

241 93



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLAN"

EVALUACION DE LINEAS DE MAIZ CON BASE
EN EL PORCENTAJE DE GERMINACION Y EN
EL VIGOR DE PLANTULA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA AGRICOLA
P R E S E N T A :
MA. ELENA OSORIO OCHOA

DIRECTOR DE TESIS
DR. AQUILES CARBALLO CARBALLO



Universidad Nacional
Autónoma de México



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

	PAGINA
LISTA DE CUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMEN	v
I. INTRODUCCION	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis	2
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Antecedentes sobre el concepto de vigor en semillas	3
2.2 Definición del concepto vigor en semillas	5
2.3 Madurez fisiológica y su relación con vigor	8
2.4 Factores que determinan el vigor de la semilla	9
2.5 Metodologías y resultados en la evaluación de vigor en semillas	12
III. MATERIALES Y METODOS	29
3.1 Material de laboratorio	29
3.2 Material genético	29
3.3 Localización	29
3.4 Métodos	31
3.4.1 Número y caracterización de las semillas	31
3.4.2 Establecimiento de la prueba para evaluar las lías	31
3.4.3 Toma de datos	32
3.4.3.1 Porcentaje de germinación	32
3.4.3.2 Variables de longitud	32

3.4.3.3	Variables de peso seco	33
3.4.5	Análisis estadístico de datos	33
IV.	RESULTADOS	34
4.1	Análisis de varianza	34
4.2	Prueba comparativa de medias	36
4.2.1	Variables de peso seco	36
4.2.2	Variables de longitud	40
4.3	Correlación lineal	43
4.4	Relación entre el tamaño de semilla y el porcentaje de germinación	46
4.5	Relación entre el tamaño de semilla y el vigor de plántula	46
V.	DISCUSION	52
5.1	Análisis de varianza	52
5.2	Prueba comparativa de medias	52
5.2.1	Variables de peso seco	52
5.2.2	Variables de longitud	53
5.3	Correlación lineal	54
5.4	Relación entre el tamaño de semilla y el porcentaje de germinación	56
5.5	Relación entre el tamaño de semilla y el vigor de plántula	57
VI.	CONCLUSIONES	59
VII.	BIBLIOGRAFIA	60

LISTA DE CUADROS

NUMERO		PAGINA
1	Relación de las 30 líneas S_2 de maíz utilizadas en el estudio	30
2	Cuadrados medios y su significancia estadística en el análisis de varianza de las diferentes variables en estudio de las 30 líneas S_2 de maíz	35
3	Prueba comparativa de medias y su nivel de significancia estadística para las variables PSR y PSA en 30 líneas S_2 de maíz	37
4	Prueba comparativa de medias y su nivel de significancia estadística para las variables PSS y PSP en 30 líneas S_2 de maíz	38
5	Prueba comparativa de medias y su nivel de significancia estadística para las variables LPA, LR y LP, en 30 líneas S_2 de maíz	41
6	Valores de los coeficientes de correlación obtenidos entre las variables estudiadas	44
7	Relación entre el porcentaje de germinación y el peso seco de 100 semillas.	47

LISTA DE FIGURAS

1	Relación entre el peso seco de plántula y sus componentes para los diferentes genotipos en estudio .	39
2	Relación entre la longitud de plántula y sus componentes para los diferentes genotipos de estudio . .	42
3	Relación entre el peso seco y longitud de plántula para los diferentes genotipos en estudio	45

FIGURA
NUMERO

PAGINA

4	Relación entre el peso de 100 semillas y el porcentaje de germinación para los diferentes genotipos en estudio	48
5	Relación entre el peso de 100 semillas y el peso seco de plántula para los diferentes genotipos en estudio	49
6	Relación entre el peso de 100 semillas y el peso seco del resto de semilla para los diferentes genotipos en estudio	51

RESUMEN

Hasta hace pocos años comenzó a darse énfasis al vigor de plántula como un parámetro importante en la calidad de las semillas, y aunque a la fecha existen varias metodologías, aún no se ha logrado definir una que resulte aceptable para la determinación y selección por vigor de plántula.

Lo anterior dio lugar al presente trabajo cuyo objetivo primordial fue evaluar la variación en la calidad de semilla de líneas S_2 de maíz; a partir de las características de porcentaje de germinación y el vigor de plántula medido en términos de longitud y peso seco.

La investigación se realizó en los laboratorios de la Sección de Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados (C. P.), en Montecillos, México.

Como material genético se utilizaron 30 líneas S_2 de maíz, origen Montecillos 1983, procedentes de la variedad VS-22 SMC₁. En base de los resultados obtenidos y a la discusión presentada se concluyó:

1. La prueba por peso seco de plántula en la evaluación de vigor en semillas se consideró superior a la prueba por longitud, ya que correlacionó más ampliamente con la mayoría de las variables en estudio y mostró mejor consistencia en los resultados.
2. Se comprueba la hipótesis de que existe variación para las características de germinación y vigor de plántula en líneas de maíz derivadas de una misma variedad.

3. El tamaño de la semilla no fue determinante para el porcentaje de germinación pero sí para el vigor expresado en términos de peso seco de plántula.

I. INTRODUCCION

La mejora de la agricultura es una medida indispensable para elevar el nivel de vida de la humanidad, y en buena parte se puede conseguir mediante el perfeccionamiento de los insumos, el más importante de los cuales es la semilla, debiéndose entonces asignar prioridad a las investigaciones cuyos objetivos sean resolver problemas relacionados con la producción de semillas de buena calidad.

El mejoramiento del maíz en México se ha enfocado hacia la generación de genotipos con características superiores a los criollos y a variedades mejoradas en uso comercial en cuanto a rendimiento, calidad nutritiva, resistencia a plagas, enfermedades o sequía, y buenas características agronómicas en general; aplicando métodos genotécnicos, que si bien obtuvieron logros muy importantes; esta respuesta tiende a reducirse y además su costo en tiempo y dinero es elevado, dando ocasión a que se consideren aspectos tan importantes como el vigor en semillas, que a la fecha es considerado como un cuarto factor de calidad. El planteamiento es que ya no sea el rendimiento el criterio único de selección, sino que se consideren otras características de interés desde el punto de vista de la seguridad en el establecimiento del cultivo; Isely y Steinbauer (citados por Delouche y Caldwell, 1962) remarcan la importancia del vigor como un concepto que se debe tomar en cuenta dentro de la planeación de los objetivos para la investigación en semillas; recalcan por otra parte que hay un buen número de pruebas de laboratorio, fisiológicas y bioquímicas que han sido desarrolladas para evaluar el vigor de semilla y plántula, pero muchas de esas pruebas son tan complicadas y costosas que es impráctico su uso en laboratorio. En México

I. INTRODUCCION

La mejora de la agricultura es una medida indispensable para elevar el nivel de vida de la humanidad, y en buena parte se puede conseguir mediante el perfeccionamiento de los insumos, el más importante de los cuales es la semilla, debiéndose entonces asignar prioridad a las investigaciones cuyos objetivos sean resolver problemas relacionados con la producción de semillas de buena calidad.

El mejoramiento del maíz en México se ha enfocado hacia la generación de genotipos con características superiores a los criollos y a variedades mejoradas en uso comercial en cuanto a rendimiento, calidad nutritiva, resistencia a plagas, enfermedades o sequía, y buenas características agronómicas en general; aplicando métodos genotécnicos, que si bien obtuvieron logros muy importantes; esta respuesta tiende a reducirse y además su costo en tiempo y dinero es elevado, dando ocasión a que se consideren aspectos tan importantes como el vigor en semillas, que a la fecha es considerado como un cuarto factor de calidad. El planteamiento es que ya no sea el rendimiento el criterio único de selección, sino que se consideren otras características de interés desde el punto de vista de la seguridad en el establecimiento del cultivo; Isely y Steinbauer (citados por Delouche y Caldwell, 1962) remarcan la importancia del vigor como un concepto que se debe tomar en cuenta dentro de la planeación de los objetivos para la investigación en semillas; recalcan por otra parte que hay un buen número de pruebas de laboratorio, fisiológicas y bioquímicas que han sido desarrolladas para evaluar el vigor de semilla y plántula, pero muchas de esas pruebas son tan complicadas y costosas que es impráctico su uso en laboratorio. En México

poco se conoce sobre este aspecto y su relación con el rendimiento del cultivo; lo cual motiva a realizar investigaciones considerando la calidad de semillas dentro del proceso de mejoramiento; surgiendo entonces la necesidad de desarrollar metodologías prácticas y confiables que con relativa rapidez permitan evaluar el vigor.

Las anteriores consideraciones son las que dan origen a los planteamientos de esta investigación.

1.1 Objetivos

1. Evaluar la variación genética en la calidad biológica de semilla de líneas S_2 de maíz.
2. Valorar líneas S_2 de maíz tomando en cuenta el porcentaje de germinación y el vigor de plántulas.

1.2 Hipótesis

1. Existe variación para las características de germinación y vigor de plántula, en líneas S_2 de maíz derivadas de una misma variedad.
2. Un mayor porcentaje de germinación en semillas de maíz no necesariamente está asociado con valores altos en el vigor de plántula.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Antecedentes sobre el Concepto de Vigor en Semillas

El principal valor del concepto "vigor de semillas" se apoya en su aplicación en campo, donde puede ser usado para evaluar lotes de semillas altamente productivas.

Nobbe (citado por Perry, 1981) menciona que las semillas de mayor tamaño dentro de un lote producen raíces más grandes respecto a las semillas pequeñas, denominando este fenómeno "fuerza impulsora".

Kieselbach y Helm (citados por Fontes y Ohlogge, 1972) mencionan que el vigor de la semilla está relacionado con el tamaño de la misma; así, plántulas más vigorosas producirán plantas más vigorosas conforme progresa el cultivo, puesto que antes de la nacencia de la semilla ésta ya poseía dicha capacidad.

Kidd y West (citados por Camargo y Vaughan, 1973) atribuyen a la condición fisiológica de la semilla la capacidad de crecimiento y desarrollo de las plantas; y a esta condición la llamaron "predeterminación fisiológica".

Heydecker (1969) menciona que se han aplicado otros nombres descriptivos para las características de vigor, tales como "energía de germinación" o "vitalidad"; sin embargo fue hasta 1950 durante el Congreso Internacional de Pruebas de Semillas, cuando a partir de las diferencias

de interpretación entre europeos y americanos; Frank (citado por Perry, 1981) propuso que la germinación debía ser una prueba internacional; en la misma reunión fue formado el Comité de Pruebas de Vigor de Semillas el cual debía de definir el concepto vigor y estudiar la forma de estandarizar su determinación.

Según Perry (1980), germinación, pureza y sanidad eran los tres criterios de calidad de semillas. Se considera sin embargo que este tipo de pruebas no especifica claramente la calidad de una semilla para su posterior comercialización; por lo que desde hace aproximadamente unos 15 años se ha venido incrementando la importancia del vigor como un componente del análisis de semillas en Europa y Estados Unidos (McDonald, 1975).

Perry (1980) especifica que los resultados de una prueba de vigor proveen más información sobre la calidad de las semillas que las pruebas estándar de germinación, ya que hay semillas con alto porcentaje de germinación que no necesariamente son de alto vigor. También se ha observado que el efecto del vigor de semillas en la producción de los cultivos, es a menudo complejo; por ejemplo, en cultivares de cebada se observó que bajas densidades de población derivaron de semillas con bajo vigor y por lo tanto con menor capacidad de desarrollo; sin embargo poblaciones con alta densidad que derivaron de semilla vigorosa no tuvieron ningún problema en la producción.

Quern (citado por Perry, 1980) especifica como característica de semillas con alto vigor, que de ellas se puede esperar una germinación

uniforme y emergencia y desarrollo más rápido y temprano; así por ejemplo, en cultivares como betabel y lechuga la producción puede incrementarse si se obtiene de plantas que emergieron rápidamente y con buena aptitud competitiva. Esto mismo ha sido observado en zanahoria; de lo cual se postula que el vigor puede tener una influencia importante en la producción y sus componentes.

2.2 Definición del Concepto Vigor en Semillas

Aunque hasta el momento no hay una definición precisa de vigor en semillas, a continuación se citan las que proponen varios autores:

Delouche y Caldwell (1962) mencionan que en un sentido negativo el vigor de semillas es definido inicialmente como un algo no medible reflejado adecuadamente en la prueba de germinación estándar.

Isely (1958) puntualizó que debían de predominar dos puntos de vista en la mayoría de los conceptos de vigor: la susceptibilidad a condiciones desfavorables de campo y, el vigor por sí mismo, que se refleja en la velocidad de germinación y en la tasa de desarrollo de plántulas, por lo que se define como la suma total de todos los atributos de las semillas los cuales favorecen el establecimiento bajo medio ambientes adversos.

Heydecker (citado por McKenzie *et al.*, 1980) definió el vigor de plántula como la habilidad que éstas poseen, para emerger su parte aérea del suelo o del agua en condiciones subóptimas.

Webster (citado por Woodstock y Feeley, 1965) definió el vigor como una "potencia o fuerza activa" naturales en animales y plantas que implican sanidad, robusticidad y un desplazamiento de energía o potencia derivada de éstos.

Woodstock y Feeley (1965) definieron vigor como la sanidad y robusticidad natural que permite una rápida y buena germinación, así como una buena capacidad competitiva bajo una amplia gama de condiciones ambientales tanto favorables como desfavorables.

Heydecker (1969, 1972) y Woodstock (1973) mencionan que en un sentido más amplio, vigor es la capacidad de la semilla para desarrollarse plenamente en el campo, y que dicha capacidad está determinada por el genotipo, por el medio ambiente y por la interacción de éstos, cuyo efecto final será la alta productividad de un cultivo.

Edje y Burris (1970), McDonald (1975) y Ching *et al.* (1977) definieron vigor como el potencial de las semillas para germinar rápida y uniformemente bajo condiciones adversas y óptimas. Este criterio implica el establecimiento temprano y ventaja competitiva sobre las malezas y microflora, produciéndoles así los más altos rendimientos en campo.

Perry (1981) menciona que el Comité Internacional de Pruebas de Vigor en 1977, lo definió como la suma total de todas las propiedades de una semilla, lo cual determina un nivel potencial de actividad y comportamiento de las semillas de un lote, durante la germinación y emergencia, señalando las propiedades en las que se considera está afectado el nivel de vigor y que se pueden observar en las siguientes áreas:

1. Reacciones y procesos bioquímicos durante la germinación.
2. Velocidad y uniformidad en la germinación de la semilla y crecimiento de plántula.
3. Velocidad y uniformidad en la emergencia y desarrollo en condiciones de campo.
4. Habilidad para emerger bajo condiciones medioambientales desfavorables.

Además de estas propiedades, el Comité reconoce que los efectos del vigor en semillas pueden persistir para influenciar el desarrollo de la planta madura, la uniformidad del cultivo y el rendimiento. Asimismo considera una serie de factores que afectan el vigor, tales como:

1. Constitución genética
2. Medio ambiente y nutrición de la planta madre
3. Etapa de madurez a la cosecha
4. Tamaño, peso y gravedad específica de la semilla
5. Integridad mecánica
6. Envejecimiento y deterioro
7. Daño por patógenos

Anfinrud y Schneiter (1984) definieron vigor como un alto potencial para producción de plántulas normales y sanas bajo condiciones adversas, como pudieran ser: condición genética, deterioro de la semilla o daños por otras causas.

Villaseñor (1984) propone se defina vigor como la capacidad de la semilla puesta en diversas condiciones ambientales para emerger más rápidamente y producir la mayor cantidad de materia seca en el menor tiempo.

2.3 Madurez Fisiológica y su Relación con Vigor

Copeland (1976) señala que el máximo grado de madurez alcanzado por la semilla, tanto fisiológico como físico, es una expresión de vigor.

Harrington (1972) y Douglas (1977) definieron como punto de madurez fisiológica aquél que normalmente coincide con el máximo poder germinativo y máximo vigor de la semilla, características que variarán según las condiciones ambientales durante el desarrollo de la planta y maduración de la semilla.

García (1979) menciona que en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), estudiaron madurez fisiológica así como la relación entre el estado de desarrollo de la semilla con el contenido de materia seca, porcentaje de germinación y vigor en arroz (*Oryza sativa* L.). Para ello dividieron la fase de maduración de una semilla en tres etapas: la primera caracterizada por el crecimiento lento de la semilla, por el inicio de la acumulación de materia seca, y por un alto contenido de humedad (50 a 60%) con duración de una a dos semanas. La segunda definida por un máximo tamaño de la semilla, un rápido incremento progresivo del vigor, y una duración de tres a tres y medio semanas. En la tercera se alcanza el máximo contenido de materia seca, el máximo vigor y una

disminución gradual de la humedad y del tamaño de la semilla, hasta alcanzar el equilibrio en el medio.

En resumen, el máximo vigor de la semilla está estrechamente relacionado con el período de madurez fisiológica, por lo que Delcouché (1964) opina que es muy importante el conocimiento del momento más adecuado para la cosecha, con el fin de evitar deterioro en la calidad de la semilla, y que retrasar la cosecha después de su maduración equivale a almacenar la semilla en campo, bajo condiciones desfavorables de humedad y temperatura.

2.4 Factores que Determinan el Vigor de la Semilla

Es claro que el vigor es un concepto multicompuesto más complejo que una simple propiedad cuantificable (Perry, 1981). Por lo que existen diferentes opiniones, de tal manera que Woodstock (1969) y Perry (1972), restringen éstos a algunas causas de origen fisiológico; en cambio Isely (1957) y Heydecker (1969) los extienden a causas endógenas y exógenas. No obstante estas diferentes opiniones, en todos los casos existe la idea de variación en el comportamiento y actividad de la germinación en las semillas.

Kidd y West (citados por Carlenton y Cooper, 1972) mencionan que el medio ambiente durante la maduración de la semilla es determinante para la expresión de vigor, concluyendo que las condiciones ambientales pueden afectar directamente a la semilla por medio de la posición que guarda en la planta, y también afectarla indirectamente por la influencia

que ejerce sobre la distribución de la materia seca entre los diversos órganos de la planta.

Isely (1957) describe que el vigor en campo se manifiesta primeramente por una susceptibilidad diferencial de las semillas y plántulas al ataque en el suelo por microorganismos, debido más bien a la condición ecológica en favor de estos últimos; ésto es, que las condiciones físicas adversas de temperatura y humedad por sí mismas, no dan por resultado la muerte de la semilla de malezas sino que más bien crean un balance en favor de los microorganismos del suelo.

Hunter (citado por Villaseñor, 1984) considera que el vigor es altamente complejo, y que dentro de los factores endógenos a nivel bioquímico se incluye la energía y el metabolismo biosintético, la coordinación de las actividades celulares y, el transporte y utilización de sustancias de reserva; además, considera que el vigor es una característica genética de la planta expresada en la semilla, que se ve afectada por condiciones exógenas como nutrición de la planta madre, daños mecánicos durante el procesamiento y deterioro durante el almacenaje, que incluye el ataque de plagas y enfermedades.

Ching (1973) afirma que el buen desarrollo de la planta depende tanto de procesos bioquímicos como fisiológicos, puesto que los efectos de germinación y desarrollo están altamente relacionados con un mayor número de mitocondrias y mayor actividad de síntesis de ATP.

Copeland (1976) da más énfasis a la constitución genética de la planta madre, comparando líneas de maíz que con igual tamaño de semilla

presentan diferente expresión de vigor en estado de plántula. Asimismo, dentro de la constitución genética también considera la maduración de la semilla, uniformidad en maduración a la cosecha y tamaño de la semilla como factores importantes. Como factores exógenos considera a la fertilidad del suelo, daños mecánicos, densidad de población, edad de la semilla, grado de deterioro y ataque de microorganismos. De aquí que existen diferencias de vigor entre especies, variedades y aún dentro de variedades.

Hartmann y Kester (1976) mencionan que el resultado de una semilla de alta calidad está en el proceso acumulativo, el cual debe hacerse en forma adecuada. Esas semillas deben ser llenas y pesadas para su tamaño. Como el crecimiento inicial de la planta depende de los materiales de reserva, las semillas más pesadas deben tener mejor germinación y producir plántulas más vigorosas. Si algunas condiciones interfirieran en este proceso de almacenamiento, en forma tal que se acumulen menos materiales de reserva, las semillas resultarían delgadas, arrugadas y livianas. Entre más severas sean esas condiciones menos podrá la semilla sobrevivir a períodos de almacenamiento, su germinación será deficiente y producirán plántulas poco vigorosas.

La Asociación Internacional de Pruebas de Semillas (ISTA) (citado por Perry, 1981), en la definición que da para vigor, enumera una serie de factores endógenos y exógenos a la planta que ocurren desde la producción hasta el almacenamiento.

Perry (1980) menciona que el máximo nivel de vigor accesible para un lote de semillas está determinado por el genotipo, pero puede ser

modificado por las condiciones de la planta madre, como nutrición y sanidad que pueden afectar el tamaño de la semilla o su composición.

Isely (1957) y Perry (1981) mencionan que siendo el vigor afectado por una serie de factores, todos ellos interaccionando entre sí, es necesario brindar al genotipo los niveles óptimos de cada uno de esos factores para obtener el máximo grado de vigor en un lote de producción de semillas.

Anfinrud y Shneiter (1984) mencionan que características de la semilla y plántulas tales como almacenabilidad, tasa de germinación, e-mergencia uniforme bajo diversas condiciones, habilidad para emerger en suelos encostrados, germinación y emergencia en suelos fríos, húmedos e infestados de patógenos, desarrollo normal de plántulas y cómo influyen en el rendimiento del cultivo, son todos componentes del vigor de semillas.

2.5 Metodologías y Resultados en la Evaluación de Vigor en Semillas

Los métodos para probar vigor están íntimamente asociados con varios conceptos que son ampliamente difíciles para discutirlos separadamente. Por ejemplo, el concepto de vigor es manifestado como susceptibilidad a condiciones desfavorables de campo y parece tener una evolución natural en la prueba fría para maíz.

Isely (1957) categorizó las pruebas de vigor en dos tipos: a) las pruebas directas, las cuales se realizan en condiciones de campo no

controlables y, b) pruebas indirectas, las cuales miden ciertos atributos fisiológicos de las semillas; con la ventaja de que se realizan bajo medio ambientes controlados y son reproducibles sus resultados en un tiempo mucho menor. Clasifica a su vez las pruebas indirectas en cuatro grupos: 1) prueba bioquímica, la cual se basa en el uso de Tetrazolium como una forma de evaluar vigor, y cita a Rice (1959) quien encontró que la intensidad en color que adquiriría el embrión después de algún tiempo (15 minutos) está relacionada con el vigor de las semillas; 2) prueba de tasa de desarrollo o velocidad de germinación y prueba relacionada con el peso seco de plántula; 3) prueba de estrés; donde las condiciones de tensión que han sido usadas son, temperatura desfavorable y niveles de humedad, exposición bajo condiciones de vacío; semilla remojada en hidróxido de sodio, agua caliente y barreras mecánicas, como ladrillo molido; y 4) prueba de medición física, sobre la cual Priesley (citado por Delouche y Caldwell, 1962) describe una prueba para algodón basada en los cambios de permeabilidad asociado con deterioro; utilizando la tasa de lixiviación de electrolitos de las semillas por medio de un puente de resistencia, en la que encontró una buena correlación entre grado de lixiviación y comportamiento en campo.

Copeland (1976) menciona siete aspectos donde es factible evaluar el vigor; siendo éstos:

1. Germinación rápida.
2. Uniformidad en la germinación y desarrollo de plántulas bajo condiciones ambientales desfavorables.

3. Habilidad para emerger a través de una costra de suelo.
4. Germinación y emergencia de plántulas en ambientes desfavorables, como pueden ser: bajas temperaturas, microorganismos y humedad.
5. Desarrollo morfológico normal de las plántulas.
6. Rendimiento del cultivo, y
7. Almacenamiento bajo condiciones adversas

Copeland (1976) considera asimismo que el vigor de la semilla se observa más fácilmente durante la emergencia, siendo posible en esta etapa de desarrollo encontrar mayor diferencia entre genotipos con diferente vigor e incluso entre lotes de un mismo genotipo, lográndose así seleccionar aquellos lotes que aseguren mayor emergencia, establecimiento del cultivo y capacidad competitiva. Esto también lo han señalado Delouche y Caldwell (1962).

McDonald (1975) sugiere que las pruebas de vigor sean baratas, sencillas, rápidas, con alta funcionalidad en campo y objetivas. Divide las pruebas de vigor en tres categorías: 1) pruebas físicas, en las cuales se miden características como tamaño, peso y densidad. 2) pruebas fisiológicas, en donde se miden parámetros de germinación y desarrollo, y 3) pruebas bioquímicas, en las que se involucran características del metabolismo celular. También propone la combinación de varias pruebas de vigor en una misma evaluación, y cita a Teckromy (1973) quien propuso un índice de vigor con rango de 0 a 5, basado en cuatro pruebas, las cuales juntas proporcionaron un solo valor para la evaluación del vigor.

Kiesselbach y Weihing (citados por Martínez, 1984) estudiando el sistema radicular de varias líneas de maíz encontraron que éstas presentaban diferente número de raíz principal por planta, diferente número de ramificación por unidad de longitud de raíz principal y diferente extensión de las raíces laterales; el mismo autor cita a Andrew y Solanky (1966) quienes también encontraron diferencias significativas en raíces de plántulas en cuanto a número, longitud, volumen y peso seco de raíz seminal y relación ápice-raíz.

Rice (citado por Delouche y Caldwell, 1962) encontró en pruebas de germinación estándar una relación íntima entre desarrollo radicular y porcentaje de germinación, siendo el más alto desarrollo de raíz, el de 154.0 mm con un 97% de germinación, y el más bajo de 25.5 mm con 88.5% de germinación.

Woodstock y Feeley (1965) demostraron que la tasa de respiración durante las primeras 24 horas de germinación, está positivamente correlacionada con el desarrollo de la plántula durante los siguientes dos o tres días, siendo sus valores altamente significativos. La correlación fue significativa no sólo cuando se compararon las tasas de desarrollo y respiración en diferentes tratamientos (calor y frío) de variedades aisladas sino también entre diferentes variedades; concluyendo que estos valores potenciales pueden utilizarse como un ensayo de vigor en semillas de maíz.

Fritz (1965), realizando estudios en semillas de cereales, estableció que la emergencia en campo es frecuentemente más baja que la

germinación en el laboratorio; estas diferencias dependieron sobre todo de las condiciones poco controladas en campo que no se dan en el laboratorio, y otras veces debidas al bajo vigor de las semillas, el cual no es detectado en una simple prueba de germinación, ni bajo condiciones favorables de campo. Asimismo, encontró que entre germinación y emergencia en invernadero no hubo diferencias significativas y que las diferencias entre vigor y emergencia en suelo fueron altamente significativas. Tomando esta prueba de vigor como una expresión sensible para un potencial de debilidad en la semilla sólo detectado bajo condiciones adversas.

Fritz (1965), después de una serie de investigaciones preliminares, observó que un buen método de evaluación de vigor fue colocar las semillas en una caja de germinación con arena, cubiertas con papel filtro estándar, y encima de ésta otra capa de arena; el número de plántulas normales que penetraron el papel, fue lo que se tomó como parámetro de vigor.

Inouge e Ito (1969), estudiando la capacidad de emergencia en siembra directa, con 11 cereales, observaron una alta correlación entre velocidad de elongación de la plúmula y emergencia del suelo; siendo los cereales con mayor capacidad de emergencia, el sorgo y el maíz, atribuyéndolo a que probablemente en la semilla está correlacionado el vigor de plúmula y su capacidad de empuje contra el suelo para emerger de éste.

Abdullahi y Vanderlip (1972), consideraron que la prueba de germinación estándar es uno de los mejores métodos de evaluación de semillas

en cuanto a capacidad germinativa bajo condiciones favorables de campo, y que las pruebas de vigor comprenden envejecimiento artificial de semillas, pruebas de frío y sumersión de las semillas en NH_4Cl . Las pruebas anteriores fueron comparadas entre sí y se determinó su correlación con el establecimiento en campo con semillas de sorgo. Todas las pruebas tuvieron una correlación significativa con el establecimiento de las plántulas en campo; siendo la mayor correlación para el tratamiento con NH_4Cl .

Jones y Peterson (citados por McKenzie *et al.*, 1980), evaluaron plántulas vigorosas de arroz bajo condiciones subóptimas de laboratorio y encontraron que la altura de plántulas desarrolladas en 15 días a 18°C correlacionó significativamente con los resultados obtenidos en pruebas de campo (días a emergencia, porcentaje de emergencia e índice de emergencia). Citan a Li y Rutger (1979) quienes usando este mismo método evaluaron la herencia de plántulas vigorosas en cruzamientos dialélicos entre líneas de arroz de alto, medio y bajo vigor, y encontraron una alta heredabilidad entre plántulas vigorosas (57 y 70% para F_1 y F_2 , respectivamente), indicando que la mayor parte de heredabilidad fenotípica fue controlada por genes con aditividad.

Helmer *et al.* (1962), evaluando algunos índices del deterioro del vigor bajo almacenamiento en semillas de trébol variedad Crimson Clover, encontró que las respuestas germinativas después de un período de almacenamiento bajo condiciones inadecuadas estuvieron correlacionados con el porcentaje de emergencia; hallando resultados similares en pruebas de campo. Asimismo, observaron que los tratamientos de cloruro de

amiento resultaron ser muy efectivos para diferenciar entre alto y bajo vigor, atribuyéndolo a las diferencias en permeabilidad; las semillas de bajo vigor son más permeables que las de alto vigor, y en consecuencia absorben más fácilmente el tratamiento con un efecto tóxico considerable.

Ross y Manalo (citados por McDonald, 1975) encontraron que midiendo el peso del epicótilo del frijol después de la emergencia proporcionaba una buena prueba de vigor, y que estas pruebas que evalúan el crecimiento de las plántulas son excelentes parámetros para la evaluación de vigor en semillas.

Ching *et al.* (1977) para determinar criterios de selección y poder predecir tasa de emergencia en campo, compararon en dos cultivares de cebada trece parámetros de vigor: peso de semilla, contenido de ATP (trifosfato de adenosin), actividad de alfa-amilasa del endospermo a los 5 y 3 días, contenido de ATP del embrión hidratado en cuatro horas, contenido total de ATP en el embrión a los 4 días, peso seco de plántulas a los 7 y 3 días y longitud de plántula a los 3 días. Encontraron que todos los parámetros tuvieron una alta correlación significativa con la tasa de emergencia en campo, resultando como mejores estimadores del vigor, el peso de semilla, contenido de ATP, contenido de ATP del embrión hidratado y el peso seco de plántulas a los 7 días.

Teckrony y Egli (1977) desarrollaron un índice de vigor a partir de convertir los resultados de tres pruebas en una escala con rango de 0 a 10. Los tres índices de vigor evaluados y las tres pruebas usadas en

cada uno fueron: VR-1 (germinación estándar, germinación al cuarto día y germinación acelerada). VR-2 (germinación estándar y germinación acelerada). VR-3 (germinación estándar y germinación al cuarto día), resultando como mejor estimador de la emergencia en campo el índice VR-1.

Yaklich *et al.* (1979), trabajando con siete cultivares de semilla de soya en 1975 y ocho cultivares en 1976, evaluaron la emergencia, establecimiento y rendimiento en dos tipos de suelo. Concluyeron que la emergencia de plántulas y el establecimiento fueron mejores en el tipo de suelo arenoso que en el tipo de suelo arcilloso, y mejor para la fecha de plantación óptima. En las dos fechas de plantación los coeficientes de correlación para emergencia y establecimiento fueron altas y significativas; sin embargo, los análisis de varianza mostraron que los lotes de semilla no se comportaron igual en los sitios y fechas de plantación para 1975; en tanto que en ambos años las correlaciones entre establecimiento y rendimiento fueron bajas ($r = 0.36$); pero entre establecimiento y rendimiento por planta fueron altas y significativas ($r = 0.86$).

Pinthus y Kimel (1979) investigaron el efecto de la velocidad de germinación sobre el desarrollo y producción de semilla de soya en experimentos de invernadero y campo. En ambas condiciones el desarrollo foliar, la acumulación de materia seca y el rendimiento de semillas de las de rápida germinación excedieron a las plántulas de germinación lenta. En los experimentos de campo el promedio del rendimiento de semillas de las parcelas sembradas con semilla que germinó al cuarto y quinto día después de sembradas, excedieron en 22% el rendimiento de las

parcelas con germinación de 6, 7 y 8 días después de sembradas. Concluyen que el efecto de la germinación rápida sobre el desarrollo posterior daba cultivos altamente redituables. Por otro lado, en pruebas continuas de las progenies de los distintos grupos, determinaron que las diferencias en la velocidad de germinación no son heredables.

Yaklich y Kulik (1979), evaluando 81 y 144 lotes de semilla de soya (*Glycine max* (L.) Merr.), bajo diferentes pruebas de vigor con el fin de desarrollar modelos de predicción de la emergencia en campo; encontraron que la mayoría de las mediciones de las pruebas de laboratorio correlacionaron significativamente con la emergencia en campo, con valores de $r = 0.80$; además las correlaciones mostraron una tendencia dependiente del tipo de suelo pero no de las fechas de plantación. Las correlaciones de las pruebas de laboratorio con rendimiento fueron bajas, $r = 0.34$ y $r = 0.28$, para 1975 y 1976, respectivamente; concluyendo que el rendimiento depende de la germinabilidad más el vigor de las semillas.

Minton y Supack (1980) encontraron que la germinación y emergencia rápidas, aseguran el desarrollo de plántulas vigorosas y mejoran la oportunidad de obtener una producción altamente rentable. Lo anterior fue determinado a partir de pruebas con semillas de mayor peso en diferentes lotes de algodón, y cotejaron su experimento con el realizado por Chester (1938), Arndt (1945) y Minton (1968), quienes encontraron que se millas poco pesadas iban estrechamente correlacionadas a una alta incidencia de enfermedades.

Mckenzie *et al.* (1980) mencionan que el efecto de herencia simple para altura de planta, madurez y pubescencia en plántulas de arroz, es ta estrechamente correlacionado con vigor; para lo cual líneas homocigóticas F_4 fueron estudiadas en varias pruebas de laboratorio y siembra por inundación en experimentos de campo. Encontraron que la altura de las plantas maduras y la madurez no tuvieron efectos significativos sobre la altura de las plántulas en laboratorio. Las líneas pubescentes mostraron mayor vigor que las líneas glabras, y emergieron primero en la prueba de campo. Asimismo, algunas líneas glabras exhibieron el mismo vigor de las pubescentes. Las líneas más altas mostraron un mayor porcentaje de emergencia que las líneas semienanas, y hubo una interacción significativa entre altura, madurez y pubescencia, para porcentaje e índice de emergencia. Parece ser que los niveles de altura moderada de vigor de plántula pueden ser alcanzados en cultivares de arroz semienano de alto rendimiento.

Villaseñor (1984), evaluando la prueba de germinación en rollos de papel sobre charolas de plástico obtuvo un porcentaje de germinación de 60% mínima y 79% máxima, con una altura de plántula de semillas de maíz, de 10 cm aproximadamente a los 7 días después de la siembra; considerán dola como una forma práctica para la evaluación de vigor, después de haber realizado varios ensayos con otras pruebas.

Martínez (1984), comparando líneas e híbridos de maíz a partir de pruebas de viabilidad, emergencia y velocidad de crecimiento inicial; encontró que las líneas S_1 presentaron mayor porcentaje de germinación y emergencia que las líneas S_2 (80.0 y 54.7%, respectivamente), lo cual

pujera ser resultado del mayor número de autofecundaciones en la disminución de vigor; así como que el vigor de emergencia y de germinación, el período de emergencia y la velocidad de crecimiento inicial de plántulas requieren mayor número de días para expresarse en semillas S_2 que el híbrido. Por otra parte, observó que no hubo una mayor o menor apor-tación de hojas o raíz con respecto al peso final de plántula sino que ésta fue indistinta y lo atribuyó a una mayor capacidad de los híbridos, con respecto a las líneas. También observó que la prueba en cámara de germinación resultó ser más confiable que la prueba de Tetrazolium para evaluar el vigor en semilla de diferente condición genética.

Anfinrud y Shneiter (1984), evaluando 8 lotes de semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.) de similar tamaño y procedentes de un mismo híbrido; usaron varias pruebas de vigor, y las compararon con el comportamiento en campo en 2 fechas de plantación; encontrando una correlación significativa entre porcentaje de emergencia y germinación a 10 y 21°C, con valores de $r = 0.79^*$ y $r = 0.71^*$, respectivamente. La prueba de conductividad eléctrica por lixiviación de semillas, la clasificación de plántulas de acuerdo a vigor, la germinación a 10°C y el envejecimiento acelerado resultaron tener las más altas correlaciones significativas con el porcentaje de emergencia de plántulas en el campo que con la prueba de germinación a los 21°C. Debido a que las correlaciones más altas correspondieron al índice de emergencia en la plantación del 24 de abril, indicaron que las pruebas de vigor pueden predecir mejor el comportamiento en campo bajo siembras tempranas que tardías.

Black (citado por Haskins y Gorz, 1975), estudiando el tamaño de semilla, concluyó que la acumulación de materia seca durante el

el desarrollo temprano en plántulas está directamente relacionado con el tamaño de la semilla, y que la semilla grande da ocasión a plántulas más gruesas y coloración más fuerte. Datos muy similares fueron encontrados por Myntton (1937), Townsen (1972), Ries y Everson (1973); entre otros (citados por Haskins y Gorz, 1975).

Voigt *et al.* (1966) trabajaron con una variedad de sorgo de semilla grande y otra de semilla pequeña, las generaciones F_1 y F_2 generadas por cruza, y las dos primeras retrocruzas, las cuales fueron valoradas con el fin de entender mejor cómo es heredado el tamaño de semilla y valorar la posibilidad de incrementar el tamaño de la semilla a través de la selección. Un estudio preliminar indicó que una muestra de 300 semillas de cada planta daba una precisión adecuada.

Carlenton y Cooper (1972), realizando estudios en leguminosas forrajeras, observaron que no siempre a mayor tamaño de semilla entreclo nes dentro de una especie, correspondió mayor vigor, mas sí lo fue cuando se compararon tamaños de semilla en una misma planta en tres especies diferentes.

Smith *et al.* (1973), estudiando el efecto del tamaño de la semilla y el peso, encontraron que el peso de la semilla de lechuga fue más importante que el ancho y grosor de la misma en la predicción de vigor.

Burris (1973) separó cuatro tamaños de semilla de soya y encontró que los tres tamaños mayores rindieron significativamente más que el tamaño chico; no obstante, en las semillas cosechadas de los cuatro lotes

no se observaron diferencias en la germinación, tamaño o calidad de las mismas.

Haskins y Gorz (1975), al comparar semilla grande, mediana y chica en dos variedades de trébol, observaron que conforme aumentaban la profundidad de siembra (19, 38 y 57 mm) se redujo el número de plántulas por parcela en los tres tamaños, al mismo tiempo que aumentaba su contenido de materia seca. Comparando avena con y sin madrina observaron que el cultivo madrina tuvo poco efecto sobre la emergencia, pero aumentó el acame y se redujo el peso de las plántulas, y por ende el peso seco. Concluye que el tamaño de la semilla tiene influencia importante en la emergencia y en el desarrollo rápido de las plantas; así como que el mayor tamaño de semilla entre y dentro de variedades da mayor producción de materia seca.

McDonald (1975) menciona que el contenido de proteína está estrechamente relacionado con el vigor y tamaño de las semillas; de tal forma que a mayor tamaño mayor cantidad de proteína, y que su determinación es simple y rápida; cita a Lowe y Ries (1973), quienes afirman que la proteína del endospermo de trigo es mejor indicador del potencial de desarrollo de la plántula que la proteína del embrión.

Knittle y Burris (citados por Martínez, 1984), en pruebas de laboratorio con semillas de maíz encontraron que el mayor peso seco de éstas está correlacionado con el mayor peso seco de la parte aérea y raíz de plántula.

Fakorede y Ojo (1981) observaron variación considerable entre plántulas vigorosas de 36 poblaciones de maíz bajo dos ambientes, empleando como criterios de vigor; porcentaje de emergencia, índice de emergencia, peso seco de plántula, tasa de índice de emergencia, tasa de crecimiento, y tasa relativa de crecimiento hasta los 30 días después de la siembra, y encontraron que los valores de heredabilidad y las varianzas ambientales mostraron que el porcentaje de emergencia e índice de emergencia, fueron mejores indicadores de vigor que la tasa de índice de emergencia, en tanto que la tasa relativa de crecimiento fue mejor indicador que la tasa de crecimiento. Concluye que el porcentaje de emergencia, índice de emergencia y tasa relativa de crecimiento fueron los mejores parámetros de evaluación de vigor por ser los más heredables y en consecuencia, los menos influenciados por el medio ambiente.

Townsend y Wilson (1981), realizando estudios en *Astragalus cicer* L. con el fin de determinar característica de desarrollo entre plántulas derivadas de diferentes pesos de semilla (3.2, 3.6, 4, 4.4, 4.8, 5.2 y 5.6 g/1000 semillas) y diferente régimen de temperaturas; encontraron que las características de vigor de ciertas plántulas eran completamente independientes del peso de la semilla, pero que la ventaja inicial de progenies de semilla pesada tiende a ser mantenida en las fases tempranas del desarrollo de plántula, como indicador del peso final de ésta. Por lo que concluye que la selección de poblaciones de semilla con mayor peso es un progreso adicional en el mejoramiento del vigor de las plántulas a través de la selección para tasa relativa de expansión del área foliar, tasa de asimilación neta u otras características importantes del desarrollo.

Artola (1983), realizando estudios en semillas de sorgo, encontró correlaciones positivas entre la tasa de crecimiento y el peso de 1000 semillas, germinación al cuarto día y porcentaje de germinación, no siendo así con el rendimiento en el cual obtuvo una correlación negativa.

Virgen (1983), evaluando algunas pruebas de vigor en semillas de maíz, encontró correlaciones significativas entre tamaño de semilla y el peso seco de plántula ($r = 0.24^{**}$); aduciendo que a mayor tamaño de semilla hay mayor vigor de plántula, y que éste va a depender más posiblemente de la cantidad de endospermo y del genotipo de la semilla. Asimismo, señaló como relaciones de más utilidad para definir posibles parámetros de vigor: la longitud de hoja primaria con altura de plántula ($r = 0.51^{**}$), peso seco de la hoja primaria ($r = 0.75^{**}$) y peso seco de plántula ($r = 0.42^{**}$); peso seco de hoja primaria con peso fresco ($r = 0.51^{**}$) y peso seco de plántula ($r = 0.58^{**}$); altura de plántula con peso fresco ($r = 0.76^{**}$) y peso seco de plántula ($r = 0.66^{*}$); y entre peso fresco y peso seco de plántula ($r = 0.88^{**}$). Por otro lado, resalta que la clasificación visual de vigor de plántula (considerados como un todo; altura, color, grosor) estuvo estrechamente correlacionado ($r = 0.50^{**}$) con peso seco, longitud de hoja primaria y altura de plántula, caracteres asociados a semillas de tamaño grande.

Villaseñor (1984), en una serie de investigaciones de laboratorio con semilla de maíz, separadas por tamaño grande y chico y evaluándolas a partir de peso seco, observó que la semilla grande tuvo mayor producción de materia seca de todas las partes muestreadas, lo que atribuyó al mayor tamaño de embrión y mayor contenido de sustancias de reserva,

y que la diferencia inicial en peso seco de las semillas entre ambos tamaños se mantuvo. Por otra parte, el vigor de las plántulas de maíz, expresado en mg de peso seco producido, resultó ser un carácter altamente heredable (31 y 42%). Por lo cual concluye que estos resultados apoyan la posibilidad de mejoramiento de híbridos de maíz, en base a características de calidad de las semillas formadas con líneas con pocas autofecundaciones. En la prueba de agotamiento de sustancias de reserva encontró que a mayor peso de semilla hubo mayor producción de materia seca entre genotipos y dentro de genotipos.

Corral (1985), trabajó en semillas de sorgo, para establecer una metodología de selección por vigor de plántula y tolerancia al frío en la etapa de germinación, además de evaluar la relación entre vigor de plántula y tamaño de semilla; concluyendo lo siguiente: 1) existe relación estrecha entre el peso de semilla y su vigor medido a través de la producción de materia seca por plántula o de materia seca total. 2) de diez tratamientos químicos probados el más efectivo fue la inmersión en hidróxido de sodio (NaOH) al 5% por 5 minutos, 3) la selección resultó igualmente efectiva en siembra directa y en cámara germinadora a 10 ó 20°C, y 4) los efectos de la selección no se reflejaron en la siguiente generación.

Sarkissian *et al.* (citados por Martínez, 1984), al estudiar el proceso de germinación en semillas de maíz híbrido y sus respectivas líneas, encontraron que las semillas de los híbridos tenían en el embrión y endospermo mayor cantidad de azúcares en forma reducida; por otro lado, el contenido de sacarosa descendió más rápido, la emergencia de la radícula se presentó más pronto, y la respiración fue mayor, indicando

ésto una tasa de actividad metabólica más rápida. Dichos resultados los atribuye a la mayor concentración de ácido giberélico de las semillas en germinación de los híbridos y al subsecuente desarrollo de las plántulas.

Mattheus y Bradnock (1968), estudiando lotes de semilla de chícharo *Pisum sativum* L. con bajo vigor encontraron que había mucho más baja cantidad de carbohidratos solubles que en los lotes con alto vigor de semilla.

Ovcharov *et al.* (citado por Martínez, 1984), estudiando dos lotes de semillas de maíz, uno con 96% de germinación y el otro con semillas no viables, encontraron que el contenido de azúcares en relación al peso seco total del embrión fue de 19.1 y 8.8%, el del escutelo 12.5 y 3.6% y el del endospermo 3.3 y 0.7%, respectivamente; de forma similar disminuyó la cantidad de fosfolípidos y proteínas, posiblemente debido a la poca capacidad de síntesis de novo en semillas poco vigorosas.

Browne (1949), realizando estudios de semillas de maíz, menciona que el comportamiento de las líneas como tales es función de su dotación génica.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Material de Laboratorio

Toallas sanitarias de 24.5 x 22.0 cm

Agua destilada

Charolas de plástico 37 x 25 x 8 cm

Termómetro Cenco 19243-5

Bolsas de papel de estrasa

Balanza analítica Ohaus, modelo 300

Cámara germinadora Seedburo, modelo 1022

Estufa comercial Ultramar, modelo HDP-867

Formaldehído (HCHO) solución al 2%

3.2 Material Genético

Se utilizaron 30 líneas S_2 de maíz origen Montecillos 1983 (Cuadro 1) derivadas de la variedad sintética VS-22, de ciclo intermedio, recomendada para los Valles Altos Centrales de México. El criterio para elegir las líneas fue el de la disponibilidad de semilla, producto de la autofecundación que dio origen a la generación S_2 .

3.3 Localización

El trabajo se desarrolló en los laboratorios del Colegio de Postgraduados, dentro de la Sección de Producción de Semillas, en Montecillos, México.

Cuadro 1. Relación de las 30 líneas S₂ de maíz utilizadas en el estudio

Tratamiento	Genealogía
1	VS-22 - (MS-95-4 x MS-66-5) - 1
2	VS-22 - (MS-3-2) - 1 - 2
3	VS-22 - (MS-5-1) - 1 - 1
4	VS-22 - (MS-5-1) - 1 - 4
5	VS-22 - (MS-5-3) - 1 - 1
6	VS-22 - (MS-5-3) - 3 - 2
7	VS-22 - (MS-6-3) - 1 - 1
8	VS-22 - (MS-6-5) - 1 - 2
9	VS-22 - (MS-6-5) - 1 - 3
10	VS-22 - (MS-8-1) - 1 - 2
11	VS-22 - (MS-8-1) - 1 - 1
12	VS-22 - (MS-8-1) - 2 - 2
13	VS-22 - (MS-8-1) - 2 - 3
14	VS-22 - (MS-8-1) - 2 - 4
15	VS-22 - (MS-10-3) - 1 - 3
16	VS-22 - (MS-12-5) - 1 - 2
17	VS-22 - (MS-15-2) - 3 - 1
18	VS-22 - (MS-15-2) - 4 - 1
19	VS-22 - (MS-18-1) - 1 - 1
20	VS-22 - (MS-19-2) - 1 - 3
21	VS-22 - (MS-19-4) - 2 - 1
22	VS-22 - (MS-40-5) - 1 - 1
23	VS-22 - (MS-40-5) - 1 - 3
24	VS-22 - (MS-41-4) - 1 - 1
25	VS-22 - (MS-41-4) - 1 - 3
26	VS-22 - (MS-43-4) - 2 - 1
27	VS-22 - (MS-83-1) - 1 - 2
28	VS-22 - (MS-84-3) - 1 - 1
29	VS-22 - (MS-87-3) - 1 - 1
30	VS-22 - (MS-95-5) - 1 - 1

3.4 Métodos

3.4.1 Número y caracterización de las semillas

Se contó el número de semillas disponibles para cada línea y después se caracterizaron visualmente considerando:

Forma. En general fue plana, aunque también existió el tipo bola (tratamientos 1, 15 y 16).

Tamaño. Este fue mediano para la mayoría de los tratamientos, con cierta variación entre ellos.

Color. En su mayoría se catalogó como color crema, pero las tonalidades fueron muy variables entre una y otra línea.

Peso de 100 semillas. Con una amplitud que varió de 38.8 g a 16.6 g con media de 28.9 g.

3.4.2 Establecimiento de la prueba para evaluar las líneas

De cada línea se separaron cuatro muestras de 25 semillas cada una, que correspondieron a otras tantas repeticiones, entre las que se buscó hubiera similitud en peso. En la prueba de germinación se utilizaron como sustrato toallas de papel, considerando como unidad experimental dos rollos en los cuales se colocaron las 25 semillas (12 en uno y 13 en el otro).

Los tratamientos se prepararon colocando tres toallas previamente remojadas en agua destilada, y sobre éstas, las semillas con el ápice hacia abajo en línea recta y perpendiculares al ancho de la toalla; luego se cubrieron con otras dos toallas, doblándose éstas en su extremo inferior, para después hacer un rollo con ellas; los rollos fueron acomodados en cuatro charolas de plástico, auxiliándose por un enrejado de alambre con el fin de permitir mayor aereación entre ellos. Correspondieron dos rollos por cuadro de la reja y 30 líneas por charola; la cual se mantuvo con una lámina de agua destilada de aproximadamente 3 cm; habiendo quedado la semilla a una distancia aproximada de 10 cm sobre el espejo del agua.

Arregladas de acuerdo al diseño experimental de bloques al azar, las 30 líneas con cuatro repeticiones (una charola representó una repetición), fueron colocadas en la cámara germinadora a 25°C por 7 días. La germinadora fue previamente limpiada con formaldehído, con el fin de evitar la contaminación en las semillas.

3.4.3 Toma de datos

3.4.3.1 Porcentaje de germinación. Transcurridos los siete días reglamentarios para la prueba, en cada repetición se cuantificó el porcentaje de germinación, y posteriormente obtener el promedio para cada una de las líneas.

3.4.3.2 Variables de longitud. Se calcularon a partir de tomar cinco plántulas al azar por repetición, las cuales se separaron en sus componentes de parte aérea, raíz y resto de semilla (entendiéndose por

ésta como la parte que quedó una vez desprendida la radícula y la plántula la), cuantificando la longitud en centímetros de la raíz y de la parte aérea; en seguida se procedió a separar las 20 plántulas restantes en sus componentes; colocándose en respectivas bolsas previamente identificadas; para posteriormente llevarlas a peso seco. De esta forma las variables obtenidas fueron: longitud de la parte aérea (LPA); longitud de la raíz (LR); y longitud de la plántula (LP).

3.4.3.3 Variables de peso seco. Se obtuvieron mediante secado a estufa a 70°C por tres días, al término de los cuales se cuantificó el peso seco en mg, de la raíz, de la parte aérea, y del resto de semilla; resultando así las variables: Peso seco de la raíz (PSR); peso seco de la parte aérea (PSA); peso seco del resto de semilla (PSS); y peso seco de la plántula (PSP).

3.4.5 Análisis estadístico de datos

Con los datos obtenidos para las siete variables se hizo el análisis de varianza de acuerdo al diseño, y se compararon las medias empleando la prueba de rango múltiple de Tukey (al 5% de probabilidad); finalmente se hizo un análisis de correlación entre las variables en estudio, para ver el grado de asociación entre ellas.

IV. RESULTADOS

4.1 Análisis de Varianza

En los resultados del análisis de varianza (Quadro 2) se aprecian diferencias altamente significativas para la mayoría de las variables en estudio, tanto para repeticiones como para tratamientos, y de estos últimos, longitud de raíz y longitud de plántula no presentan significancia estadística alguna.

Las diferencias encontradas en todas las variables para los factores de variación, repeticiones y tratamientos, indican que la elección del diseño fue adecuada y que hubo una respuesta distinta entre líneas, debido probablemente a su diferente constitución genética.

Los cuadrados medios para las variables de peso seco (PSR = 0.2**, PSA = 0.2**, PSS = 3.4** y PSP = 5.7**), resultaron altamente significativos, indicando respuestas diferenciales de los genotipos para estas variables; con coeficientes de variación (C.V.) de 20.7% para peso seco de raíz, 17.3% para peso seco de la parte aérea, 13.6% para peso seco del resto de semilla, y 10.9% para peso seco de plántula; valores aceptables que sugieren buen manejo en los tratamientos y confiabilidad en los resultados.

Por el contrario, en los cuadrados medios para las variables de longitud (LPA = 29.7**, LR = 19.0 y LP = 59.6) se aprecia que sólo longitud de la parte aérea tuvo diferencias altamente significativas; con

Cuadro 2. Cuadrados medios y su significancia estadística en el análisis de varianza de las diferentes variables en estudio de las 30 líneas S₂ de maíz

FV	GL	LPA	LR	LP	PSR	PSA	PSS	PSP
Repetición	5	249.7**	572.4**	1589.7**	0.4**	0.7**	6.6**	2.0**
Tratamiento	29	29.7**	19.0	59.6	0.2**	0.2**	3.4**	5.7**
Error	87	12.6	19.3	48.5	0.02	0.02	0.22	0.28
C. V. %		31.1	38.4	30.2	20.7	17.3	13.6	10.9

C. V. de 31.1% para longitud de la parte aérea, 38.4% para longitud de raíz y 30.2% para longitud de plántula, valores tan altos que sugieren poca confiabilidad, aunque cabe la posibilidad de que el tamaño de muestra no fue lo suficiente para dar una precisión adecuada de estas características.

4.2 Prueba Comparativa de Medias

4.2.1 Variables de peso seco

En los Cuadros 3 y 4 se presentan los valores obtenidos en la prueba comparativa de medias (Tukey, 0.05) para las cuatro variables de peso seco; pudiéndose observar varios niveles estadísticos, así como el hecho de que en dichos valores los genotipos presentan un comportamiento más consistente que el registrado para longitud de plántula (Cuadro 5) donde se aprecia que casi todos los promedios ocupan el mismo nivel estadístico; siendo 5 y 14 los tratamientos sobresalientes, siguiéndoles en importancia los tratamientos 15, 26 y 29. Asimismo, en la Figura 1 se observa una tendencia de comportamiento muy similar para las variables peso seco de plántula y peso seco del resto de semilla, así como peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz; ésto es, que a plántulas con mayor peso seco le corresponden los mayores pesos secos de sus componentes. Así también, la componente que mayor aportación da al peso seco final de plántula, es el resto de semilla, siguiéndole la parte aérea y posteriormente la raíz; lo cual demuestra que hay una amplia relación entre peso seco de semilla y vigor de plántula; con excepción del tratamiento 18 donde se invierte la relación parte aérea-

Cuadro 3. Prueba comparativa de medias y su nivel de significancia estadística para las variables PSR y PSA en 30 líneas S₂ de maíz

Peso seco de la raíz (PSR)		Peso seco de la parte aérea (PSA)	
Tratamiento	Promedio (gr)	Tratamiento	Promedio (gr)
14	0.890 a*	15	1.280 a
5	0.878 ab	5	1.158 ab
28	0.808 abc	6	1.083 abc
18	0.775 abcd	14	1.053 abcd
27	0.763 abcd	26	1.050 abcd
6	0.725 abcd	4	1.040 abcde
21	0.725 abcd	19	1.008 abcde
4	0.655 abcde	21	1.003 abcde
26	0.655 abcde	29	0.983 abcde
3	0.655 abcde	8	0.983 abcde
15	0.645 abcde	27	0.925 abcde
8	0.643 abcde	30	0.910 abcdef
13	0.630 abcdef	1	0.900 abcdef
25	0.568 abcdefg	11	0.863 bcdef
30	0.560 abcdefgh	17	0.863 bcdef
29	0.540 abcdefgh	2	0.855 bcdef
10	0.530 bcdefghi	28	0.848 bcdef
12	0.513 cdefghi	3	0.800 bcdefg
17	0.478 cdefghi	20	0.773 bcdefg
23	0.475 cdefghi	13	0.743 cdefgh
19	0.468 cdefghi	22	0.735 cdefgh
11	0.460 cdefghi	23	0.703 cdefgh
22	0.455 cdefghi	25	0.680 defgh
2	0.450 defghi	18	0.653 efgh
1	0.340 efghi	12	0.650 efgh
24	0.278 fghi	10	0.585 fgh
7	0.273 ghi	16	0.538 fgh
16	0.255 ghi	7	0.438 gh
20	0.205 hi	9	0.413 gh
9	0.183 i	24	0.373 h

* Grupos de significancia estadística (Tukey 0.05).

Quadro 4. Prueba comparativa de medias y su nivel de significancia estadística para las variables PSS y PSP en 30 líneas S₂ de maíz

Peso seco del resto de semilla (PSS)		Peso seco de la plántula (PSP)	
Tratamiento	Promedio (gr)	Tratamiento	Promedio (gr)
5	5.12 a*	5	7.09 a
14	5.05 a	14	6.82 a
29	4.61 ab	15	6.26 ab
25	4.52 b	26	6.18 ab
26	4.48 bc	29	6.13 abc
27	4.41 bcd	27	6.09 abc
28	4.39 bcd	18	5.82 abcd
15	4.34 bcd	25	5.76 abcde
13	4.27 bcde	19	5.72 abcde
19	4.25 bcde	13	5.64 abcdef
16	3.60 bcdef	21	5.26 bcdefg
8	3.56 bcdef	8	5.18 bcdefg
21	3.54 bcdef	4	5.07 bcdefg
3	3.53 bcdef	28	5.04 bcdefg
10	3.42 bcdef	3	4.99 bcdefg
28	3.39 bcdef	11	4.72 cdefgh
4	3.38 bcdef	6	4.70 cdefgh
11	3.37 bcdef	10	4.53 defgh
2	3.21 cdefgh	2	4.52 defgh
12	3.16 defgh	16	4.40 defgh
7	3.15 defgh	12	4.32 efgh
23	3.04 efgh	23	4.21 fghi
6	2.90 fgh	17	4.14 ghij
17	2.80 fghi	30	4.10 ghij
1	2.74 fghi	1	3.98 ghij
30	2.63 fghi	7	3.84 ghijk
22	2.34 fghi	22	3.53 hijk
24	2.05 ghi	20	2.79 ijk
20	1.81 hi	24	2.70 jk
9	1.59 i	9	2.18 k

* Grupos de significancia estadística (Tukey 0.05).

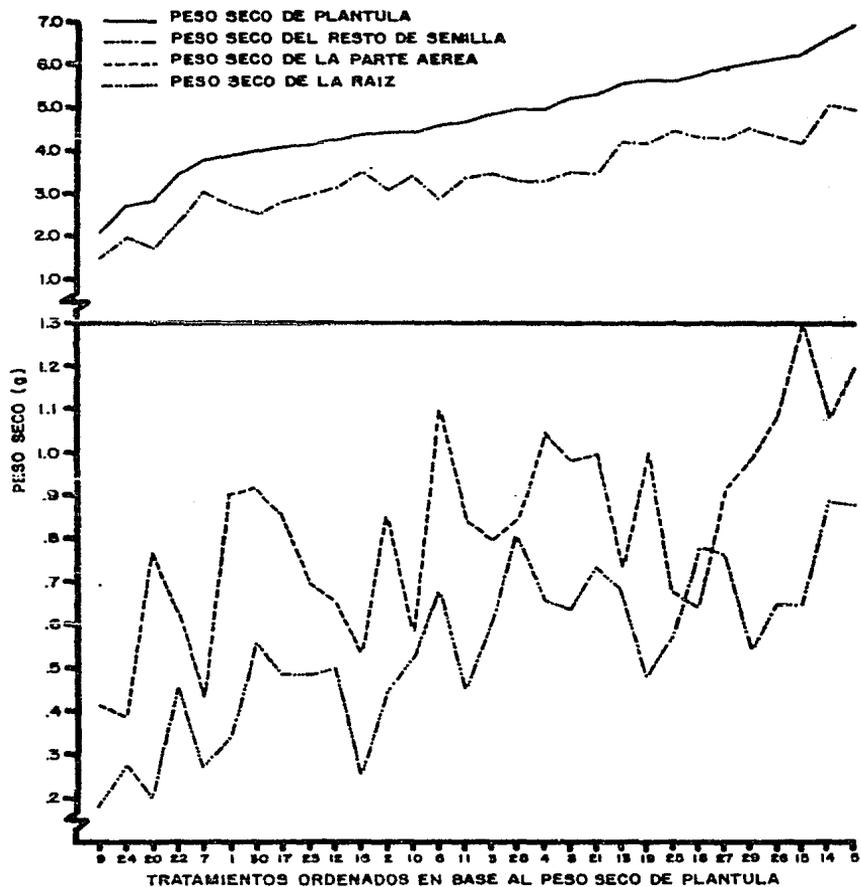


Figura 1. Relación entre el peso seco de plántula y sus componentes para los diferentes genotipos en estudio.

raíz, debiéndose tal vez a una forma particular de respuesta, en donde la raíz pudo consumir más reservas alimenticias acumulando mayor cantidad de materia seca a menor longitud que la registrada para la parte aérea.

4.2.2 Variables de longitud

Con respecto a los tratamientos que evalúan las tres variables de longitud, en el Cuadro 5 se muestra que casi todas las medias ocupan el mismo nivel estadístico, a excepción de la parte aérea que presenta tres niveles de significancia; puntualizándose así como un componente más en las evaluaciones por vigor en semilla. En la Figura 2 se observa una tendencia de comportamiento general similar al de la Figura 1, esto es que a plántulas con mayor longitud le corresponden las mayores longitudes de parte aérea y raíz; pero también cabe hacer notar que las respuestas registradas entre los tratamientos de longitud de parte aérea y longitud de raíz son independientes entre sí, no pudiendo atribuírsele a ninguno de estos órganos una mayor o menor contribución a la longitud final de plántula; al parecer debido principalmente a la condición genética de la semilla, puesto que se mantuvo bajo medio ambiente controlado (cámara germinadora), que permitió una respuesta diferencial en dichos órganos. Cabe señalar adicionalmente que la longitud no resultó muy confiable en la evaluación del vigor, ya que su medición no permitió una caracterización efectiva.

Quadro 5. Prueba comparativa de medias y su nivel de significancia estadística para las variables LPA, LR y LP, en 30 líneas S₂ de maíz

Longitud de la parte aérea (LPA)		Longitud de la raíz (LR)		Longitud de la plántula (LP)	
Tratamiento	Promedio (g)	Tratamiento	Promedio (g)	Tratamiento	Promedio (g)
11	20.115 a*	28	16.575 a	28	31.980 a
30	16.007 a	5	16.290 a	5	29.700 a
15	15.005 ab	27	14.560 a	30	29.400 a
2	14.775 ab	3	14.530 a	11	29.310 a
19	13.570 ab	30	13.320 a	2	26.940 a
5	13.410 ab	12	13.290 a	15	26.095 a
28	12.905 ab	6	13.205 a	26	25.670 a
26	12.670 ab	26	13.000 a	3	25.425 a
20	12.295 ab	9	12.950 a	6	24.845 a
8	12.240 ab	2	12.165 a	9	24.435 a
21	11.995 ab	18	11.480 a	27	24.415 a
6	11.640 ab	21	11.385 a	19	23.625 a
9	11.485 ab	17	11.340 a	21	23.380 a
1	11.480 ab	22	11.270 a	8	23.020 a
29	11.380 ab	24	11.210 a	12	22.710 a
22	11.040 ab	15	11.090 a	22	22.510 a
3	10.895 ab	8	10.780 a	17	22.215 a
17	10.875 ab	25	10.580 a	16	21.845 a
4	10.695 ab	16	10.545 a	18	21.165 a
23	9.980 b	14	10.305 a	29	21.145 a
14	9.975 b	19	10.055 a	1	20.590 a
27	9.850 b	13	9.910 a	4	20.585 a
18	9.685 b	4	9.940 a	20	20.290 a
12	9.370 b	29	9.665 a	14	20.280 a
13	9.220 b	10	9.660 a	24	20.180 a
24	8.970 b	1	9.110 a	13	19.130 a
16	8.800 b	23	9.095 a	23	19.075 a
10	7.790 b	11	9.095 a	25	17.550 a
7	7.682 b	7	8.602 a	10	17.470 a
25	6.945 b	20	7.995 a	7	16.285 a

* Grupo de significancia estadística (Tukey 0.05).

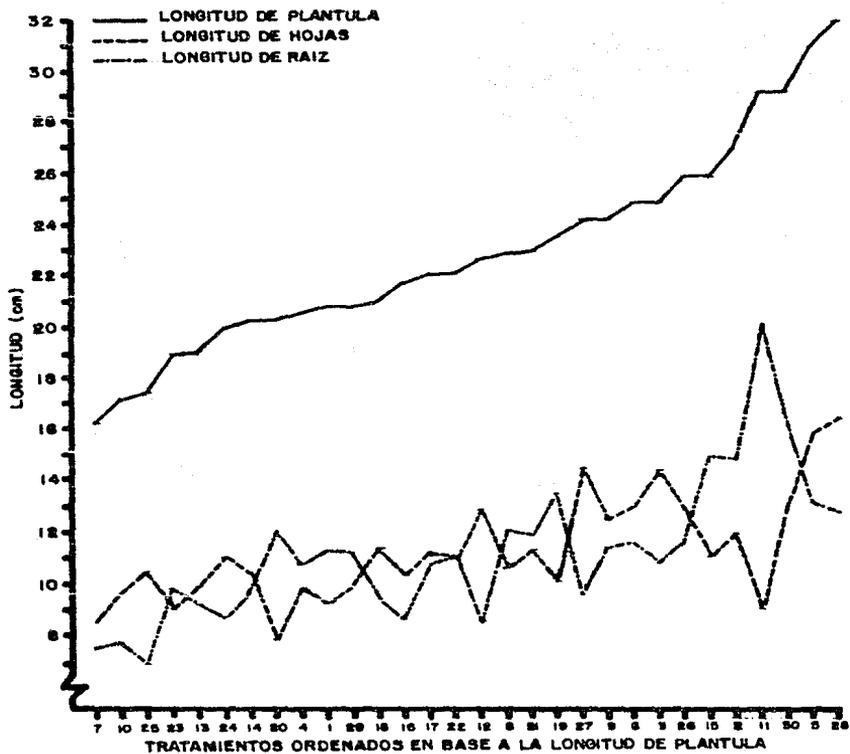


Figura 2. Relación entre la longitud de plántula y sus componentes para los diferentes genotipos en estudio.

4.3 Correlación Lineal

En el Cuadro 6, donde se presentan los coeficientes de correlación y su significancia estadística, obtenidos para las siete variables en estudio, se aprecia que se obtuvieron correlaciones positivas y altamente significativas entre la mayor parte de dichas variables; resultando negativos, únicamente las relaciones entre el peso seco del resto de semilla y las variables de longitud, mientras que no existió correlación entre estas variables y el peso seco de plántula (Figura 3); siendo las que presentan valores más altos: peso seco del resto de semilla con peso seco de plántula ($r = 0.93^{**}$); longitud de raíz con longitud de plántula ($r = 0.90^{**}$); longitud de la parte aérea con longitud de plántula ($r = 0.84^{**}$); longitud de la parte aérea con peso seco de la parte aérea ($r = 0.66^{**}$), longitud de raíz con peso seco de raíz ($r = 0.62^{**}$) y con peso seco de la parte aérea ($r = 0.49^{**}$); longitud de plántula con peso seco de raíz ($r = 0.55^{**}$); peso seco de raíz con peso seco de la parte aérea ($r = 0.73^{**}$), con peso seco del resto de semilla ($r = 0.32^{**}$), y con peso seco de plántula ($r = 0.61^{**}$); peso seco de la parte aérea con peso seco del resto de semilla ($r = 0.20^{**}$), y con peso seco de plántula ($r = 0.52^{**}$); y longitud de la parte aérea con peso seco de raíz ($r = 0.32^{**}$). En el mismo Cuadro se aprecian algunas excepciones al comportamiento general, como las correlaciones de: longitud de la parte aérea ($r = -0.02$), longitud de raíz ($r = 0.03$), y longitud de plántula ($r = 0.01$) con peso seco de plántula, que no presentaron significancia alguna.

Cuadro 6. Valores de los coeficientes de correlación obtenidos entre las variables estudiadas

Variables	LPA (cm)	LR (cm)	LP (cm)	PSR (g)	PSA (g)	PSS (g)	PSP (g)
Longitud de la parte aérea (cm)	1.00	0.55**	0.84**	0.32**	0.66**	-0.25**	-0.02
Longitud de raíz (cm)		1.00	0.90**	0.62**	0.49**	-0.24**	0.03
Longitud de la plántula (g)			1.00	0.55**	0.58**	-0.27**	0.01
Peso seco de la raíz (g)				1.00	0.73**	0.32**	0.61**
Peso seco de la parte aérea (g)					1.00	0.20**	0.52**
Peso seco del resto de semilla (g)						1.00	0.92**
Peso seco de la plántula (g)							1.00

** : Indica probabilidad de $P \leq 0.01$.

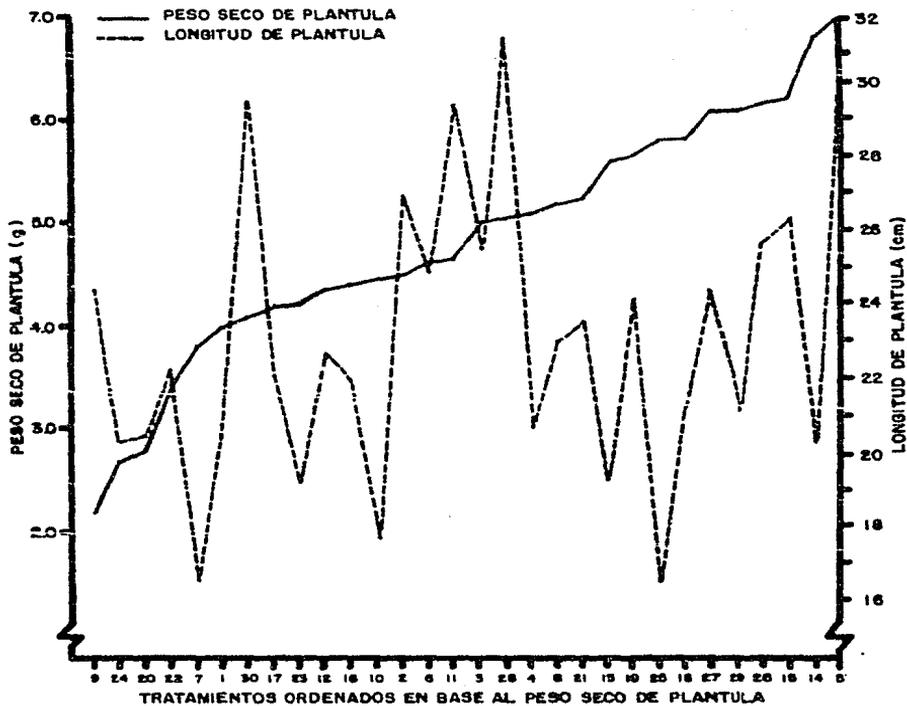


Figura 3. Relación entre el peso seco y longitud de plántula para los diferentes genotipos en estudio.

4.4 Relación entre el Tamaño de Semilla y el Porcentaje de Germinación

Se presentan únicamente los valores del porcentaje de germinación, resultado de promediar las cuatro repeticiones, debido a que los valores originales por repetición fueron extraviados y como consecuencia no fue posible realizar el análisis de varianza; por lo cual, sólo se hizo un análisis de su relación con el peso de 100 semillas en cada una de las 30 líneas, misma que puede apreciarse en el Cuadro 7, y en la Figura 4, donde es notable que existen diferencias marcadas entre líneas tan to para porcentaje de germinación (46% hasta 99%), como para peso de 100 semillas (16.6 g a 38.8 g), aun cuando para porcentaje de germinación, salvo cinco líneas, los valores fueron altos (87 a 99%). Por otro lado, no se aprecia asociación entre estas dos variables ya que si observamos los valores extremos se verá que el peso de 100 semillas más bajo (16.63 g) presentó un alto porcentaje de germinación (93%) en tanto que semillas relativamente pesadas (31.97%) tuvieron bajo porcentaje de germinación (71%). El coeficiente de correlación que se obtuvo entre estas variables fue bajo y no significativo ($r = 0.15$).

4.5 Relación entre el Tamaño de Semilla y el Vigor de Plántula

En la Figura 5, donde están ordenadas las líneas en base al peso de 100 semillas se observa una estrecha relación de esta variable y el vigor de plántula a través de su peso seco, lo que se corrobora con el coeficiente de correlación obtenido entre estas dos variables, que fue positivo y altamente significativo ($r = 0.82^{**}$).

Quadro 7. Relación entre el porcentaje de germinación y el peso de 100 semillas

Tratamiento	Línea	Peso de 100 semillas (g)	% de germinación
1	307-1	24.15	94
2	323-2	28.48	87
3	333-1	30.21	87
4	333-4	31.80	86
5	335-1	37.51	98
6	337-2	26.72	93
7	341-1	25.94	83
8	342-2	27.63	99
9	343-3	23.85	46
10	347-2	32.86	76
11	352-1	24.13	95
12	353-2	31.97	71
13	353-3	31.01	92
14	353-4	38.81	99
15	358-3	34.64	99
16	361-2	33.40	68
17	365-1	23.32	97
18	367-1	32.70	98
19	369-1	32.01	97
20	373-3	16.63	93
21	375-1	29.36	99
22	379-1	20.94	95
23	379-3	25.48	90
24	380-1	25.32	63
25	380-3	31.86	97
26	382-1	33.47	97
27	392-2	33.14	98
28	393-1	25.19	92
29	397-1	32.20	95
30	400-1	24.52	97

Coefficiente de correlación = 0.15.

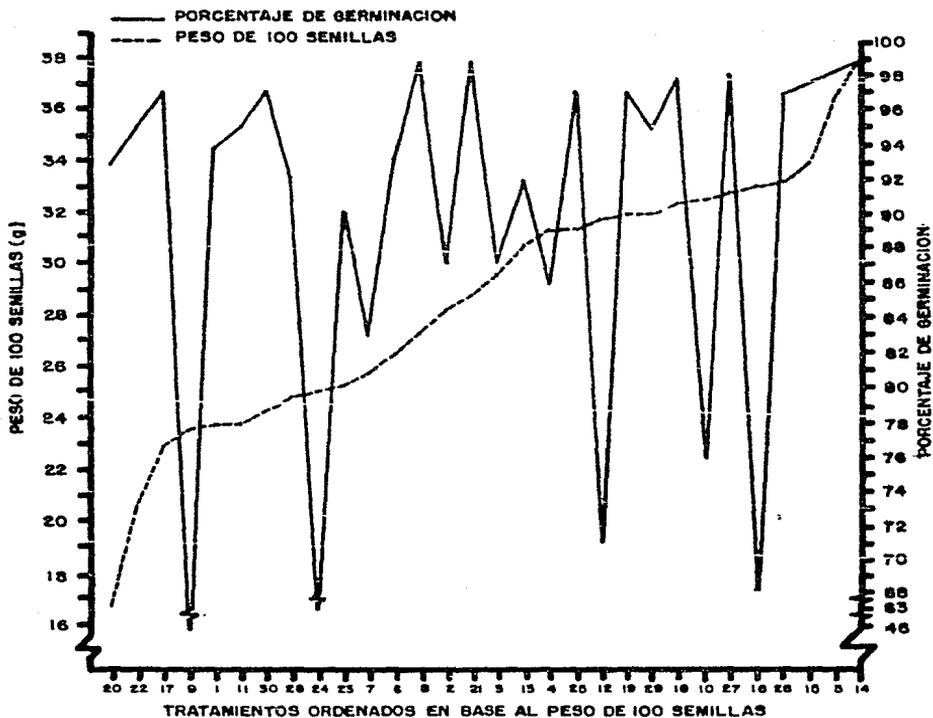


Figura 4. Relación entre el peso de 100 semillas y el porcentaje de germinación para los diferentes genotipos en estudio.

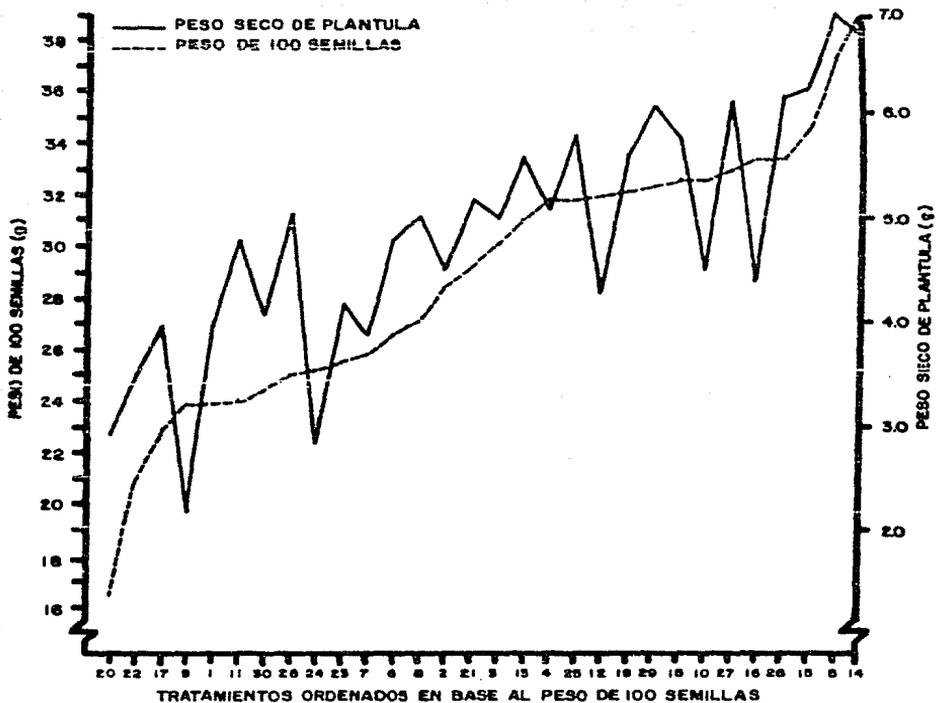


Figura 5. Relación entre el peso de 100 semillas y el peso seco de plántula para los diferentes genotipos en estudio.

En la Figura 6, donde se tiene igual ordenamiento de las líneas se aprecia la asociación directa que existe entre el peso de semilla y el resto de las semillas después de la germinación. El coeficiente de correlación que se obtuvo entre estas variables fue también positivo y altamente significativo ($r = 0.87^{**}$). En ambos casos es de notarse que existen desviaciones que reflejan un comportamiento diferencial, más que desviaciones aleatorias.

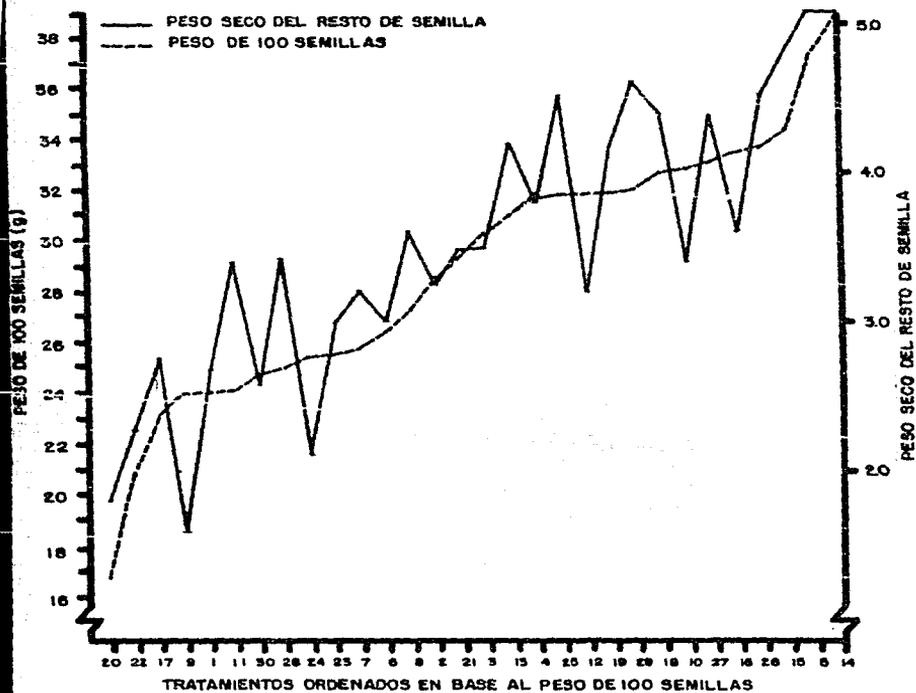


Figura 6. Relación entre el peso de 100 semillas y el peso seco del resto de semilla para los diferentes genotipos en estudio.

V. DISCUSION

Desde un punto de vista agronómico, las pruebas de vigor representan un apoyo a los programas de mejoramiento genético, en la selección de genotipos con mayor capacidad de establecimiento y desarrollo inicial, y de caracteres como el tamaño y el peso de semilla que son importantes en la producción de semillas de buena calidad. De aquí el interés en el análisis de la variación genética y de la posibilidad de su aprovechamiento mediante selección en la formación de variedades mejoradas.

5.1 Análisis de Varianza

Las diferencias altamente significativas para la mayoría de las variables en estudio (Cuadro 2), indican que entre las líneas evaluadas existe variación para algunas características de semilla y de plántula; y que estas diferencias encontradas están en función del potencial génético de las mismas; comportamiento que va acorde con lo que menciona Copeland (1976), en el sentido de que existen diferencias de vigor entre especies, variedades y aún dentro de variedades; y también con lo que menciona Browne (1949), de que el comportamiento de las líneas como tales es función de su dotación génica.

5.2 Prueba Comparativa de Medias

5.2.1 Variables de peso seco

En la prueba comparativa de medias (Tukey al 5% de probabilidad) se destaca un comportamiento más consistente en los valores para peso seco

que los registrados para longitud (Cuadros 3, 4 y 5); de igual forma se observa en la Figura 1, una tendencia de comportamiento similar para todas las variables de peso seco, ésto es, que a plántulas con mayor peso seco le corresponden los mayores pesos secos de sus componentes; por lo cual cabría la posibilidad de considerar a cualesquiera de ellas para la medición de vigor. Con una amplitud bien definida en las variables de peso seco, la prueba estadística de medias permite separar grupos de significancia que identifican a líneas superiores por su mayor vigor. Por lo que se plantea dentro de la conducción del presente experimento como prueba con mejor consistencia en los resultados, la de peso seco final en comparación con la prueba por longitud de plántula.

5.2.2 Variables de longitud

Se destaca en dicha prueba la amplia similitud de comportamiento (Figuras 1 y 2), o sea que a plántulas con mayor longitud también le corresponden las mayores longitudes de sus componentes; sin embargo los resultados en la prueba comparativa de medias, no manifiestan diferencias para las variables longitud de raíz y longitud de plántula, sino sólo para longitud de la parte aérea; en la cual, no obstante la amplitud (6.94 a 20.11 cm) en este parámetro, resulta más difícil valorar a las líneas; debido quizá al tamaño muy pequeño de la muestra de plántulas en las que se hizo la medición. De aquí que, al menos bajo el procedimiento seguido, las variables de longitud no son tan confiables para la evaluación de vigor.

5.3 Correlación Lineal

El valor de "r" resulta de mucha utilidad, pues permite el conocimiento de la relación entre caracteres estructurales tanto de semilla como de plántula que pudieran ser determinantes en el comportamiento subsecuente del genotipo y como consecuencia en el de la productividad de la planta.

En el Cuadro 6, se aprecia que la mayoría de las variables muestran correlaciones positivas altamente significativas, resaltando más las que presentan relaciones entre peso seco de plántula y sus componentes, remarcándose como un buen evaluador del vigor en semillas.

La correlación entre peso seco de raíz con peso seco de la parte aérea ($r = 0.73^{**}$), con peso seco del resto de semilla ($r = 0.32^{**}$), y con peso seco de plántula ($r = 0.61^{**}$) expresan una amplia relación de todos los órganos de la plántula con respecto al peso final de la misma, ya que estas correlaciones son altas y significativas; asimismo la correlación entre peso seco del resto de semilla con peso seco de plántula ($r = 0.93^{**}$) pudiera expresar que a mayor cantidad de endospermo mayor peso seco acumulado posteriormente en plántula; lo cual parece demostrar que las semillas más vigorosas, serán aquellas con la capacidad de acumular la mayor cantidad de materia seca, sea ésta consecuencia de un efecto genético, un efecto ambiental o la interacción de ambos. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Haskins y Gorz (1975) en trébol; Artola (1983) y Corral (1985) en sorgo, y Virgen (1983) y Villa señor (1984) en maíz, quienes observaron que la semilla grande (mayor

cantidad de endospermo) tuvo la mayor producción de materia seca en plántula.

En cuanto a la correlación entre longitud de raíz ($r = 0.90^{**}$) y longitud de la parte aérea ($r = 0.84^{**}$) con longitud de plántula, indican una aportación de similar importancia por parte de estos dos órganos a la longitud final de la plántula (Figura 2). La correlación entre longitud de la parte aérea con peso seco de la parte aérea ($r = 0.66^{**}$) y longitud de raíz con peso seco de raíz ($r = 0.62^{**}$) indican asociación entre estas variables; sin embargo en conjunto (longitud de plántula) no tuvieron un efecto marcado sobre el peso seco de plántula, lo cual significa que la longitud, aun cuando pudiera tener alguna importancia en el peso seco final de plántula por sí sola no es determinante; la expresión positiva de este parámetro posiblemente dependerá de que se conjunten en ese mismo sentido longitudes de raíz y de parte aérea (Figura 3), ya que considerando a la plántula como un todo, no muestra correlación con las variables de longitud: parte aérea ($r = -0.02$); raíz ($r = 0.03$), y plántula ($r = 0.01$); aunque como excepción se puede señalar al tratamiento 5 que sí se manifiesta como el mejor en todos los casos (Figuras 1, 2 y 3). De lo anterior, se deduce que la prueba en base a longitud para la evaluación de vigor en semillas no es muy confiable, ya que sus valores sólo reflejan mediciones en un solo sentido perdiéndose la apreciación de características particulares, tales como grosor de tallo, área de hoja primaria, ramificación y grosor de raíz, entre otros.

Las correlaciones negativas altamente significativas como son: longitud de la parte aérea con peso seco del resto de semilla ($r = -0.25^{**}$);

longitud de raíz con peso seco del resto de semilla ($r = -0.24^{**}$), y longitud de plántula con peso seco del resto de semilla ($r = -0.27^{**}$); pudieran ser indicadoras de la dependencia total de la plántula, en sus primeras etapas de crecimiento (10 días aproximadamente), de las reservas alimenticias de la semilla; en concordancia con lo señalado por Cooper y McDonald (citados por Villaseñor, 1984) quienes observaron que la utilización de la energía almacenada en el endospermo del maíz es fundamental hasta el estado de dos hojas, o diez días después de la emergencia; encontrando también en este estado diferencias, a causa del genotipo, de una mayor utilización de las sustancias de reserva, o un mayor vigor que determinen un crecimiento rápido.

5.4 Relación entre el Tamaño de Semilla y el Porcentaje de Germinación

En cuanto al comportamiento de tamaño de semilla y el porcentaje de germinación, cabe señalar entre otros a Perry (1981), quien especifica que los resultados de una prueba de vigor proveen más información sobre la calidad de las semillas que las pruebas estándar de germinación, ya que hay semillas de alto porcentaje de germinación que no necesariamente son de alto vigor; así como a Villaseñor (1984) en maíz y a Corral (1985) en sorgo, quienes no detectaron diferencias significativas para la variable porcentaje de germinación con respecto al tamaño de semilla, pero sí probaron que a mayor tamaño de semilla mayor producción de materia seca (para este caso mayor vigor). En el presente trabajo también se encontró que no hubo relación entre el porcentaje de germinación y tamaño de semilla; lo cual es de esperarse, ya que en tanto no existan

limitaciones para la emergencia, el solo hecho de que la semilla sea viable da lugar a que pueda germinar en un ambiente favorable. En condiciones desfavorables entrarían en juego otras capacidades de la semilla, como el vigor, que podrían expresar un comportamiento distinto.

5.5 Relación entre el Tamaño de Semilla y el Vigor de Plántula

Según los antecedentes ya mencionados sobre el vigor de las semillas, la importancia que reviste éste y su relación con el tamaño de la semilla; es indiscutible que el término vigor, que en su momento fue señalado por Perry (1981) como un cuarto factor del análisis de calidad de la semilla, existe como tal, y sus efectos se manifiestan en un establecimiento temprano y con alta competitividad hacia las malezas; en la Figura 4 se aprecia bien este comportamiento pues se señalan como las líneas más vigorosas y con alta capacidad de establecimiento temprano todas aquellas que se encuentran con los mayores valores para porcentaje de germinación. En la Figura 5 se observa que a mayor peso de 100 semillas también le corresponden los mayores pesos secos de plántula, entendiéndose que a mayor tamaño de semilla plántulas más vigorosas; debiéndose este comportamiento, tal vez a que semillas con buena capacidad genética de acumulación de sustancias nutritivas (endospermo más grande), y posteriormente, en estado de plántula, con fácil translocación de esas sustancias para su crecimiento, facilitan una plántula vigorosa. En la Figura 6 se observa igual relación entre estas dos variables, o sea que a mayor peso de semillas también le corresponden los mayores pesos del resto de semilla, por la misma situación de una mayor estructura y que proporcionalmente en semillas más grandes quede un remanente mayor

de sustancias de reserva, que en condiciones desfavorables pudieran resultar útiles, al establecimiento de la plántula. Por igual comportamiento observado, Virgen (1983) plantea como un criterio práctico y sencillo utilizar el tamaño de semilla como un posible indicador de vigor, en base al cual se pueda predecir el comportamiento subsecuente de la planta.

En resumen, de los resultados analizados, se considera que el crecimiento inicial de las plántulas depende principalmente de la constitución genética de la semilla y de su condición desde el punto de vista de la cantidad y calidad del endospermo, así como de las condiciones ambientales de que esté rodeada dicha semilla. Resultando adicionalmente que las características que permiten diferenciar plántulas con alto vigor, sean aquéllas que acumulen la mayor cantidad de peso seco, además de su valor intrínseco desde el punto de vista del genotipo.

VI. CONCLUSIONES

1. La prueba por peso seco de plántula en la evaluación de vigor en semillas se consideró superior a la prueba por longitud, ya que correlacionó más ampliamente con la mayoría de las variables en estudio y mostró mejor consistencia en los resultados.
2. Se comprueba la hipótesis de que existe variación para las características de germinación y vigor de plántula en líneas de maíz derivadas de una misma variedad.
3. El tamaño de semilla no fue determinante para el porcentaje de germinación, pero sí para el vigor expresado en términos de el peso seco de plántula.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Abdullahi, A., and R. L. Vanderlip. 1972. Relationship of vigor test and seed source and size to sorghum seedling establishment. *Agronomy Journal*. 64: 143-144.
- Anfinrud, M. N., and A. A. Schweiter. 1984. Relationship of sunflower germination and vigor test to field performance. *Crop. Sci.* 24: 341-344.
- Artola, M. A. 1983. Influencia del genotipo y las prácticas culturales en la producción de semilla híbrida de sorgo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Burris, J. S. 1973. Effects of seed size on seedling performance in soybeans: II seedling growth and photosynthesis and field performance. *Crop. Sci.* 13: 207-210.
- Browne, E. B. 1949. A study of yield and combining ability in once selfed progeny of selected open pollinization corn plant. In: Abstracts of Doctoral Dissertation. 55: 23-28.
- Camargo, C. P., and C. E. Vaughan. 1973. Effect of seed vigor on field performance and yield of grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Proc. Assoc. off. Seed Anal.* 63: 135-147.
- Carlenton, A. E., and C. S. Cooper. 1972. Seed size effects upon seedling vigor of three forage legumes. *Crop. Sci.* 12: 183-186.
- Copeland, L. O. 1976. Seed and seedling vigor. Principles of seed. Science and Technology. Burgess Publishing Co., Minneapolis, Minn. p. 370.
- Corral, D. B. 1985. Selección en sorgo para vigor de plántula y tolerancia al frío en la etapa de germinación. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Ching, T. M. 1973. Biochemical aspects of seed vigor. *Seed Sci. Technology*. 1: 73-88.
- Ching, S. Hedtke, M. C. Boulger, and W. E. Kronstad. 1977. Correlation of field emergence and seed vigor criteria in barley cultivars. *Crop. Sci.* 17: 312-314.
- Delouche, C. J., and P. W. Caldwell. 1962. Seed vigor and vigor test. *Procc. Ass. off Seed Anal.* 50: 124-129.
- Delouche, C. J. 1964. Seed maturation. Curso de Entrenamiento sobre Semillas. Campinas, Brazil. Nov. 9-27. p. 16.

- Douglas, J. E. 1977. Almacenamiento y envasado de la semilla. Tecnología de las Semillas de Cereales (ed.) Feistritzer, P. W. Dirección de Producción y Protección Vegetal. FAO. pp. 96-119.
- Edje, O. T., and J. S. Burris. 1970. Seedling vigor in soybeans. Procc. Ass. off. Seed. Annal. 60: 149-157.
- Fakorede, M. A., and D. K. Ojo. 1981. Variability for seedling vigour in maize. Exp. Agric. 17: 195-201.
- Fritz, T. 1965. Germination and vigour test of cereal seed. Procc. Int. Seed Test Ass. 30: 923-927.
- Fontes, L. A., and A. J. Ohlrogg. 1972. Influence of seed size and other characteristics of soybean (*Glycine max* (L.) Merr). Agron. J. 64: 833-836.
- García, Q. E. 1979. Maduración fisiológica del arroz. Contribución al Programa de Arroz. ICA. Palmira: 1-13.
- Harrington, F. J. 1972. Seed storage and longevity. In: Seed Biology V. III. (ed.) Kozlowski. Academic Press. New York and London. pp. 149-151.
- Hartmann, H. T., y D. E. Kester. 1976. Propagación de plantas. CECSA. México.
- Haskins, F. A., H. J. Gorz. 1975. Influence of seed size, planting depth, and companion crop on emergence and vigor of seedlings in sweetclover. Agronomy Journal 67: 652-654.
- Helmer, J. D., J. C. Delouche, and M. Lienhard. 1962. Some indices of vigor and deterioration in seed of crimson clover. Procc. Ass. off. Seed Annal. 52: 154-158.
- Heydecker, W. 1969. The "vigour" of seeds a review. Procc. Intl. Seed Test Assoc. 34: 201-219.
- Heydecker, W. 1972. Vigour. p. 209-252. In: E. H. Roberts (ed.). Seed Viability. Syracuse University Press.
- Inouge, J., and K. Ito. 1969. Studies on the seedling emergence in crops: On the relation between the strength of plumule elongation and emergence vigor or emergence ability in some cereals. Field Crop. Abstracts. 22(4): 385.
- Isely, D. O. 1957. Vigor test. Procc. Ass. off. Seed Annal. 47: 176-182.
- Isely, D. O. 1958. Testing for vigour. Procc. Ass. off. Seed Annal. 48: 136-138.

- Martínez G., J. J. 1984. Viabilidad, germinación, emergencia y velocidad de crecimiento inicial de semillas de los maíces híbridos de temporal H-28 y H-32 con diferente grado de envejecimiento. Tesis de Licenciatura. UACH. Chapingo, México.
- Matteus, S., and W. T. Bradnock. 1968. Relationship between seed exudation and field emergence on peas and french beans. Hort. Res. 8(1): 89-93.
- McDonald, M. B., Jr. 1975. A review and evaluation of seed vigor test. Procc. Ass. off. Seed Analyst. 65: 109-126.
- McKenzie, K. S., J. N. Putger, and M. L. Peterson. 1980. Relation seedling vigor to semidwarfism, early maturity, and pubescence in closely related rice lines. Crop. Sci. 20: 169-172.
- Minton, E. B., and J. R. Supak. 1980. Effects of seed density on stand verticillium wilt, and seed and fiber characters of cotton. Crop. Sci. 20: 345-347.
- Perry, D. A. 1972. Interacting effects of seed vigour and environment on seedling establishment. p. 311-324. In: V. W. Heydecker (ed.) Seed Ecology. Pennsylvania State Univ. Press.
- Perry, D. A. 1980. The concept of seed vigour and its relevance to seed production technique. In: Seed Production. P. D. Hebblethwaite. Butterworths, London. Boston. p. 585-591.
- Perry, D. A. 1981. Handbook vigour test methods. The International Seed Testing Assoc. Switzerland. p. 72.
- Phintus, M. J., and V. Kimel. 1979. Speed of germination as a criterion of seed vigor in soybeans. Crop. Sci. 19: 291-292.
- Smith, O. E., N. C. Welch, and T. M. Little. 1973. Studies on lettuce seed quality: I. Effect of seed size and weight on vigor. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 98(6): 529-533.
- Tekrony, D. M., and D. B. Egli. 1977. Relationship between laboratory indices of soybean seed vigor and field emergence. Crop. Sci. 17: 573-577.
- Townsend, C. E., and A. M. Wilson. 1981. Seedling growth of Cicer mil kvetch) as affected by seed weight and temperature regime. Crop. Sci. 21: 405-409.
- Villaseñor M., H. E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor de plántula de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Virgen V., J. 1983. Evaluación de vigor en maíz (Zea mays L.) en base a características de semilla y plántula. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores - Cuautitlán. México.

- Voigt, R. L., C. O. Gardner, and O. J. Webster. 1966. Inheritance of seed size in sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.). *Crop. Sci.* 6: 582-586.
- Woodstock, L. W., and J. Feeley. 1965. Early seedling growth and initial respiration rates as potential indicators of seed vigor in corn. *Procc. Ass. off. Seed Annal.* 55: 131-139.
- Woodstock, L. W. 1969. Seedling growth as a measure of seed vigor. *Procc. Intl. Seed Test. Assoc.* 34(2): 273-280.
- Woodstock, L. M. 1973. Physiological and biochemical test for seed vigor. *Seed Sci. Tech.* 1: 127-157.
- Yaklich, R. W., and M. M. Kulik. 1979. Evaluation of vigor test in soybean seeds: Relationships of the standard germination test, seedling vigor classification, seedling length, and tetrazolium staining to field emergence. *Crop. Sci.* 19: 247-252.
- Yaklich, R. W., M. M. Kulik, and C. S. Garrison. 1979. Evaluation of vigor test in soybean seeds: influences of date of planting and soil type on emergence, stand and yield. *Crop. Sci.* 19: 242-246.