 Análisis estadístico

Una primera comparación (no estadística) se realizó con las medias de los porcentajes de germinación de cada línea, sin tratamiento (Marroquín, 1986), con los porcentajes obtenidos después del tratamiento de envejecimiento acelerado; esto con la finalidad de observar el efecto provocado por el envejecimiento acelerado sobre el porcentaje de germinación.

Para cada una de las variables que se midieron (IV, %G, CVV, PSP, PSR y PST) se realizó un análisis de varianza, cuya forma se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Análisis de varianza para cada variable bajo estudio.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios
Bloques	3	SC 1	CM 1
Envejecimiento acelerado	1	SC 2	CM 2
Error A	3	SC 3	CM 3
Parcela grande	7	SC 4	CM 4
Líneas	25	SC 5	CM 5
Interacción (Envejecimiento acelerado X líneas)	25	SC 6	CM 6
Error B	150	SC 7	CM 7
Total	207	SC 8	CM 8

La comparación entre medias por efecto del tiempo de envejecimiento acelerado sobre el índice de vigor y el peso seco de la parte aérea; y la comparación entre medias de las líneas de maíz para los 6 parámetros de vigor estimados, se hizo mediante la prueba de Tukey al 5% (Reyes, 1981):

$$w = q (P_1, n_2) S_{\bar{x}}$$

donde:

$$q = (\bar{X}_{\text{max}} - \bar{X}_{\text{min}}) / S_{\bar{x}}$$

P_1 = Número de promedios (2 para el envejecimiento acelerado, y 26 para las líneas)

n_2 = Grados de libertad del error experimental (3 para el envejecimiento acelerado y 150 para las líneas de maíz)

\bar{S}_x = Error estándar de la media; siendo este, para la comparación entre medias de envejecimiento acelerado:

$$\bar{S}_x = \frac{CME_A}{bn}$$

donde:

CME_A = Cuadrado medio para el error A

b = Número de líneas = 26

n = Número de repeticiones = 4;

y para la comparación entre medias de las líneas:

$$\bar{S}_x = \frac{CME_B}{an}$$

donde:

CME_B = Cuadrado medio para el error B

a = Número de tratamientos de envejecimiento acelerado = 2

n = Número de repeticiones = 4

Se realizó la comparación entre medias de las líneas en cada tratamiento de envejecimiento acelerado, para los parámetros en que se presentó interacción significativa entre el envejecimiento acelerado y las líneas; es decir, para el índice de vigor y la calificación visual de vigor. Para ello

también se empleo la prueba de Tukey al 5%, pero empleando como error estándar de la media el siguiente:

$$S_{\bar{x}} = \frac{CME_B}{n}$$

Para la comparación entre medias, resultantes en la prueba de envejecimiento acelerado para cada línea, en los parámetros índice de vigor y la calificación visual de vigor que presentaron significancia en la interacción entre envejecimiento acelerado y líneas; se empleó la prueba de t al 5% (Reyes, 1981).

Para que se presente diferencia significativa entre las medias debe cumplirse la siguiente desigualdad: $t > t'$, donde,

$$t = \frac{\text{Diferencia entre medias}}{\text{Error estándar de la diferencia}} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}}$$

donde:

$$S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \frac{2(b-1)CME_B + CME_A}{bn}$$

$$t' = \frac{(b-1) CME_B t_{0.5} (GL E_B) + CME_A t_{0.5} (GL E_A)}{(b-1) CME_B + CME_A}$$

$t_{0.5}$ = Valor de tablas buscado con los grados de libertad del error correspondiente y el nivel de significancia.

IV. RESULTADOS

4.1 Evaluación de las líneas bajo estudio en su condición inicial (Semillas sin tratamiento de envejecimiento acelerado)

Marroquín (1986) trabajó con las 26 líneas de maíz aquí empleadas, a las cuales en la condición normal de las semillas, les estimó su vigor por medio de los caracteres porcentaje de germinación, índice de vigor, peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz y peso seco total de la plántula. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 5, de los cuales se pudo observar lo siguiente: 1) Se presentaron altos porcentajes de germinación, existiendo diferencias significativas entre las líneas (de 87-100% de germinación), y 2) Para el índice de vigor, peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz y peso seco de plántulas encontró diferencias altamente significativas entre las líneas. Concluyó que existen diferencias de comportamiento entre las líneas en cuanto al vigor, expresado éste a través de los caracteres mencionados, así como en el peso y volumen de semillas y de sus estructuras.

Cuadro 5. Promedios en el porcentaje de germinación, índice de vigor, peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz y peso seco total de la plántula, en 26 líneas de maíz (Sin tratamiento de envejecimiento acelerado). Marroquín, 1986.

Línea	% de	Índice de vigor	Peso seco de la parte aérea	Peso seco de la raíz	Peso seco total de la plántula
1186-2	97.0	5.29	3.86	2.95	6.81
1187-1	97.0	4.80	3.95	4.18	8.14
1212-1	98.0	4.88	2.97	2.66	5.64
1253-1	100.0	5.15	3.35	2.56	5.91
1277-1	100.0	5.41	3.85	3.98	7.32
1280-1	94.0	4.90	3.90	3.63	7.52
1285-1	98.0	5.31	3.42	2.21	5.62
1286-1	100.0	5.15	4.54	4.22	8.76
1290-1	96.0	5.18	3.84	4.04	7.88
1291-1	100.0	5.42	3.43	2.75	6.18
1293-1	87.0	3.95	2.65	2.53	4.98
1294-1	100.0	5.83	4.14	4.26	8.40
1294-3	99.0	5.65	3.69	3.41	7.10
1301-2	97.0	5.19	3.19	3.01	6.20
1302-1	95.0	5.27	3.07	2.67	5.75
1303-1	96.0	5.43	3.03	2.80	5.83
1304-1	98.0	5.09	3.96	3.84	7.80
1317-1	100.0	4.95	4.41	4.58	8.99
1317-3	100.0	4.92	4.10	2.65	6.75
1320-1	99.0	5.39	3.72	2.79	6.51
1341-1	97.0	4.82	4.21	3.77	7.91
1350-2	99.0	4.79	3.59	2.89	6.48
1352-1	100.0	5.20	3.48	3.21	6.94
1356-1	100.0	5.09	3.80	3.26	7.06
1357-1	96.0	4.95	2.84	2.98	5.76
1383-1	99.0	5.06	4.07	4.03	8.10

4.2 Análisis de varianza

Los resultados del análisis de varianza de los caracteres considerados en este trabajo, se condensaron en el Cuadro 6, donde se puede observar que entre los tratamientos de envejecimiento acelerado sólo se presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para el índice de vigor, y significativas ($p \leq 0.05$) para el peso seco de la parte aérea; en tanto que para todas las variables se detectaron diferencias altamente significativas entre las líneas. Para la interacción entre los tratamientos de envejecimiento acelerado y las líneas se presentaron valores altamente significativos para el índice de vigor, y significativos para la calificación visual de vigor.

El coeficiente de variación tuvo valores más aceptables para las variables porcentaje de germinación, índice de vigor, y calificación visual de vigor; mientras que para los pesos secos los valores fueron más altos, así en el peso seco de la raíz fue de 25.31 y en el peso seco de la parte aérea de 24.17.

4.3 Comparación de medias

4.3.1 Tiempo en el tratamiento de envejecimiento acelerado

En el Cuadro 7, donde se presentan las medias de los tratamientos de envejecimiento acelerado, para las variables índice de vigor y peso seco de la parte aérea; se puede observar que en ambas variables existen diferencias

Cuadro 6. Cuadrados medios, significancia estadística y coeficientes de variación en el análisis de varianza de las características evaluadas, Montecillos, Méx. 1985.

Fuente de variación	Grados de libertad	Porcentaje de germinación	Índice de vigor	Calificación visual de vigor	Peso seco de la parte aérea.	Peso seco de la raíz	Peso seco total
Bloques	3	346.92 NS	0.88 NS	3.89 NS	0.99 NS	0.57 NS	0.20 NS
Envejecimiento acelerado	1	43.39 NS	6.69 **	1.08 NS	5.95 *	0.00 NS	6.00 NS
Error a	3	575.12	0.14	0.73	0.29	0.47	1.31
Líneas	25	2108.62 **	3.85 **	1.84 **	1.78 **	0.55 **	3.98 **
Interacción	25	30.39 NS	0.25 **	0.26 *	0.12 NS	0.07 NS	0.31 NS
Error b	150	84.52	0.11	0.16	0.13	0.11	0.35
Coeficiente de variación (%)		11.06	11.02	14.23	24.17	25.31	21.12

NS = No significativo

* = Significativo al nivel de 5%

** = Significativo al nivel de 1%

significativas, siendo el valor más alto el tratamiento de 108 horas (Tukey, 5%).

Cuadro 7. Medias de los tratamientos de envejecimiento acelerado, para los parámetros índice de vigor y peso seco de la parte aérea. Montecillos, Méx. 1985.

Tiempo de Envejecimiento acelerado	Índice de vigor	Peso seco de la parte aérea
108 horas	3.19 a	1.66 a
132 horas	2.83 b	1.32 b

DMSH = 0.13

(Tukey, 5%)

4.3.2 Porcentaje de germinación inicial y después de los tratamientos de envejecimiento acelerado

La comparación de las medias de los porcentajes de germinación de semillas en su condición original (sin tratamiento), obtenidas por Marroquín (1986), con las medias de los porcentajes de germinación después del tratamiento de envejecimiento acelerado se muestran en el Cuadro 8, donde puede observar lo siguiente:

Los porcentajes de germinación registrados por las 26 líneas de maíz cuando no recibieron ningún tratamiento de envejecimiento acelerado fueron similares, entre 95 y 100%, excepto en la línea 1293-1 que mostró 87% de germinación; es decir que los porcentajes de germinación iniciales de

Cuadro 8. Promedios del porcentaje de germinación para las 26 líneas de maíz: sin tratamiento y con tratamientos de 108 y 132 horas de envejecimiento acelerado.

Línea	Sin tratamiento (Marroquín, 1986)	108 horas de envejecimien to acelerado	132 horas de envejecimien to acelerado
1186-2 ☒	97.0	98.75	98.75
1187-1 ☒	97.0	88.75	90.00
1212-1 ☒	98.0	53.75	48.75
1253-1 ☒	100.0	98.75	96.25
1277-1 ☒	100.0	76.25	80.00
1280-1 ☒	94.0	87.50	92.50
1285-1 ☒	98.0	91.25	97.50
1286-1 ☒	100.0	91.25	83.75
1290-1 ☒	96.0	68.75	65.00
1291-1 ☒	100.0	97.50	97.50
1293-1 ☒	87.0	72.50	71.25
1294-1 ☒	100.0	97.50	98.75
1294-3 ☒	99.0	31.25	37.50
1301-2 ☒	97.0	96.25	91.25
1302-1 ☒	95.0	73.75	80.00
1303-1 ☒	96.0	85.00	91.25
1304-1 ☒	98.0	96.25	96.25
1317-1 ☒	100.0	100.00	96.25
1317-3 ☒	100.0	87.50	97.50
1320-1 ☒	99.0	93.75	90.00
1341-1 ☒	97.0	91.25	76.25
1350-2 ☒	99.0	68.75	53.75
1352-1 ☒	100.0	96.25	91.25
1356-1 ☒	100.0	82.50	86.25
1357-1 ☒	96.0	63.75	66.25
1383-1 ☒	99.0	85.00	76.25
\bar{x}	96.77	86.25	86.00
s^2	8.02	274.31	291.59
S	2.83	16.56	17.07

\bar{x} = Promedio

s^2 = Varianza

S = Desviación estándar

las líneas utilizadas en el estudio fueron altas y relativamente uniformes (media de 96.77% y desviación estándar de 2.83). Por otro lado, los porcentajes de germinación de las semillas sometidas al envejecimiento acelerado, en su gran mayoría presentan disminución, algunas líneas más drásticamente que otras; las medias fueron de 86.25 y 86%, respectivamente para 108 y 132 horas de envejecimiento acelerado, y las desviaciones estándar encontradas en estos promedios fueron mayores (16.56 y 17.07, respectivamente).

4.3.3 Comparación de líneas

En el Cuadro 9 se presentan los promedios de las líneas para cada variable, y se puede observar que hay bastante consistencia en las pruebas al separar dos grupos, uno alto y otro bajo en vigor, aún cuando no hay coincidencia en cuanto al número de líneas que cada prueba agrupa. Destacan las líneas 1294-1 ☒ y 1186-2 ☒, que presentaron promedios altos para todos los parámetros de vigor; otras más sólo fueron sobresalientes en algunas pruebas; así la línea 1291-1 ☒ presenta promedios altos para el índice de vigor y para el porcentaje de germinación; las líneas 1253-1 ☒ y 1317-1 ☒ resultaron con valores altos del porcentaje de germinación (97.5 y 98.13 respectivamente); y en general todas ellas tuvieron valores intermedios para las variables restantes. Por el contrario, las líneas 1212-1 ☒ y 1294-3 ☒ resultaron con promedios más bajos para todas las mediciones de vigor. El resto de las líneas tuvieron promedios intermedios para los

Quadro 9. Comparación de las líneas bajo estudio por su comportamiento en las pruebas de vigor. Montecillos, Méx. 1985.

Línea	Índice de vigor	Porcentaje de germinación	Calificación visual de vigor	Peso seco de la parte aérea	Peso seco de la raíz	Peso seco total
1186-2	3.81a	98.75a	3.75a	2.41a	1.60abc	4.02ab
1187-1	3.23abdef	89.38abcd	2.88 bcd	1.76 bode	1.60abc	3.36abode
1212-1	1.77	51.25	2.00 f	0.76	0.81 e	1.57 ij
1253-1	3.45abcd	97.50a	3.00 bcd	1.72 bodef	1.41abod	3.13abodef
1277-1	2.75 fgh	78.13 cdefg	2.88 bcd	1.36 cdefgh	1.42abod	2.78 cdefg
1280-1	3.23abdef	90.00abcd	2.75 bcde	1.72 bodef	1.13 cde	2.73 cdefg
1285-1	3.58abc	94.38abc	3.00 bcd	1.82abcd	1.33abcde	3.14abodef
1286-1	3.28abcde	87.50abcde	3.25ab	1.62 cdef	1.52abc	3.14abodef
1290-1	2.29	66.88 fgh	2.38 def	0.99	1.14 cde	2.13 fghij
1291-1	3.78ab	97.50a	3.00 bcd	1.34 defgh	1.29abcde	2.64 cdefgh
1293-1	2.21	71.88 efg	1.88 f	0.92	1.01 cde	1.93 ghij
1294-1	3.83a	98.13a	3.75a	2.32ab	1.82a	4.14a
1294-3	1.18	34.38	1.88 f	0.60	0.84 de	1.44 j
1301-2	3.45abcd	93.75abc	2.88 bcd	1.53 cdef	1.30abcde	2.83 cdef
1302-1	2.65 fgh	76.88 defg	2.50 cdef	1.14 efghi	1.22 bcde	2.36 efghij
1303-1	3.19 bcdef	88.13abcde	2.75 bcde	1.34 defgh	1.41abod	2.76 cdefg
1304-1	3.60abc	96.25ab	3.00 bcd	1.92abcd	1.74ab	3.66abc
1317-1	3.59abc	98.13a	3.00 bcd	2.00abc	1.56abc	3.56abcd
1317-3	3.25abdef	92.50abcd	3.13abc	1.84abcd	1.30abcde	3.14abodef
1320-1	3.49abcd	91.88abcd	3.13abc	1.85abcd	1.16 bcde	3.01 bcdef
1341-1	2.96 def	83.75abcde	2.88 bcd	1.28 defgh	1.30abcde	2.58 defghi
1350-2	2.05	61.25 gh	2.50 cdef	1.08 fghi	1.05 cde	2.13 fghij
1352-1	3.63abc	93.75abc	3.13abc	1.87abcd	1.54abc	3.41abcde
1356-1	3.08 cdef	84.38abcde	2.88 bcd	1.42 cdefg	1.41abod	2.83 cdefg
1357-1	2.25	65.00 gh	2.13 ef	0.74	0.89 de	1.63 hij
1383-1	2.80 efg	80.63 bcdef	2.63 bcde	1.44 cdefg	1.26abcde	2.70 cdefg
DMSII	0.60	16.28	0.71	0.64	0.59	1.05

(Tukey 5%).

parámetros de vigor, siendo algunas inferiores como por ejemplo las líneas 1302-1 ☒, 1290-1 ☒, 1357-1 ☒, 1293-1 ☒ y 1350-2 ☒.

4.3.4 Interacción entre líneas X período de envejecimiento acelerado

De acuerdo con el análisis de varianza, las únicas variables que presentaron significancia estadística para la interacción fueron el índice de vigor y la calificación visual de vigor, por ello se hicieron comparaciones entre medias de las líneas en cada uno de los tratamientos, y entre medias de los tratamientos de envejecimiento acelerado en cada línea.

4.3.4.1 Comparación entre líneas en cada período de envejecimiento acelerado

En los Cuadros 10 y 11 se presentan las medias de las líneas para los períodos de envejecimiento acelerado de 108 y 132 horas respectivamente. Como se puede observar, el índice de vigor en ambos períodos de envejecimiento es el parámetro que mayores diferencias detecta entre las líneas; existiendo consistencia en el comportamiento de las líneas superiores, salvo dos de ellas (1286-1 ☒ y 1356-1 ☒).

En la Figura 8 se observa la interacción entre líneas y los períodos de envejecimiento acelerado, para el índice de vigor. En general al incrementarse la duración del envejecimiento acelerado se disminuye el vigor; en algunos casos,

Cuadro 10. Comportamiento de las líneas (L) en el período de 108 horas de envejecimiento acelerado (EA), para los parámetros en los que se presentó interacción de L x EA. (Índice de vigor y Calificación visual de vigor). Montecillos, Méx. 1985.

Línea	Índice de vigor	Calificación visual de vigor
1186-2 ☒	3.87ab	3.75a
1187-1 ☒	3.28abcdefg	2.75abc
1212-1 ☒	1.85 ij	2.00 c
1253-1 ☒	3.66abcdef	3.00abc
1277-1 ☒	2.88 efgh	3.00abc
1280-1 ☒	3.32abcdefg	2.75abc
1285-1 ☒	3.67abcdef	2.75abc
1286-1 ☒	3.73abcde	3.00abc
1290-1 ☒	2.84 fgh	2.70abc
1291-1 ☒	3.83abcd	3.00abc
1293-1 ☒	2.62 ghij	2.00 c
1294-1 ☒	3.95a	3.75a
1294-3 ☒	1.61 j	2.50 bc
1301-2 ☒	3.62abcdef	2.75abc
1302-1 ☒	2.91 efgh	2.50 bc
1303-1 ☒	3.17abcdefg	2.75abc
1304-1 ☒	3.69abcdef	3.00abc
1317-1 ☒	3.85abc	3.25ab
1317-3 ☒	3.27abcdefg	3.25ab
1320-1 ☒	3.65abcdef	3.25ab
1341-1 ☒	3.05 bcdefgh	3.00abc
1350-2 ☒	2.66 ghi	2.75abc
1352-1 ☒	3.71abcde	3.25ab
1356-1 ☒	2.99 defgh	3.00abc
1357-1 ☒	2.31 hij	2.00 c
1383-1 ☒	3.01 cdefgh	2.50 bc

DMSH
(Tukey, 5%)

0.85

1.00

Valores con la misma letra no son diferentes significativamente.

Cuadro 11. Comportamiento de las líneas (L) en el periodo de 132 horas de envejecimiento acelerado (EA), para los parámetros en los que se presentó interacción de L x EA. (Índice de vigor y calificación visual de vigor). Montecillos, Méx. 1985.

Línea	Índice de vigor	Calificación visual de vigor
1186-2 ☒	3.76a	3.75a
1187-1 ☒	3.18abcdef	3.00abc
1212-1 ☒	1.69	2.00 cde
1253-1 ☒	3.25abcde ij	3.00abc
1277-1 ☒	2.43 efghi	2.75abcd
1280-1 ☒	3.13abcdef	2.75abcd
1285-1 ☒	3.49abcd	3.25ab
1286-1 ☒	2.84 cdefg	3.00abc
1290-1 ☒	1.74	2.00 cde
1291-1 ☒	3.73ab ij	3.00abc
1293-1 ☒	1.81 hij	1.75 de
1294-1 ☒	3.74a	3.75a
1294-3 ☒	0.75	1.25 e
1301-2 ☒	3.28abcde k	2.75abcd
1302-1 ☒	2.38 fghi	2.50 bcd
1303-1 ☒	3.21abcdef	2.75abcd
1304-1 ☒	3.51abc	3.00abc
1317-1 ☒	3.33abcd	2.75abcd
1317-3 ☒	3.24abcde	3.00abc
1320-1 ☒	3.34abcd	3.00abc
1341-1 ☒	2.88 bcdefg	2.75abcd
1350-2 ☒	1.44	2.50 bcd
1356-1 ☒	3.17abcdef jk	2.75abcd
1357-1 ☒	2.19 ghij	2.25 bcde
1383-1 ☒	2.60 defgh	2.75abcd
DMSH (Tukey 5%)	0.85	1.00

Valores con la misma letra no son diferentes significativamente.

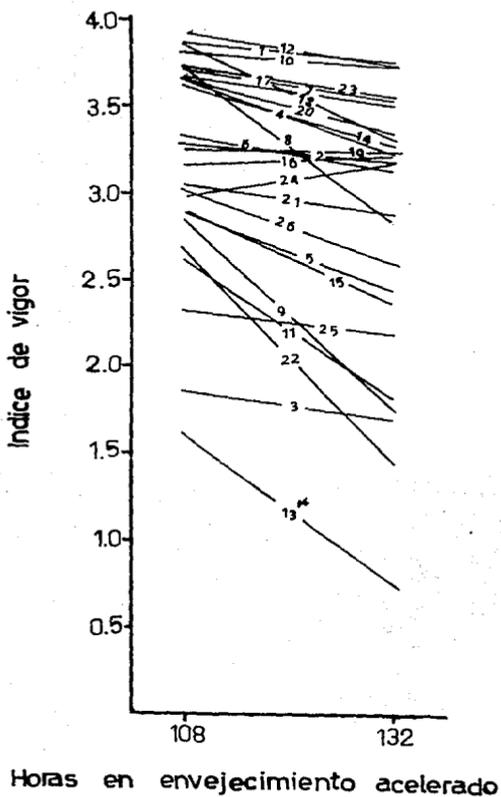


Fig. 8. Respuesta de las líneas de maíz a la duración del envejecimiento acelerado, en base al índice de vigor. Montecillos, Méx. 1985.

* Los números que identifican las líneas corresponden al enlistado del Cuadro 3.

como en las líneas 1286-1 ☒ (8), 1290-1 ☒ (9), 1294-3 ☒ (13), y 1350-2 ☒ (22) esta disminución es más fuerte mientras que en otras, como la 1186-2 ☒ (1), 1187-1 ☒ (2), 1280-1 ☒ (6), 1285-1 ☒ (7), y 1291-1 ☒ (10) la disminución es más leve. Sólo en las líneas 1303-1 ☒ (16) y 1356-1 ☒ (24) se observa un ligero incremento en el índice de vigor.

En la Figura 9, donde se presenta el efecto del envejecimiento acelerado sobre las líneas, para la calificación visual de vigor, se observan tres tipos de comportamiento:

- a) Las líneas 1186-2 ☒ (1), 1212-1 ☒ (3), 1253-1 ☒ (4), 1280-1 ☒ (6), 1291-1 ☒ (10), 1294-1 (13), 1302-1 ☒ (15), 1303-1 ☒ (16) y 1304-1 ☒ (17) permanecen con el mismo valor en ambos periodos de envejecimiento acelerado;
- b) Algunas líneas tienen un valor más alto en vigor, al incrementarse la duración del envejecimiento, este es el caso de: 1187-1 ☒ (2), 1285-1 ☒ (7), 1301-2 ☒ (14), 1357-1 ☒ (25) y 1383-1 ☒ (26).
- c) Las líneas restantes sufrieron una disminución en vigor al incrementarse la duración del envejecimiento.

4.3.4.2 Comparación entre periodos de envejecimiento acelerado en cada línea.

En el Cuadro 12 se presentan las líneas con diferencias significativas entre los periodos de envejecimiento acelerado, y que correspondientemente son aquellas que disminuyeron tanto en el índice de vigor como en la calificación

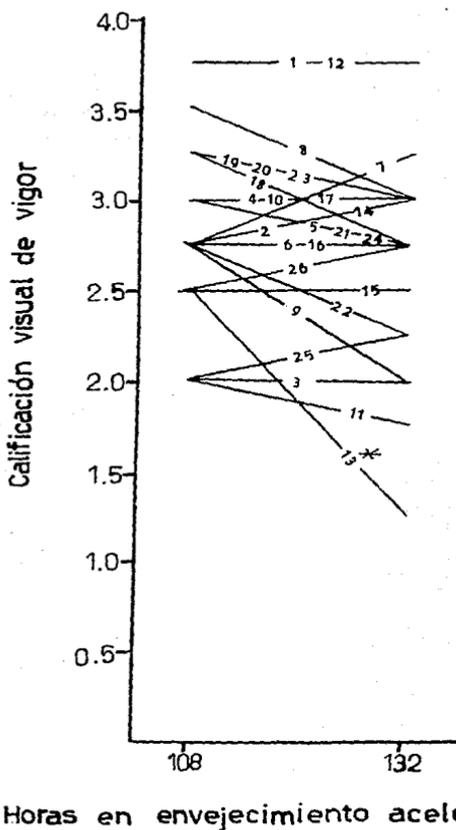


Fig. 9. Respuesta de las líneas de maíz a la duración del envejecimiento acelerado, en base a la calificación visual de vigor. Montecillos, Méx. 1965.

* Los números que identifican las líneas corresponden al -enlistado del Cuadro 3.

visual de vigor; además puede observarse que el índice de vigor presenta un mayor número de líneas con diferencias significativas.

Las líneas que presentaron diferencias significativas en el índice de vigor fueron las siguientes (t, 5%): 1286-1 ☒, 1290-1 ☒, 1293-1 ☒, 1294-3 ☒, 1302-1 ☒, 1317-1 ☒ y 1350-2 ☒. Para la calificación visual de vigor las líneas que presentaron diferencias significativas fueron las siguientes: 1290-1 ☒ y 1294-3 ☒.

Cuadro 12. Líneas que mostraron diferencias significativas entre los períodos de envejecimiento acelerado para los parámetros índice de vigor y calificación visual de vigor. Montecillos, Méx. 1985.

Índice de vigor		Calificación visual de vigor	
Líneas	Valor de t	Líneas	Valor de t
1286-1 ☒	3.71	1290-1 ☒	2.50
1290-1 ☒	4.58	1294-3 ☒	4.17
1293-1 ☒	3.38		
1294-3 ☒	3.58		
1302-1 ☒	2.21		
1317-1 ☒	2.17		
1350-2 ☒	5.08		

t 5% = 2.02

t 5% = 2.15

4.4 Correlación entre variables

En el Cuadro 13 se muestran los coeficientes de correlación entre las variables medidas, para cada período de envejecimiento acelerado. Todas las correlaciones presentaron coeficientes positivos y altamente significativos (1%).

Cuadro 13. Coeficientes de correlación lineal entre las variables medidas en cada período de envejecimiento acelerado. Montecillos, Méx. 1985.

Variable	Horas de envejecimiento acelerado	IV	CVV	PSP	PSR	PST
%G	108	0.853**	0.339**	0.756**	0.473**	0.710**
	132	0.868**	0.694**	0.483**	0.388**	0.490**
IV	108		0.495**	0.871**	0.564**	0.838**
	132		0.747**	0.625**	0.510**	0.645**
CVV	108			0.556**	0.506**	0.606**
	132			0.537**	0.409**	0.534**
PSP	108				0.548**	0.914**
	132				0.633**	0.931**
PSR	108					0.841**
	132					0.860**

** Significativo al nivel de 0.01 de probabilidad

Puesto que los valores de los coeficientes son diferentes, ello indica que el grado de asociación de las variables es distinto. Para el período de 108 horas de envejecimiento acelerado, las variables que se mostraron más fuertemente asociadas con el resto fueron el peso seco total de la plántula y el índice de vigor; y por el contrario, las variables más débilmente asociadas con el resto fueron el peso seco de la raíz y la calificación visual de vigor.

En particular, las asociaciones más estrechas se presentaron, en orden de mayor a menor, entre las siguientes variables: peso seco total y peso seco de la parte aérea ($r = 0.914$), peso seco de la parte aérea e índice de vigor ($r = 0.871$), índice de vigor y porcentaje de germinación ($r = 0.853$), peso seco de la raíz y peso seco total ($r = 0.841$), y entre el índice de vigor y el peso seco total ($r = 0.838$).

En el período de 132 horas de envejecimiento acelerado, se observa que el índice de vigor es la variable que se asocia más estrechamente con el resto de las variables. Las asociaciones que presentan valores más altos son las que se presentan entre las siguientes variables: peso seco total y peso seco de la parte aérea ($r = 0.931$), porcentaje de germinación e índice de vigor ($r = 0.868$), peso seco total y peso seco de la raíz ($r = 0.860$) y entre calificación visual de vigor e índice de vigor.

5. DISCUSION

La conservación de los alimentos es un aspecto que el hombre ha buscado a través del tiempo, con la finalidad de contar con ellos en períodos del año y en lugares donde es difícil obtenerlos de manera natural. Es así como se han buscado diferentes tipos de almacén y diferentes formas de conservación. Las semillas, de entre los alimentos con que cuenta el hombre, presentan una mayor facilidad para su conservación a causa de la adaptación de las plantas que las producen, puesto que para poder subsistir implementaron una forma que les permitiera sobrevivir en las estaciones del año en que las condiciones ambientales prevaecientes no permitían la existencia de la planta como tal, y esta forma es por medio de la semilla que presenta un período de reposo y que produce una nueva planta cuando las condiciones ambientales lo permiten. Así es como encontramos variación entre las especies, de acuerdo al medio en que se desarrollan.

Es por ello importante tomar en cuenta las características de la semilla en cuanto a su utilidad nutritiva para el hombre y a su utilidad como semilla para siembra. Entre las características que se han considerado para evaluar la calidad como semilla se encuentra el vigor, ya que de una semilla vigorosa se produce una planta también vigorosa,

más resistente a factores adversos y con mayor productividad, y que en el estado de semilla se conserva mejor.

La prueba de envejecimiento acelerado se ha propuesto, para predecir la capacidad de la semilla para su conservación a través del tiempo, medida en base al vigor que muestra después de someterse a las condiciones de alta temperatura y alta humedad relativa.

Al comparar los resultados obtenidos en este trabajo, donde se sometieron 26 líneas de maíz a la prueba de envejecimiento acelerado, con aquellos obtenidos por Marroquín (1986) para los mismos materiales genéticos en su condición inicial, se pudo observar que hubo disminución del vigor por efecto del envejecimiento acelerado, y así, de semillas que inicialmente presentaron porcentajes de germinación similares se obtuvieron mayores diferencias en el % de germinación entre las líneas cuando se les sometió al envejecimiento acelerado, con valores más bajos para esta característica y para el IV, PSP, PSR y PST (Cuadros 8 y 13). De tal forma que se acepta la proposición de que "existen diferencias en vigor entre líneas de similar porcentaje de germinación".

Por otra parte, entre los tratamientos de envejecimiento acelerado empleados (108 y 132 horas), únicamente para el índice de vigor y el peso seco de la parte aérea se expresaron diferencias, disminuyendo el vigor conforme se incrementó la duración del tratamiento. Así, los tratamientos

empleados provocaron diferente nivel de deterioro, con la consecuente diferencia en la disminución de vigor, y aún cuando el efecto de los tratamientos fue muy similar, es importante dejar claro que se produjo menor vigor y diferencias claras entre las líneas cuando se aplicó la prueba. De estos resultados se puede considerar como aceptable la hipótesis de que "la expresión del vigor de la semilla es afectada por la duración del período de envejecimiento acelerado".

En cuanto a diferencias genéticas entre las líneas, éstas se expresaron de manera altamente significativa a través de todos los caracteres estimados, indicando que hay diferencias en vigor en las líneas ofreciendo cada línea una respuesta característica por su comportamiento consistente para todos los caracteres; así encontramos líneas sobresalientes como la 1186-2 \boxtimes y la 1294-1 \boxtimes , y por el contrario líneas poco vigorosas inferiores al resto, como la línea 1294-3 \boxtimes . De esta forma es posible considerar que se puede realizar selección de materiales resistentes al deterioro a través del vigor expresado después del tratamiento de envejecimiento acelerado. De esta manera encontramos aceptable la suposición de que "existe diferente respuesta en vigor entre las líneas de maíz debido a diferencias genéticas".

En cuanto al efecto de interacción entre el tiempo de envejecimiento acelerado y las líneas empleadas; nos

encontramos con que este se expresó para los caracteres índice de vigor y calificación visual de vigor; así las diferencias en vigor entre las líneas son más amplias cuando la duración del envejecimiento acelerado es mayor, además de que la respuesta de cada línea es diferente; aunque las respuestas significativas sólo fueron aquellas en las cuales se disminuyó el vigor de la línea al incrementarse la duración del tratamiento (Cuadro 11).

En cuanto a la relación entre los caracteres, los coeficientes de correlación en ambos tratamientos de envejecimiento acelerado permiten en general considerar al índice de vigor como más estrechamente relacionado al resto de caracteres; puesto que, además de que presenta valores más altos y de que expresó más claramente las diferencias entre las líneas, fue también el más susceptible a la duración del envejecimiento acelerado.

Una consideración importante de hacer es que los valores de correlación fueron más bajos en el tratamiento de 132 horas, excepto las correlaciones entre porcentaje de germinación e índice de vigor, porcentaje de germinación y calificación visual de vigor, e índice de vigor y calificación visual de vigor, por un lado; y entre peso seco de la parte aérea con peso seco de la raíz y con peso seco total, y entre peso seco de la raíz y peso seco total; con lo que se puede observar que se forman dos grupos: uno entre el porcentaje de germinación, índice de vigor y calificación visual de vigor; y otro entre los pesos secos.

En resumen podemos hacer las siguientes consideraciones: El envejecimiento acelerado provoca una disminución del vigor permitiendo observar diferencias en vigor entre las líneas, y a la vez, al incrementarse la duración del envejecimiento acelerado observamos mayores diferencias pudiendo relacionar este comportamiento con respuestas en vigor que expresen las líneas de maíz al almacenarse.

La constitución genética de las líneas es la que determina la expresión del vigor en las semillas de las mismas, el cual se ve afectado por las condiciones ambientales.

Un caracter que puede ser útil y práctico para evaluar el vigor de la semilla es la velocidad de germinación (índice de vigor) puesto que permitió observar de manera objetiva las diferencias en este caracter, y además está estrechamente relacionado con los demás caracteres e incluso, al parecer, se hace más estrecha esta relación al incrementarse la duración del envejecimiento acelerado.

La calificación visual de vigor es fácil de realizar, sin embargo resulta subjetiva, puesto que varía con la persona que la realiza y además presenta menor relación que el resto de los caracteres.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones en que se realizó este estudio, y con base en los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

1. La comparación entre los porcentajes de germinación iniciales que fueron similares, con los obtenidos después de someter las semillas al envejecimiento acelerado, permitieron detectar diferencias de comportamiento entre las líneas sometidas a tratamiento.
2. Se observaron diferencias entre los tratamientos de 108 y 132 horas de envejecimiento acelerado, para el índice de vigor y para el peso seco de la parte aérea de la plántula. El tratamiento de 132 horas produjo mayor disminución en los valores de ambos parámetros.
3. Para todos los caracteres que se midieron (porcentaje de germinación, índice de vigor, calificación visual de vigor, peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz y peso seco total de la plántula) se presentaron diferencias estadísticas al 1% de probabilidad, entre las líneas de maíz sometidas al envejecimiento acelerado.

4. Las líneas de maíz presentaron una expresión de vigor consistente en todos los parámetros con que se evaluó este carácter, detectándose como más vigorosas las líneas 1186-2 \otimes y 1294-1 \otimes .
5. La interacción entre los tratamientos de envejecimiento acelerado y las líneas fue significativa para los caracteres índice de vigor y calificación visual de vigor; de tal forma que hay una disminución de vigor y se producen mayores diferencias entre las líneas cuando se incrementa la duración del tratamiento.
6. El índice de vigor fue el carácter en el cual se observaron más los efectos del envejecimiento acelerado, y a la vez fue el que presentó valores de correlación altos y significativos con el resto de los caracteres.
7. La calificación visual de vigor fue el carácter que menos diferencias presentó y sus correlaciones fueron bajas, aunque significativas con el resto de caracteres.

7. BIBLIOGRAFIA

- Abdul-Baki, A.A., and J.D. Anderson. 1972. Physiological and biochemical deterioration of seeds. In: Kozlowski, T.T. (Ed). Seed Biology. V II. Academic Press Inc. U.S.A. 283-315.
- Anfinrud, M.N., and A.A. Scheneiter. 1984. Relationship of sunflower germination and vigour test to field performance. *Crop Science*. 24(2): 341-344.
- Arias, V.C. 1983. Almacenes y conservación de productos agrícolas en Almacenes Nacionales de Depósito, S.A. (ANDSA). En: Moreno M.E. y M. Ramírez (compiladores) *Memorias del Coloquio Internacional sobre conservación de semillas de granos almacenados*. Instituto de Biología. UNAM. 43-51.
- Baskin, C.C. 1981. Accelerated aging test. En: Perry, D.A. (Ed). *Handbook of vigour test methods*. I.S.T.A. Zurichland.; 43-48.
- Bettac, E. and H. Matthies. 1985. Studies on the validity of the accelerated aging test as a method for determining seed vigour demonstrated with rye (*Secale cereale* L.). *Field Crop Abstracts* 38(5): 232.
- Bourland, F.M. and A.A. L. Ibrahim, 1982. Effects of accelerated aging treatments on six cotton cultivars for resistance to seed deterioration. *Crop Science*. 22(3): 637-640.
- Clark, S.M. 1982. An evaluation of seed quality in crested-dogtail in relation to storability. *Seed Science and Technology*. 10(3): 517-526.
- Copeland, L.O. 1976. *Principles of Seed Science and Technology* Burgess Publishing Co. U.S.A.
- Delouche, J.C. and C.C. Baskin. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology*. 1(2): 427-452.
- Desai, D.B. 1978. Predicting the relative storability of seed lots-accelerated ageing test. *Field Crop Abstracts*. 31(4): 292.

- Dirección General de Economía Agrícola. SARH. 1980. Anuario estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos.
- Filgueiras, T.S. 1981. Seed vigour and productivity. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 16(6): 851-854.
- Guarino, R.G. 1983. Aspectos sobre el almacenamiento de granos en el medio rural en México. En: Moreno M.E., M. Ramírez (compiladores). *Memorias del Coloquio Internacional sobre conservación de semillas de granos almacenados*. Instituto de Biología. UNAM. 130-146.
- Goff, J. 1971. Accelerated aging tests at work. *Seedmen's Digest* 22(10): 8-9, 14, 27.
- Heydecker, W. 1972. Vigour. In: Roberts, E.H. (Ed). *Viability of seeds*. Chapman and Hall. U.S.A.: 209-252.
- Krzyanowzki, F.C., J.D. Costa, C.A. Scotti, e J.F. Silveira Da. 1982. O envelhecimento precoce na avaliação de lotes de sementes de feijoeiro. *Revista Brasileira de sementes*. 4(1): 45-58.
- Kulik, M.M. and J.F. Schoen. 1982. Germination, vigour and field emergence of sweet corn seed infected by *Fusarium moniliforme*. *Seed Science and Technology*. 10: 595-604.
- Lago, A.A. and C.C. Baskin. 1975. Predicting the storability of Gin-Run cotton seed lots. *Agronomy Abstracts*. Annual meetings August 24-30: 96.
- Likhachev, B.S., G.V. Zelenskii, Y.G. Kiyashko, and Z.N. Scherchenko. 1985. Accelerated aging of seeds and its use in experimental seed science. *Field Crop Abstracts*. 39(5): 232.
- Maquire, J.D. 1977. Seed quality and germination. In: Khan A.A. (Ed). *The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination*. Elsevier/North Holland Biomedical Press. The Netherlands: 219-235.
- Marroquín B., A. 1986. Influencia del contenido de reservas y del tamaño del embrión de la semilla en el vigor de plántulas de maíz (*Zea mays* L.). Tesis profesional Ingeniero Agrícola. UNAM. Cuautitlán Izcalli. México.
- Perry, D.A. 1978. Report of the vigour test committees 1974-1977. *Seed Science and Technology*. 6(1): 159-181.

- _____. 1980. The concept of seed vigour and its relevance to seed production techniques. In: Hebblethwaite, P.D. (Ed). Seed production. Butterworths. London. England: 585-591.
- _____. 1981. Handbook of vigour test methods. I.S.T.A. Switzerland.
- Ramírez, G.M. 1982. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Ed. CECSA. México.
- Reyes, C.P. 1981. Diseño de experimentos aplicados. Ed. Trillas. México.
- Scotti, C.A., O.P. Godoy. 1978. Evaluation of seed vigour of maize by accelerated aging. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 13(3): 93-99.
- Suryatmana, G., L.O. Copeland, and D.F. Miles. 1980. Comparison of laboratory indices of seed vigour with field performance of navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agronomy Abstracts. Annual meetings Nov. 30-Dec. 5.: 113.
- Tijerina, M.A. y G. Paredes. Manejo y Conservación de semillas agrícolas. En: Moreno M.E. y M. Ramírez (compiladores). Memorias del coloquio Internacional sobre conservación de semillas de granos almacenados. Instituto de Biología. UNAM: 37-42.
- Thomson, J.R. 1979. An introduction to seed technology. Leonard Hill. Great Britain.
- Usberti, R. 1982. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.). Revista Brasileira de Sementes. 4(1): 23-30.
- _____. 1982. Relações entre teste de envelhecimento acelerado, potencial de armazenamento e tamanho de sementes em lotes de amendoim. Revista Brasileira de Sementes. 4(1): 31-44.
- Vieira, E.N., and C.C. Baskin. 1975. Predicting the storability of soybean seed lots. Agronomy Abstracts. Annual meetings August 24-30: 96.
- Virgen V.J. 1983. Evaluación de vigor en maíz (*Zea mays* L.) en base a características de semillas y plántulas. Tesis profesional. Ingeniero Agrícola. UNAM. Cuautitlán Izcalli. México.
- Wolf, S.C., C.R. Hendrix, D.H. Scott, and W.D. Reiss. 1974. A new approach to test for quality seed. Agronomy abstracts. Annual meetings Nov. 10-15: 95.