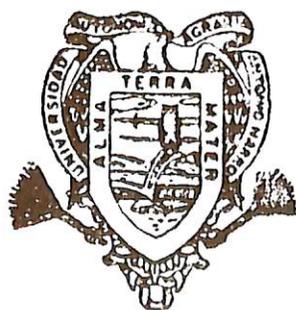


POTENCIAL DE PRUEBAS DE VIGOR PARA EL
ENSAYO DE SEMILLAS DE TRIGO
(Triticum aestivum L.)

TEOFILO VLADIMIR JARA CALVO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN TECNOLOGIA DE SEMILLAS

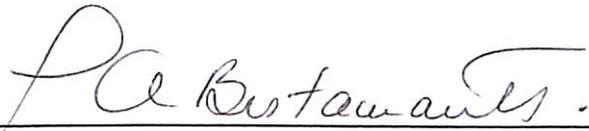


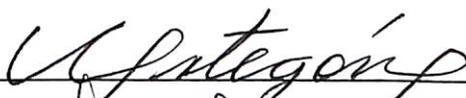
Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro
PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coah.
ABRIL DE 1993

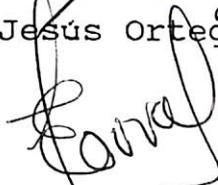
Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar el grado de:

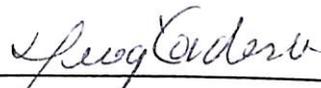
**MAESTRO EN CIENCIAS
EN TECNOLOGIA DE SEMILLAS**

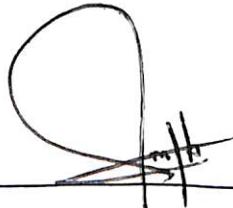
COMITE PARTICULAR

Asesor principal: 
M.S. Leticia A. Bustamante García

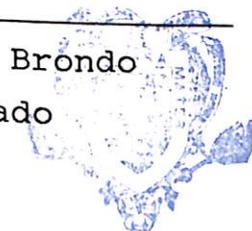
Asesor: 
Dr. Jesús Ortega Pérez

Asesor: 
M.C. Emilio Padrón Corral

Asesor: 
M.C. Hugo S. Córdova Orellana


Dr. José Manuel Fernández Brondo
Subdirector de Postgrado

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Abril de 1993

AGRADECIMIENTOS

Expreso inmensa gratitud:

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT-México), en forma especial a su director y a los miembros del Programa de Trigo y Servicio de Capacitación; y al gobierno del Japón por brindarme la oportunidad, el soporte económico y demás facilidades para poder realizar mis estudios de postgrado.

Al Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial y su Programa de Investigación de Cereales (INIAA-PIC) del Perú, y al Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por concederme la oportunidad de llevar a cabo mis estudios de maestría.

A la M.S. Leticia A. Bustamante García por su desinteresado, acertado e invaluable apoyo y orientación durante mis estudios, así como en la planeación, conducción y revisión del presente estudio.

Al M.C. Emilio Padrón Corral por su colaboración, sugerencias y revisión a los análisis estadísticos y al escrito de esta investigación.

Al Dr. Jesús Ortegón Pérez por su orientación en el programa de maestría, así como por su colaboración, sugerencias y revisión a este trabajo.

Al M.C. Hugo S. Córdova Orellana por su colaboración, sugerencias y revisión a la planeación y al escrito de la presente investigación.

Al Subdirector, personal académico, administrativo, de laboratorio y de campo de la Subdirección de Asuntos de Postgrado de la UAAAN, en forma especial del CCDTS, y a mis compañeros de maestría por haberme brindado apoyo moral y amistad durante mis estudios de postgrado.

DEDICATORIA

A Dios:

*" Fuente inagotable de la existencia del hombre "
quien permiti6 que diera un paso m6s adelante.*

A mis padres:

Rina y Genaro

Con amor,

por su incansable aliento e inagotable afecto.

A mi esposa:

Blanca

*Con amor y profundo agradecimiento por su
comprensi6n, apoyo moral y su dedicaci6n a
nuestra hija durante mis estudios de maestría.*

A mis hijas:

Karol Yngrith y Jackeline Jajaira

*Quienes con su silencio infantil constituyeron
una fuente importante de motivaci6n para
lograr esta meta.*

A mis hermanos y sobrinos:

*Con mucho cari6o e inmenso afecto, por su
constante aliento y gran estima personal.*

A mis familiares en general:

Con mucho aprecio.

A mis compa6eros de generaci6n y amigos:

Con mucha estima.

COMPENDIO

**POTENCIAL DE PRUEBAS DE VIGOR PARA EL ENSAYO DE SEMILLAS DE
TRIGO (*Triticum aestivum* L.)**

POR

TEOFILO WLADIMIR JARA CALVO

MAESTRIA

TECNOLOGIA DE SEMILLAS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, ABRIL DE 1993**

M.S. Leticia A. Bustamante García - Asesor -

Palabras claves: Pruebas, vigor, requisitos, lotes, trigo.

Con los objetivos de: identificar qué pruebas de vigor permiten seleccionar lotes de semilla de trigo; cuáles se relacionan mejor con emergencia en campo; y qué pruebas reúnen el mayor número de requisitos de una prueba de vigor, en cinco lotes de semilla de trigo cv. Papago 86 (*Triticum aestivum* L.) cosechados de 1986 a 1990, se evaluaron diez pruebas de vigor: Primer conteo de Germinación, Tasa de Crecimiento de Plántula, Crecimiento de Plántula, Velocidad

de Germinación, Índice de Vigor, cuatro modalidades de Envejecimiento Acelerado, tres de Deterioro Controlado, dos de Topográfica al Tetrazolio, y Conductividad Eléctrica-ASA 610. Estas fueron comparadas con Emergencia en Campo que fue evaluada bajo condiciones un tanto adversas.

Las pruebas que demostraron cumplir con los objetivos fueron, Envejecimiento Acelerado modalidad cámara caja y Crecimiento de Plántula (longitud de plúmula), las cuales mostraron un mayor potencial para el ensayo de calidad de lotes de semilla de trigo, y como pruebas alternativas la Topográfica al Tetrazolio modalidad acondicionamiento de semilla entre toallas de papel y la prueba de la Tasa de Crecimiento de Plántula (peso seco).

Los lotes de semilla expresaron su vigor en forma diferente en cada una de las pruebas, sin embargo, estos en promedio de todas las pruebas fueron calificados como de alto vigor.

ABSTRACT

VIGOUR TESTS POTENTIAL FOR WHEAT (*Triticum aestivum* L.) SEED TESTING

By

TEOFILO WLADIMIR JARA CALVO

MASTER OF SCIENCE

SEED TECHNOLOGY

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, APRIL 1993**

ING. M.S. Leticia A. Bustamante García - Advisor -

Key words: vigour tests, requirements, wheat seed lots.

In order to identify vigour tests to evaluate vigour in wheat seed lots, assess their correlation with field emergence and quantify the requirements met by the different tests evaluated, five seed lots of wheat seed cv. Papago 86, produced from 1986 to 1990, were assessed in the following vigour tests and some alternatives in methodology: First Count in Standard Germination, Seedling Growth Rate Test, Seedling Growth Evaluation, Speed of Germination, Vigour

Index, Accelerated Aging in four different methodologies, Controlled Deterioration in three different methodologies, Topographic Tetrazolium Test in two methodologies, and Electrical Conductivity ASA-610; all these were compared with Field Emergence.

Those tests which resulted to met the objectives were Seedling Growth Evaluation and Accelerated Aging (box-chamber) in addition the Topographic Tetrazolium Test (seed conditioning between wet paper towels) and Seedling Growth Rate Test (seedling dry weight), exhibited as well significant potential.

The seed lots exhibited differences in seed vigour in the different tests, however all test graded them as high vigour seed lots.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	xii
INDICE DE FIGURAS.....	xvi
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	6
Vigor de la Semilla.....	6
Definición de Vigor de la Semilla....	6
Importancia del Vigor de la Semilla..	8
Factores que Influyen en el Vigor de la Semilla.....	10
Pruebas de Vigor.....	14
Requisitos de una Prueba de Vigor....	17
Primer Conteo de Germinación.....	18
Tasa de Crecimiento de Plántula.....	20
Crecimiento de Plántula.....	22
Velocidad de Germinación.....	23
Envejecimiento Acelerado.....	24
Deterioro Controlado.....	28
Topográfica al Tetrazolio.....	30
Conductividad Eléctrica.....	33
Emergencia en Campo.....	35
MATERIALES Y METODOS.....	39
Ubicación del Lugar Experimental.....	39
Material Experimental.....	39
Pruebas de Vigor.....	39
Desarrollo de las Pruebas.....	41
Primer Conteo de Germinación.....	41
Tasa de Crecimiento de Plántula.....	42
Crecimiento de Plántula.....	44
Velocidad de Germinación.....	46
Indice de Vigor.....	47
Envejecimiento Acelerado.....	47
Deterioro Controlado.....	48
Topográfica al Tetrazolio.....	49
Conductividad Eléctrica-ASA 610.....	50
Emergencia en Campo.....	51
Análisis Estadístico.....	51
Análisis Individual de Pruebas.....	51
Análisis Entre Pruebas.....	53

RESULTADOS Y DISCUSION.....	55
Pruebas Individuales.....	55
Vigor mediante Germinación Estándar (GE).....	55
Vigor mediante Tasa de Crecimiento de Plántula (TCP).....	57
Vigor mediante Crecimiento de Plántula (CP).....	59
Vigor mediante Velocidad de Germinación (IVG).....	62
Vigor mediante Índice de Vigor (IV)..	63
Vigor mediante Envejecimiento Acelerado (EA).....	65
Vigor mediante Deterioro Controlado (DC).....	71
Vigor mediante Topográfica al Tetrazolio (TTZ).....	79
Vigor mediante Conductividad Eléctrica-ASA 610 (CE).....	85
Vigor mediante Emergencia en Campo (EC).....	86
Comparación de Pruebas.....	88
Análisis de Requisitos de una Prueba de Vigor	97
CONCLUSIONES.....	101
RESUMEN.....	104
LITERATURA CITADA.....	107
APENDICE.....	115

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
4.1.	Cuadrados medios de germinación estándar y primer conteo de germinación en lotes de semilla de trigo.....	56
4.2.	Comparación de medias de germinación estándar y primer conteo de germinación en lotes de semilla de trigo.....	56
4.3.	Cuadrados medios de índices de tasa de crecimiento de plántula en tres formas de expresión de resultados, en lotes de semilla de trigo.....	58
4.4.	Comparación de medias de índices de tasa de crecimiento de plántula en tres formas de expresión de vigor, en lotes de semilla de trigo.....	58
4.5.	Cuadrados medios de la longitud de plúmula y por ciento de vigor mediante crecimiento de plántula en lotes de semilla de trigo.....	60
4.6.	Comparación de medias de longitud de plúmula y por ciento de vigor mediante crecimiento de plántula en lotes de semilla de trigo.....	61
4.7.	Cuadrados medios del índice de velocidad de germinación e índice de vigor en lotes de semilla de trigo.....	64
4.8.	Comparación de medias del índice de velocidad de germinación e índice de vigor en lotes de semilla de trigo.....	64
4.9.	Cuadrados medios de germinación después de envejecimiento acelerado bajo diferentes modalidades, en lotes de semilla de trigo.....	66
4.10.	Comparación de medias de germinación después de envejecimiento acelerado bajo diferentes modalidades, en lotes de semilla de trigo....	66

4.11.	Cuadrados medios de germinación después de envejecimiento acelerado bajo diferentes modalidades comparadas con emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.....	68
4.12.	Cuadrados medios del análisis de efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas de las modalidades de envejecimiento acelerado comparadas con emergencia en campo.....	69
4.13.	Comparación de medias de germinación después de envejecimiento acelerado y emergencia total en campo, detectadas en la partición pruebas dentro de lotes, evaluadas en modalidades de envejecimiento y emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.....	69
4.14.	Significancias de la partición lotes dentro de pruebas mediante polinomios ortogonales que indican el comportamiento de los lotes en las modalidades de envejecimiento acelerado y en emergencia en campo.....	71
4.15.	Cuadrados medios de germinación después de deterioro controlado bajo diferentes modalidades, en lotes de semilla de trigo.....	73
4.16.	Comparación de medias de germinación después de deterioro controlado bajo diferentes modalidades, en lotes de semilla de trigo.....	74
4.17.	Cuadrados medios de germinación después de deterioro controlado bajo diferentes modalidades comparadas con emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.....	75
4.18.	Cuadrados medios del análisis de efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas de las modalidades de deterioro controlado comparadas con emergencia en campo.....	75
4.19.	Comparación de medias de germinación después de deterioro controlado y emergencia total detectadas en la partición pruebas dentro de lotes, evaluadas en las modalidades de deterioro y emergencia en campo.....	76
4.20.	Significancias de la partición lotes dentro de pruebas mediante polinomios ortogonales para determinar el comportamiento de los lotes	

	en las modalidades de deterioro controlado y emergencia en campo.....	77
4.21.	Cuadrados medios del vigor de lotes de semilla de trigo bajo dos modalidades de la topográfica al tetrazolio.....	80
4.22.	Comparación de medias de vigor de lotes de semilla de trigo bajo dos modalidades de la topográfica al tetrazolio.....	80
4.23.	Cuadrados medios de vigor de lotes de semilla de trigo bajo dos modalidades de la topográfica al tetrazolio comparadas con emergencia en campo.....	81
4.24.	Cuadrados medios del análisis de efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas de las modalidades de topográfica al tetrazolio comparadas con emergencia en campo.....	81
4.25.	Comparación de medias de vigor de lotes de semilla de trigo detectadas por la partición pruebas dentro de lotes, evaluados en modalidades de topográfica al tetrazolio y emergencia en campo.....	82
4.26.	Significancias de la partición lotes dentro de pruebas mediante polinomios ortogonales para determinar el comportamiento de los lotes en las modalidades de topográfica al tetrazolio y emergencia en campo.....	83
4.27.	Cuadrados medios de germinación predicha evaluada por conductividad eléctrica-ASA 610, en lotes de semilla de trigo	85
4.28.	Comparación de medias de germinación predicha evaluada por conductividad eléctrica-ASA 610, en lotes de semilla de trigo.....	86
4.29.	Cuadrados medios de emergencia total en campo en lotes de semilla de trigo.....	87
4.30.	Comparación de medias de emergencia total en campo en lotes de semilla de trigo.....	87
4.31.	Cuadrados medios de vigor de nueve pruebas de laboratorio comparadas con emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.....	89

4.32.	Cuadrados medios del análisis de efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas, determinados para comparar pruebas de vigor con emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.....	89
4.33.	Comparación de medias de vigor detectadas por la partición pruebas dentro de lotes, evaluadas en nueve pruebas comparadas con emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo...	90
4.34.	Cuadrados medios de los contrastes ortogonales entre pruebas de vigor, evaluadas en lotes de semilla de trigo.....	92
4.35.	Comparación de medias de los contrastes ortogonales entre pruebas de vigor, evaluadas en lotes de semilla de trigo.....	92
4.36.	Significancias de la partición lotes dentro de pruebas mediante polinomios ortogonales para determinar el comportamiento de los lotes de semilla de trigo en cada una de las pruebas de vigor.....	96
A.1.	Contenido de humedad y peso volumétrico de lotes de semilla de trigo cv. Papago 86 evaluados en las diferentes pruebas de vigor.....	116
A.2.	Registro de precipitación y evaporación mensual (mm) por años del lugar de producción de los lotes de semilla de trigo (Estación Experimental del CEH-CIANO) Hermosillo, Sonora...	116
A.3.	Registro de temperaturas máximas y mínimas mensuales en °C por años del lugar de producción de los lotes de semilla de trigo (Estación Experimental del CEH-CIANO) Hermosillo, Sonora.....	117
A.4.	Comparación de medias de vigor de lotes de semilla de trigo detectadas por envejecimiento acelerado, deterioro controlado, topográfica al tetrazolio y nueve pruebas de vigor en relación a emergencia en campo.....	117
A.5.	Registro meteorológico diario de la precipitación y evaporación en mm; temperaturas máxima y mínima en °C durante la evaluación de emergencia en campo de lotes de semilla de trigo, en Buenavista, Saltillo, Coah.....	118

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
4.1.	Tendencias de lotes de semilla de trigo en la partición lotes dentro de pruebas en la comparación de las modalidades de envejecimiento acelerado con emergencia en campo.....	72
4.2.	Tendencias de lotes de semilla de trigo en la partición lotes dentro de pruebas en la comparación de las modalidades de deterioro controlado con emergencia en campo.....	78
4.3.	Tendencias de lotes de semilla de trigo en la partición lotes dentro de pruebas en la comparación de las modalidades de topográfica al tetrazolio con emergencia en campo.....	84
4.4.	Tendencias de lotes de semilla de trigo en la partición lotes dentro de pruebas en la comparación de las pruebas de vigor con emergencia en campo.....	95
A.1.	Porcentajes de vigor en lotes de semilla de trigo, detectados por nueve pruebas de laboratorio comparadas con emergencia en campo.....	119

INTRODUCCION

En la agricultura moderna, gran parte del éxito productivo y económico de un cultivo comercial y de uno destinado a la producción de semilla fundamentalmente depende del uso de una semilla de alta calidad. De ahí la importancia de evaluar periódicamente la calidad de la semilla mediante ensayos en el laboratorio, que permitan que la semilla llegue al agricultor con la información real y confiable de la calidad que contiene.

Dicha importancia propició el desarrollo de métodos adecuados para evaluar los distintos atributos de calidad de las semillas de las diversas especies, y se llegó a diseñar pruebas en laboratorio, que basadas en el análisis de atributos, unas permiten orientar el manejo de los lotes de semilla en su producción, almacenamiento y comercialización, y otras tratan de reproducir las condiciones naturales que la semilla encontraría en el campo, a tal grado de predecir el comportamiento de ésta al momento de su emergencia.

El uso apropiado de las pruebas de calidad puede detectar grados relativamente pequeños de deterioro, lo cual permite tomar medidas correctivas para minimizar el deterioro o prevenir que ocurra de nuevo, por lo cual la

industria semillera dentro de su programa de producción de semillas enfatiza la importancia de los ensayos de calidad que permitan garantizar la calidad de su semilla y el prestigio institucional.

Tanto en México como en el Perú, continuamente se despliegan esfuerzos para intensificar el control de calidad de las semillas con el objeto de asegurar e incrementar la producción agrícola de cada país. Los gobiernos tratan de ejercer el control mediante el sistema de certificación, principalmente, y la empresa lo hace mediante el control interno, pero en estos países los laboratorios encargados de efectuar el control de calidad de la producción de semilla a nivel oficial y comercial efectúan principalmente pruebas básicas de calidad, y los criterios más comúnmente utilizados son el análisis de pureza física y la prueba de germinación estándar; sin embargo, es posible obtener mayor información con respecto a la calidad de la semilla mediante otro tipo de pruebas que refuerzan estos criterios de calidad.

La prueba de germinación, estandarizada por la Asociación Internacional para el Ensayo de Semillas (ISTA) y la Asociación de Analistas Oficiales de Semillas (AOSA), a pesar de ser la más utilizada en las pruebas de rutina, en muchos casos, sus resultados presentan variación entre y dentro de laboratorios debido a los materiales utilizados y

metodologías seguidas y, a más de ello, ésta resulta poco útil para estimar la emergencia de plántulas en campo, debido a que el vigor de la semilla durante la germinación y emergencia no es completamente detectado por esta prueba. Por lo cual, las pruebas de vigor que predicen la emergencia en campo son de suma importancia tanto para la empresa semillista como para el agricultor.

El vigor de la semilla puede ser evaluado por medio de pruebas en laboratorio como el primer conteo en la germinación estándar, tasa de crecimiento de plántula, longitud de plúmula, velocidad de germinación, envejecimiento acelerado, deterioro controlado, topográfica al tetrazolio, conductividad eléctrica y otras, siempre que éstas correlacionen con la emergencia en campo. Estas y otras pruebas han sido desarrolladas como pruebas de vigor para cultivos específicos, pero pueden ser utilizadas en diversos cultivos, lo cual hace necesaria su evaluación, con la finalidad de determinar el potencial de éstas en el análisis de un cultivo dado, detectando niveles de vigor en lotes de semillas que permitan orientar su manejo durante su producción, almacenamiento y mercadeo.

Así, en el caso del trigo, cultivo importante a nivel mundial por su producción y consumo, en el cual poco se han evaluado estas pruebas, es importante estudiar el vigor de su semilla debido a que muchas veces lotes de

semilla de trigo pasan por períodos prolongados de almacenamiento, así como por el hecho de que las densidades de siembra utilizadas para este cultivo, por lo general son muy altas, las cuales pudieran ser disminuidas con el uso de semillas de alto vigor. Lo anterior hace necesaria la evaluación de metodologías para estudiar el vigor de lotes de semillas de trigo, por lo que en el presente estudio serán evaluadas las principales pruebas de vigor y los resultados permitirán determinar el potencial de cada una de ellas aplicadas en el ensayo de calidad de las semillas de este cultivo y poder cubrir la necesidad de contar con pruebas de vigor que reúnan el mayor número de requisitos de una prueba de vigor y que puedan ser adaptadas a diversos laboratorios, para lo cual se planificó el presente trabajo con los siguientes objetivos:

Objetivos

- Identificar las pruebas de vigor que permitan detectar niveles de vigor en lotes de semilla de trigo.
- Identificar las pruebas de vigor que estén mejor relacionadas con los resultados de emergencia en campo en el cultivo de trigo.

- Identificar las pruebas que reúnan el mayor número de requisitos de una prueba de vigor.

Hipótesis

- Existen respuestas diferenciales para niveles de vigor en lotes de semilla de trigo, detectables por algunas pruebas de vigor.
- Al menos una prueba de vigor en trigo está relacionada con los resultados de emergencia en campo.
- Varias pruebas para el ensayo de vigor en trigo reúnen el mayor número de requisitos de una prueba de vigor.

REVISION DE LITERATURA

Si se considera a la semilla como el insumo estratégico de la producción de un cultivo, el éxito esperado depende de la calidad de la misma; en forma rápida su probable comportamiento en el campo se conocerá mediante pruebas rápidas, sensibles y confiables de laboratorio, ya que las pruebas de campo requieren de un mayor tiempo.

Vigor de la Semilla

Definición de Vigor de la Semilla

Nobbe en 1876 reconoció que las propiedades de cada semilla, tales como la velocidad de germinación y crecimiento de plántula, varían dentro de cada lote de semilla, así como entre lotes diferentes. A este fenómeno le dio el nombre de Triebkraft (literalmente "fuerza conductora") y se le asignó diversos nombres en inglés, como energía de germinación y vitalidad, no obstante, el término que ha predominado en los últimos años ha sido el de "vigor de la semilla".

La ISTA en su congreso de 1950, acordó que los ensayos de germinación serían desarrollados universalmente sobre medios inertes y que cualquier ensayo destinado a obtener resultados de una magnitud similar en el suelo se denominarían "ensayos de vigor de plántula". En el mismo congreso se formó el Comité de Ensayos Bioquímicos y de Vigor de Plántula con el objetivo de definir e investigar las propiedades del vigor de la semilla.

En 1977 el Comité de Ensayos de Vigor de la ISTA en su Congreso adoptó la siguiente definición :

"El vigor de la semilla es la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o del lote de semillas durante su germinación y emergencia de plántula. Las semillas de buen comportamiento se denominarán de alto vigor y aquellas de pobre comportamiento serán consideradas semillas de bajo vigor" (Perry, 1987).

Por su parte la AOSA en 1979 define el vigor como "la suma total de propiedades de la semilla que determinan el potencial para una rápida y uniforme emergencia y desarrollo de plántulas normales bajo un amplio rango de condiciones de campo (AOSA, 1983).

Miranda (1984) menciona que el vigor se considera desde cuando la semilla alcanza su madurez fisiológica en la

planta, considerada como el punto donde convergen el máximo peso seco, viabilidad y el más alto vigor de la semilla, y a partir de la cual como lo manifiesta McDonald (1975; 1977) la pérdida de vigor precede a la pérdida de germinación y viabilidad.

Importancia del Vigor de la Semilla

Conocer el vigor de las semillas es de suma importancia porque permite predecir el comportamiento de un lote de semillas cuando las condiciones del medio ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia, así como para comparar el potencial biológico de lotes de semillas con porcentajes de germinación similares y también para tomar decisiones sobre el tiempo de almacenaje al que pueden ser sometidas las semillas, por cuanto el vigor y la longevidad están altamente correlacionados.

Al respecto Delouche y Caldwell (1978) mencionan que la importancia del vigor como atributo de calidad de la semilla está claramente indicada, trabajos de almacenamiento que no incluyan el vigor de la semilla, son trabajos incompletos. Por su parte Moreno (1984) señala que el vigor de las semillas ha sido por mucho tiempo tema de interés entre los productores y usuarios de las semillas agrícolas, debido a que aun cuando la calidad de las semillas está determinada principalmente por la germinación y el

establecimiento de las plántulas en el campo, éstas dependen en gran medida del vigor de la semilla. De ahí el interés para evaluar este parámetro de calidad mediante pruebas cuyos resultados estén altamente correlacionados con el comportamiento de las semillas en el campo.

Con relación al tema, Lees (1980) cita que dos compañías semilleras inglesas al utilizar semilla de trigo de bajo vigor con índice de germinación de 97 por ciento, y de alto vigor con 94 por ciento de germinación, observaron en el campo que las semillas de bajo vigor disminuyeron en 22 por ciento su germinación. En otro ensayo, sembraron cuatro lotes de semilla de trigo de la misma variedad todos con índices de germinación de 85 por ciento, los tres primeros lotes con bajo vigor tuvieron 30 por ciento menos de germinación que los lotes de alto vigor.

Asimismo, Sojka y Zaidan (1983) al evaluar lotes de un cultivar de trigo cosechados en 1974-76 y almacenados en bolsas en ambientes temperados con 69 y 70 por ciento de HR comparados con semilla fresca de 1977, observaron que el porcentaje de germinación y tiempo de germinación fue 18, 86, 87 y 99 por ciento y 5.1, 3.1, 2.8 y 2.1 días para las cuatro cosechas respectivamente, y el por ciento de germinación, crecimiento de plúmula, oxígeno en el embrión tomados después de remojar la semilla de 24 a 96 horas tuvieron una tendencia similar.

Factores que Influyen en el Vigor de las Semillas

Andrews (1978) manifiesta que el vigor de la semilla es altamente complejo, a nivel bioquímico incluye la energía y el metabolismo biosintético, coordinación de las actividades, transporte y utilización de reservas. Asimismo, Kovar (1987) menciona que el vigor está dado por el ritmo de procesos metabólicos en la semilla.

Mientras que Perry (1987) especifica que los factores que causan cambios en el nivel de vigor de las semillas incluyen: su constitución genética, condiciones ambientales y nutrición de la planta madre; estado de madurez en la cosecha; tamaño de la semilla, peso y densidad; integridad mecánica, deterioro y envejecimiento; y patógenos.

Con respecto a las condiciones ambientales, Badhoria *et al.* (1983) en semillas de tres cultivares de maíz observaron que la emergencia, fuerza y ritmo de desarrollo fueron afectados por el contenido de humedad del suelo en un orden de 18 a 24 por ciento. Mientras que USDA (1952) e ISTA (1985a) mencionan que se debe considerar que las semillas maduras de los cereales entre ellos el trigo, para germinar requieren de una temperatura óptima de 20°C.

También Kovar (1987) observó que las diferencias en vigor de la semilla durante la germinación dependen de la exposición de las plantas madres a condiciones de estrés durante y particularmente al final de su desarrollo con un balance favorable de temperatura y precipitación; con una humedad adecuada del suelo, la proporción del embrión en el total del peso de la semilla es alta, mientras que las proteínas y la proporción de almidón en la semilla se incrementan a altas temperaturas. La calidad de la cosecha bajo estrés fue mejor en cultivos que crecieron de semillas de alto vigor.

En cuanto a la nutrición de la planta madre, Barla *et al.* (1987) al evaluar mediante la prueba de estrés complejo siete cultivares de trigo procedentes de cosechas de varios años, lugares y niveles de fertilización de NPK encontraron que el porcentaje de semillas con alto vigor (fertilizadas) fue de 91.6, 87.6, 85.7 y 85.3 de 1981 a 1984; y que el vigor en las no fertilizadas fue menor.

Con relación al tamaño de la semilla, Delouche y Caldwell (1978) citan que en trabajos de los años 1955-1960 se encontró que existe correlación entre el tamaño de la semilla y el vigor. Asimismo, Hussaini *et al.* (1984) determinaron que semillas grandes de maíz fueron superiores a semillas medianas y pequeñas en porcentaje de germinación y vigor de plántula. Por su parte Gupta *et al.* (1987) al

evaluar tres cultivares de trigo observaron que las semillas más grandes expresaron numéricamente mejor comportamiento en rendimiento y sus componentes que las semillas medianas y pequeñas; sin embargo, las medianas fueron superiores a las grandes y pequeñas en porcentaje de germinación, índice de vigor e índice de almacenamiento determinado por la prueba de envejecimiento acelerado.

En cuanto al peso de la semilla, Robert (1969) al evaluar semillas de cebada de mayor peso, en las plántulas encontró mayor cantidad de proteína mitocondrial indicadora de una tasa respiratoria más elevada y más altos niveles de energía, por lo que dedujo que estas plántulas tendrían mayor potencial de crecimiento al compararlas con plántulas provenientes de semillas de menor peso. De igual manera Krishnaveni y Ramaswamy (1986) al evaluar semilla de un híbrido de maíz encontraron una cercana afinidad entre el peso de la semilla y el vigor de plántula.

Con referencia a la integridad física de la semilla, Schlegel (1984) evaluó semillas de trigo, centeno y cebada cosechadas en tres fechas (temprana, óptima y tardía) y utilizó dos velocidades de tambor rotatorio, secadas con aire o mantenidas en bolsas selladas de polietileno por 1, 3 ó 5 días a 35°C. Para trigo la prueba de Tetrazolio indicó disminución en la capacidad de germinación causado por daños en las espigas. Mientras que Scott et al. (1985) al evaluar

semillas de trigo determinaron que en más del 30 por ciento de los lotes la germinación fue reducida debido a anomalías plumulares provocadas por el daño mecánico durante la limpieza; en forma similar Prochazka et al. (1986) en laboratorio al germinar semillas de cebada y trigo luego de la trilla con contenidos de humedad de 10 a 31 por ciento y sometidas a la prueba de impacto, encontraron que la tasa y energía de germinación de ambas fueron afectadas por el daño mecánico de las trilladoras.

Con relación al deterioro y envejecimiento de la semilla, Galan et al. (1982) encontraron que el deterioro en las semillas de sorgo tuvo gran influencia sobre la tasa de desarrollo de la panícula y el rendimiento fue reducido de 21 a 55.8 por ciento con respecto al testigo, también redujo la altura de planta y la materia seca.

Por su parte Chuampis (1982) al evaluar el efecto del vigor de semillas envejecidas de dos cultivares de arroz en el rendimiento, observó que a 20 días del transplante la fase vegetativa de todos los niveles de vigor fueron iguales, a los 30 días los niveles de vigor no afectaron la altura de planta ni el número de tallos por planta, y a los 45 días las semillas con mayor envejecimiento tendieron a reducir la altura y número de tallos por planta. El número de panículas por tallo y de granos llenos por panícula procedentes de semilla con alto vigor fueron mayores que los

de bajo vigor, sin embargo, no hubo diferencia en el peso de 1000 semillas y rendimiento de grano.

A más de los factores Perry (1987) y MSU (1992) consideran los procesos que influyen en el comportamiento de la semilla, los cuales pueden presentar variaciones asociadas con diferencias en el vigor de la semilla, los mismos que son los siguientes:

- Procesos bioquímicos y reacciones durante la germinación tales como, reacciones enzimáticas y actividad respiratoria,
- Tasa y uniformidad de germinación de la semilla y crecimiento de plántula,
- Tasa y uniformidad de emergencia y crecimiento de plántula en el campo,
- Habilidad de emergencia de plántula bajo condiciones ambientales no favorables.

Asimismo, mencionan que los efectos del nivel de vigor pueden persistir para influir en el desarrollo de la planta, uniformidad del cultivo y en el rendimiento.

Pruebas de Vigor

El objetivo de una prueba de vigor es identificar lotes de semillas que tengan capacidad de una rápida y uniforme emergencia de plántulas en el campo y una habilidad de emergencia en condiciones ambientales no favorables.

Asimismo, proporcionar al agricultor una estimación del valor de la semilla para la siembra y una garantía imparcial de la calidad en las transacciones comerciales (Perry, 1987).

Cabe recordar que el análisis de las semillas no puede hacer que la semilla sea mejor de lo que es. Este es un paso final en la evaluación para elegir un lote de semillas según su calidad y es esencial para la aplicación de la ley que especifica los requisitos de calidad que debe tener la semilla que se vende (Douglas, 1982).

Un ensayo de vigor puede proporcionar un resultado reproducible que puede estar más estrechamente relacionado con el comportamiento de la semilla en el campo bajo ciertas condiciones diferentes al ensayo de germinación. Con esta finalidad se desarrollaron diversas técnicas que de una manera general se pueden dividir en ensayos directos e indirectos.

En los ensayos directos, los factores de estrés que se espera reduzcan la emergencia en el campo se establecen en el laboratorio bajo condiciones controladas, entre estos se tiene la prueba fría y la prueba de Hiltner. En tanto que en los ensayos indirectos, las características de la semilla medidas en el laboratorio se comparan con su comportamiento en el campo. Uno de los primeros ensayos indirectos fue el

primer conteo de germinación en la prueba estándar; se ha utilizado también la velocidad de crecimiento de plántula, el ensayo de conductividad, ensayos que provocan un deterioro rápido, y por último la inmersión de las semillas en una solución de cloruro de tetrazolio (Perry, 1987).

El Comité de pruebas de vigor de la ISTA considera las siguientes pruebas específicas: crecimiento de plántula (cereales y remolacha), crecimiento de raíz (lechuga), Hiltner (cereales y betabel), prueba fría (maíz), conductividad eléctrica (chícharo), envejecimiento acelerado (soya, trigo y otros), deterioro controlado (hortalizas y ornamentales), topográfica al tetrazolio (trigo, chícharo, maíz, algodón y soya), y tetrazolio de aleurona (cereales) (Perry, 1987).

En tanto que Sayer (1982) y AOSA (1983) a más de envejecimiento acelerado, prueba fría, conductividad eléctrica, crecimiento de raíz, tetrazolio y la de Hiltner, consideran prueba fresca de germinación (algodón), tasa de crecimiento de plántula (maíz y soya) y clasificación de plántulas (soya, algodón, cacahuate y frijol).

La utilización de las pruebas de vigor por los laboratorios de los Estados Unidos fue evaluado por la AOSA y la Sociedad de Tecnólogos de semillas Privados (SCST), y encontraron que el 61 por ciento de 102 laboratorios

realizaban pruebas de vigor, las pruebas fría, tetrazolio y envejecimiento acelerado eran conducidas por el 72, 66 y 65 por ciento de los laboratorios respectivamente. Las pruebas de vigor que presentaron el más alto incremento desde 1976 fueron: envejecimiento acelerado, conductividad y la de tetrazolio; y los cultivos probados con más frecuencia fueron maíz y soya (Tekrony, 1983).

Requisitos de una Prueba de Vigor

Las pruebas de vigor para ser de utilidad y tener aplicación en la industria de semillas deben reunir ciertos requisitos, los mismos que de acuerdo a McDonald (1975) son los siguientes:

- De bajo costo, es decir que la prueba no eleve los costos del ensayo de semillas al requerir equipo sofisticado y entrenamiento especializado.
- Rápida, que no eleve la carga de análisis en el laboratorio y que permita resultados a tiempo.
- No complicada, de tal manera que el analista no requiera un entrenamiento especializado o adicional y que sea de fácil interpretación.
- Objetiva, que permita evaluaciones numéricas o cuantitativas para eliminar apreciaciones subjetivas.
- Reproducible, que sus resultados tengan repetibilidad, para que estos puedan ser validados y/o comparados con otros resultados.

- Buena correlación con emergencia en campo, asociado a la facilidad de interpretación, determinan su habilidad para predecir el potencial de emergencia en campo de las semillas o lotes de semillas.

Al respecto Perry (1987) y MSU (1992) citan que ningún método sólo satisfecerá todos los requerimientos y que un método o combinación de métodos deberían ser escogidos para elegir el cultivo, lote y/o el ambiente en el cual éste será sembrado.

Primer Conteo de Germinación

La pérdida de germinación es la consecuencia final de la deterioración de la semilla producto de los numerosos cambios en los procesos bioquímicos y fisiológicos (Delouche y Baskin, 1976). Por ello el objetivo de la prueba de germinación es el de obtener información respecto al valor de siembra de una semilla y al mismo tiempo permitir la comparación entre lotes diferentes (Echandi, 1978 e ISTA, 1985a).

Sin embargo, bajo condiciones de campo la prueba de germinación normalmente da resultados no satisfactorios al no obtenerse confiabilidad y repetibilidad (Delouche, 1973a e ISTA, 1985a) por lo cual dentro de ésta la apreciación del vigor se efectúa mediante el primer conteo de germinación,

el cual es considerado como uno de los primeros ensayos indirectos para estimar el vigor de las semillas; aún cuando éste pierde confiabilidad debido a las dificultades de normalización, éstas pueden ser superadas si se controlan las condiciones cuidadosamente (Perry, 1987).

En la prueba como mencionan Chalam *et al.* (1967) se consideran plántulas normales a las que presentan capacidad para continuar el desarrollo de plantas normales y deben tener un crecimiento balanceado y simétrico, modelo de todas su partes esenciales; también se debe considerar lo indicado por Andrews (1978) que, el vigor de la semilla a nivel de germinación incluye la velocidad y germinación total, poder de empuje del cogollo, gama de condiciones del medio ambiente, tales como: temperaturas y humedad bajo las cuales la germinación ocurrirá, y la resistencia a enfermedades.

Con relación a la prueba, Cobaquil (1991) al evaluar lotes de semilla de maíz, antes de envejecerlas no encontró diferencia significativa entre lotes para el primer conteo de germinación y otras variables, sin embargo, observó que estos valores fueron menores a germinación estándar, y aún más bajos después del envejecimiento artificial. En tanto que Nienhuis y Baltjes (1985) en semillas de cereales almacenadas por 9 años de 5 a -20°C registraron pequeños cambios en la capacidad de germinación, así, avena 97, cebada 96, trigo de invierno 93, trigo de primavera 80 por

ciento, este último a los 7 años registró 97 por ciento, al cual consideran como el tiempo en que empezó el declive de la capacidad de germinación. Los datos del primer conteo evaluado en otras especies fueron muy pobres y no reflejaron la capacidad de germinación, por lo cual consideran que el uso de su información es discutible.

Por su parte Petrosyan y Mkrtchyan (1990). al evaluar semillas almacenadas de más de 200 formas de 21 especies de trigos silvestres y cultivados, observaron que luego de 10-13 años los diploides silvestres *Triticum boeoticum* y *T. urartu* mantuvieron su germinabilidad de 75-95.7 por ciento, los tetraploides silvestres *T. dicoccoides* y *T. araraticum* de 66.6 a 93.7 por ciento. En las cultivadas, *T. monococcum* 81.2 a 95 por ciento después de 10-13 años y los hexaploides 61.7 a 100 por ciento después de 13-14 años. En los tetraploides *T. ispahanicum*, *T. palaeocolchicum* y *T. timopheevii* de 90.5 a 95.6 por ciento después de 13 años. Similares resultados se encontraron para *T. turgidum*, *T. petropavlovskyi*, *T. compactum*, *T. aestivum* y *T. sphaerococcum*.

Tasa de Crecimiento de Plántula

El principio de esta prueba es la evaluación objetiva de las diferencias en la tasa de crecimiento mediante el peso seco de plántulas, la cual debe ser

reproducibile y exacta.

Moreno (1984) menciona que esta prueba se desarrolló con el objeto de facilitar la clasificación de las plántulas débiles y vigorosas debido a que la observación visual de las diferencias entre éstas es muy subjetiva y por lo tanto está sujeta a variación que depende de la interpretación que dé el analista. Al respecto Martínez (1989) observó que el peso seco de plántulas como prueba de vigor resultó ser más sensible que la prueba de germinación estándar para evaluar la calidad fisiológica de semilla de maíz.

Asimismo, Kalyuzhnyi y Makarova (1984) luego de evaluar semillas de maíz en base a la mejor determinación que hicieron sobre la base del porcentaje de germinación, el peso fresco de 100 plúmulas (separadas) o los pesos fresco y seco de 100 radículas y plúmulas, todos medidos siete días después de la siembra, consideran al vigor de crecimiento como una medida de calidad de las semillas.

Por su parte Odiemah (1987) en semillas de dos cultivares de trigo de invierno cosechados de 1979 a 1983 y almacenados de 18 a 20°C y de 40 a 70 por ciento de HR y el testigo recién cosechado en 1984 encontró significancia para peso seco y vigor de lotes. Para peso seco registró: testigo 1.200 g, lote 1983 (1.000), 1982 (0.800), 1981 (0.600), 1980 (0.500) y 1979 (0.500). Mientras que Steiner et al. (1989)

mencionan que la combinación más conveniente para la media geométrica fue la alta correlación de las pruebas peso seco, longitud de raíz de plántula y GADA, lo cual les indicó que la medida de crecimiento de plántula individual al igual que las pruebas bioquímicas puede ser efectiva como indicadora de emergencia de plántulas de trigo en campo. No obstante, Cobaquil (1991) aun cuando observó diferencias numéricas no encontró significancia entre lotes de semilla de maíz para peso seco de plántulas y otras variables.

Crecimiento de Plántula

Es una prueba aplicable a especies que presentan plántulas con plúmula recta como la de los cereales (cebada, trigo, maíz, etc.), en las cuales el vigor de sus semillas es determinado por el vigor y longitud de sus plúmulas.

Venter y Grobbelaar (1985) al evaluar nueve lotes de semilla de siete cultivares de maíz a diferentes temperaturas, observaron que las bajas temperaturas tuvieron un efecto diferencial sobre el porcentaje de germinación y crecimiento de coleóptilo. Mientras que Perry (1977) en lotes de semilla de cebada con una capacidad de crecimiento del 75 por ciento del testigo, observó que la semilla vigorosa emergió, pero las plantas produjeron menos que los lotes testigos sembrados en suelos húmedos y fríos, también menciona que el ensayo no correlaciona mejor que la

germinación con emergencia en campo, dado que entre estos últimos existe una estrecha correlación.

Por su parte Odiemah (1987) en semillas de 6 lotes de dos cultivares de trigo cosechados en 1979-84 encontró diferencia significativa entre lotes para longitud de plúmula y vigor; en 10 plántulas normales tomadas al azar e incubadas por 12 días las longitudes fueron: testigo (15.8), 1983 (15.7), 1982 (14.1), 1981 (12.0), 1980 (11.9) y 1979 (8.5) cm, y las categorizó como vigorosas a las que tenían al menos 4 cm de coleóptilo. En tanto que Cseresnyes y Saulescu (1989) al estudiar trigos harineros y duros encontraron que las diferencias de longitud de coleóptilo entre variedades correlacionaron positivamente con altura de planta. Una sola variedad semienana presentó coleóptilo más largo.

Velocidad de Germinación

La velocidad de germinación ha sido largamente reconocida como indicadora del vigor de la semilla y es usualmente una medida más sensible del deterioro de la semilla que deviene en la pérdida de viabilidad. Ocasionalmente se ha notado un incremento en la velocidad de germinación con semilla envejecida, tal vez como resultado del deterioro en la eficacia de los inhibidores endógenos de la germinación (Priestley, 1986).

Ram y Wiesner (1988) en 20 lotes de dos cultivares de trigo envejecidos a 50°C y 100 por ciento de HR de 0-36 hr observaron que el índice de velocidad de germinación de 4.82-35.89 disminuyó a 4.08-10.53 debido principalmente a la disminución de la actividad enzimática, y determinaron que la velocidad de germinación correlacionó con el vigor de las semillas.

Envejecimiento Acelerado

Esta tiene como principio el someter semillas a alta temperatura y alta HR por períodos cortos de tiempo con el fin de determinar su resistencia al deterioro por medio de la reducción de la germinación con relación al potencial fisiológico inicial de las mismas y relacionar su germinación después del envejecimiento con emergencia en campo bajo un amplio rango de condiciones ambientales.

La prueba fue empleada para predecir la capacidad de almacenamiento de las semillas de diversos cultivos. Posteriormente fue utilizada para determinar el vigor de la semilla de soya (Moreno, 1984 y Baskin, 1987), ésta fue desarrollada en base a que una vez que la semilla alcanza la madurez fisiológica, se inicia el proceso de deterioro en forma inexorable e irreversible, ya que al cortarse el suministro de la planta madre, la semilla sobrevive de sus reservas (FUNDEAGRO, 1989).

Asimismo, la deterioración de las semillas ocurre en forma inexorable por la actividad de procesos bioquímicos progresivos e irreversibles provocados por la acción de metabolitos tóxicos, la edad de la semilla y las condiciones ambientales que inducen la pérdida de viabilidad, germinación y desarrollo de plántulas (Floris, 1970 y Delouche, 1973b), también está asociado al genotipo de las semillas que constituye un factor importante para reducir su deterioración (Rodríguez, 1987).

Amaral (1983) manifiesta que el vigor de la semilla relacionado a condiciones de campo, se estima en forma más precisa cuando éstas son sometidas a temperaturas de 42 a 45°C y 100 por ciento de HR por 48 a 144 hr según la especie antes de la prueba de germinación; los tiempos que determinó fueron: semillas de arroz 144 hr; soya, cebolla, sorgo y trigo 72 hr y chícharo 48 hr; sin embargo, Baskin (1987) para semilla de trigo sugiere 45°C y 48 hr.

Por su parte Galan *et al.* (1982) al evaluar la germinación, velocidad de germinación, altura y peso seco de plántula de semilla de sorgo artificialmente envejecida a 0, 30, 40, 50 y 60 horas, encontraron que estos decrecieron con el incremento de horas de envejecimiento. Por otro lado, Kim *et al.* (1987) en semillas de tres cultivares de cebada con diferente vigor inicial mediante envejecimiento acelerado, tetrazolio, índice de vigor producto del porcentaje de

germinación y longitud de plúmula, observaron que la prueba de germinación caliente correlacionó con el vigor medido en el estado avanzado de deterioro de la semilla, y que el vigor de longitud de plúmula en prueba fría y la prueba de tetrazolio fueron las apropiadas para predecir la calidad de las semillas.

También Kim et al. (1989) en semillas de cultivares de cebada artificialmente envejecidas por 0, 2, 4 y 6 días, determinaron que el envejecimiento por 2 días fue el tiempo que mejor predijo la emergencia de plántulas de cebada desnuda en campo. Asimismo, la prueba de envejecimiento reveló diferencia significativa en vigor en semillas de centeno invernal, y dió información más relevante que la prueba estándar y capacidad de germinación. Sin embargo, la habilidad de germinación probada después del envejecimiento acelerado y el cociente de envejecimiento no correlacionaron con emergencia en campo (Bettac y Matthies, 1984). Mientras que Krishnasamy y Seshu (1990) en 68 cultivares de arroz observaron que luego de someterlos por 8 días a 43°C y 100 por ciento de HR la capacidad de germinación fluctuó de 3 a 83 por ciento.

Por otro lado Cobaquil (1991) al evaluar lotes de semillas de maíz bajo modalidades de envejecimiento acelerado, observó que el vigor de estos al quinto día de germinación después de envejecimiento en cámara fue de 82

para vaso y 76 por ciento para caja, y en horno, 91 para vaso y 80 por ciento para caja, con un promedio de 77 para cámara y 83 para horno.

La prueba también fue evaluada en semillas de trigo, en éstas Filipenko (1983) observó que condiciones de 30°C y 75 por ciento de HR permitieron detectar cambios en la energía germinativa, el por ciento de germinación y la tasa de respiración de las semillas, las cuales decrecieron en forma rápida a partir de la semana 11 en adelante. Mientras que Curiova y Vlasak (1984) en semillas de tres cultivares de *T. durum*, dieciseis invernales y cinco primaverales de *T. aestivum* almacenados a 45°C y 95 por ciento de HR por más de 168 hr, observaron que todos los trigos de primavera y dos de invierno retuvieron su germinación sobre 80 por ciento y los trigos duros de 42 a 51.5 por ciento.

Curiova (1984) en semillas de trigo envejecidas a 25, 39 y 45°C a 60 y 90 por ciento de HR observó que a temperaturas altas la germinación disminuyó en forma acelerada, y que la alternancia de HR no la afectó, sin embargo, las semillas de 1981 perdieron más rápidamente la capacidad de germinación que las de 1980 debido a la influencia ambiental durante su producción. Asimismo, Cseresnyes y Baleanu (1987) al almacenar semillas de dos cultivares de trigo con 14 a 22 por ciento de humedad a 25, 35 y 45°C de 1 a 5 días, observaron que en las almacenadas a

25°C por 5 días la germinación se redujo a menos de 90 por ciento y a 45°C en uno de los cultivares disminuyó a menos de 80 por ciento; el envejecimiento también afectó los índices de vigor y emergencia en campo, media del tiempo de germinación y longitud de coleóptilo y plúmula.

Por su parte Ram y Wiesner (1988) en 20 lotes de dos cultivares de trigo envejecidos artificialmente a 50°C y aproximadamente 100 por ciento de HR de 0-36 hr, observaron que la germinación de 96-98 disminuyó a 62-98 por ciento, la velocidad de germinación de 4.82-35.89 a 4.08-10.53, debido principalmente a la disminución de la actividad enzimática. En base a la significancia que encontraron en lotes para todos los parámetros de calidad concluyeron que las pruebas de vigor e índices de calidad de semilla fueron más sensibles que la prueba de germinación estándar.

Deterioro Controlado

Esta prueba se basa en el mismo principio que el de envejecimiento acelerado, la diferencia es que en ésta se controla de mejor manera el contenido de humedad de las semillas. En la prueba de envejecimiento acelerado las semillas ganan humedad durante el período de deterioro y se observan diferencias en su contenido entre lotes de la misma especie debido a varios factores, entre ellos la humedad inicial.

En cambio, en la prueba de deterioro controlado el contenido de humedad se ajusta al mismo nivel para todos los lotes antes de someterlos al período de deterioro. Esto permite evaluar entre sí lotes de semillas de una misma especie (Moreno, 1984).

Matthews y Powell (1987) mencionan que esta prueba, actualmente es utilizada en Gran Bretaña por varias compañías de semillas y por la Estación Oficial de Ensayos de Semillas, sobre todo en especies con semillas pequeñas como las hortalizas y las ornamentales.

Hagima et al. (1987) para esta prueba utilizaron condiciones de 45°C por 3 días, antes de ser selladas en bolsas los contenidos de humedad de las semillas de trigo fueron llevados a 26 por ciento, y observaron que todos los lotes expresaron altos porcentajes de germinación por lo que los calificaron como resistentes al deterioro controlado.

Por otro lado, Khah et al. (1989) en semillas de trigo primaveral con humedades de 12.9 y 14.6 por ciento selladas en envases de aluminio laminado e incubadas a 40°C de 8 a 12 días disminuyeron su germinación de 93 a 86 y 83 por ciento respectivamente, también retardaron su emergencia en campo y redujeron la tasa de crecimiento de plántula, pero ésta no afectó la subsecuente tasa de crecimiento relativo ni el rendimiento. Igualmente Naylor y Gurmu (1990)

en 7 lotes de un cultivar de trigo de invierno de similar germinación (emisión de radícula) luego de evaluarlos con humedades de 18 y 22 por ciento a 40 y 45 °C y diferentes tiempos encontraron que diferían en vigor expresado por las diferencias en germinación después de la prueba. En general las semillas luego de deterioro resultaron con reducida radícula, emergencia de coleóptilo y crecimiento comparados con semillas no sometidas al estrés, sobre todo los lotes de más bajo vigor que presentaron menor radícula y emergencia de coleóptilo.

Topográfica al Tetrazolio

Esta tiene como principio el identificar, ubicar y apreciar tejidos embrionarios sanos, débiles y muertos que influyen en la calidad de las semillas en cuanto a su capacidad de almacenamiento, germinación y rápido desarrollo de plántulas bajo condiciones favorables y no favorables.

Aun cuando el objetivo principal de esta prueba es determinar la viabilidad de las semillas que germinan lentamente cuando se utilizan los métodos convencionales de germinación, así como determinar la viabilidad de semillas con latencia, también permite estimar en forma rápida la condición biológica de las semillas en cuanto a viabilidad y vigor (ISTA, 1981; 1987 y Moreno, 1984).

Al evaluarse el vigor en semillas de maíz mediante esta prueba en comparación con otros métodos en 1956 se encontró que el teñido obtenido en 15 min dio una medida precisa del vigor al igual que la prueba fría (Delouche y Caldwell, 1978); en tanto que Woodstock (1976) al probarla en embriones de maíz y soya concluyó que la prueba de tetrazolio es más real para evaluar el vigor de la semilla.

Por otro lado, Sung y Chen (1988) al evaluar el vigor de plántulas de 21 cultivares de arroz sembrados a diferentes temperaturas, encontraron que el vigor de plántula estuvo positivamente relacionado a la capacidad del genotipo de fijar el formazán, indicado por el peso seco de plántula a 7 días de la siembra. Para la prueba las semillas fueron acondicionadas en agua durante 20 hr a 30°C y pusieron 20 embriones en un ml de solución al 0.2 por ciento durante 16 hr a 10, 15, 20, 25 y 30°C.

En cebada, Kim et al. (1989) al evaluar semillas de cultivares desnudos y malteros encontraron que la prueba de Tetrazolio y las pruebas de germinación fría y caliente fueron las que mejor predijeron la emergencia de plántulas en campo.

En cuanto al cultivo de trigo, Tulo (1985) al incubar semillas en tetrazolio al uno por ciento durante 3 horas a 40°C, observó que el número de embriones viables

teñidos correlacionó con emergencia en campo. Mientras que Rytko *et al.* (1985) en semillas de trigo, cebada y centeno observaron que la prueba sobreestimó de 1 a 2 por ciento la capacidad de germinación y viabilidad, y que el uso del teñido completo de los embriones mejoró la correlación con emergencia en campo.

Por su parte Odiemah (1987) en lotes de trigo de invierno cosechados en 1979-84 la viabilidad la determinó mediante tetrazolio, en cuya solución las semillas se sumergieron a 40-70 hr y 18-20°C. El lote de 1984 registró la viabilidad más alta (99.5 %), germinación (93) y vigor (91), mientras que el lote de 1979 presentó 68.8, 53.0 y 0.0 por ciento respectivamente. Hubo significancia entre lotes para vigor, germinación, viabilidad, longitud de plúmula y peso seco; la germinación del lote de 1984 recién cosechado fue significativamente baja debido a su alto contenido de humedad.

Mientras que Steiner y Fuchs (1987) al evaluar los efectos de las aplicaciones en campo de herbicidas o pesticidas en la germinación y vigor de plántula en semillas de trigo, avena y otras especies que sufren anomalías como inhibición en la germinación, crecimiento de plúmula con ausencia de raíces o desorden en su crecimiento, observaron que la prueba no detectó los probables efectos adversos, como que no hubiera influencia de los químicos

aplicados. También Rennie y Gorey (1988) al evaluar 28 muestras de trigo y 25 de cebada de invierno acondicionadas en agua a 20°C por 16 hr e incubadas en solución al 0.5 por ciento por 2 y 3 hr respectivamente a 30°C, observaron que la prueba tendió a sobreestimar la germinación de las muestras de cebada dañadas durante el secado.

En tanto que Steiner et al. (1989) al comparar procedimientos estadísticos para seleccionar la mejor individual y múltiple predictora de emergencia de plántulas de trigo, evaluaron 20 pruebas de vigor y emergencia en campo en 49 lotes. Entre pruebas individuales, vigor con tetrazolio, GADA y longitud de raíz fueron las que mejor predijeron la emergencia en campo, seguidas por peso seco de plántula y cociente respiratorio. La mejor combinación de pruebas múltiples fue viabilidad con Tetrazolio, ATP y O₂ respiratorio.

Conductividad Eléctrica-ASA 610

Esta tiene como principio medir la lixiviación de electrolitos de tejidos de las semillas la cual ocurre cuando las cubiertas de éstas pierden su integridad, mismas que en condiciones de campo estimulan la actividad de microorganismos e infección secundaria, con una consecuente disminución en la emergencia de plántulas.

Sobre el principio de la prueba, Moreno (1984) manifiesta que, se ha demostrado que semillas con baja viabilidad y vigor presentan una mayor lixiviación de solutos que las semillas vigorosas y de alta germinación, y que esto correlaciona con una pobre emergencia en el campo.

La efectividad del Analisador Automático de semillas (ASA-610) se ha estudiado por más de 10 años para detectar diferencias de calidad en semillas de algodón, soya, maíz, sorgo y frijol principalmente; mediante el ASA es posible monitorear continuamente los lotes de semillas para un buen control de calidad interno de las empresas semilleras por tener una capacidad de analizar 100 lotes de semillas por día.

El principio del aparato consiste en una medición de la capacidad de transportar corriente eléctrica de una solución producida por una semilla remojada en agua destilada, con un movimiento de carga eléctrica de un electrodo a otro a través de una solución de exudados de cada celda. El voltaje o fuerza ejercida a las partículas eléctricamente cargadas es ajustada con un selector para proporcionar un rango de sensibilidad capaz de adaptarse a una amplia gama de semillas (Agro Sciences Inc., 1979).

Presley (1958) en un examen de vigor de semillas de algodón basado en los cambios de permeabilidad asociados con

deterioración, midió el porcentaje de lixiviación de los electrolitos de las semillas a través de un puente de resistencia y encontró una buena correlación entre el grado de lixiviación y el funcionamiento de las semillas en el campo; en tanto que, Estrada (1989) al evaluar semillas de frijol y soya encontró que las medias de conductividad eléctrica y vigor estimado por el ASA-610, no presentaron confiabilidad para estimar emergencia en campo.

Mientras que Fokanov y Akmanov (1983) en semillas de trigo de invierno, cebada y centeno al evaluar la exudación de azúcar total y monosacaridos, encontraron que la conductividad eléctrica de los exudados correlacionaron negativamente con el por ciento de germinación en campo y laboratorio, y en algunos años las correlaciones fueron no significativas.

Emergencia en Campo

Un ensayo de vigor no siempre puede predecir el porcentaje de plántulas que emergerán en el campo a partir de una densidad de siembra dada, ya que depende de las condiciones edáficas y climáticas después de la siembra, las cuales no se pueden preveer. En el caso de condiciones extremadamente adversas, emergerán pocas plántulas, menor al vigor del lote de semillas. Contrariamente, en condiciones favorables la emergencia puede correlacionarse con

germinación, y la prueba de vigor no presentaría ventaja alguna.

Los ensayos de vigor, indicarán el probable comportamiento comparativo de los lotes de semillas bajo condiciones sub o supraóptimas e identificarán aquellos que presentan máximos niveles de tolerancia y adaptabilidad a las condiciones ambientales. Alternativamente pueden usarse para identificar los lotes de semillas con emergencia rápida y sincronizada o aquellos que producen consistentemente más plántulas grandes y robustas (Perry, 1987).

Shenoy et al. (1989) en un intento de lograr una comprensión de los parámetros que contribuyen a la emergencia en campo, en 58 cultivares de arroz en base a parámetros de vigor de semilla de varios laboratorios revelaron que, el primer conteo y conteo final de germinación, tasa de germinación, germinación bajo frío y estrés de agua presentaron asociación no lineal, mientras que conductividad de exudados, actividad total de deshidrogenasa, germinación después de envejecimiento acelerado (50°C y 100 por ciento HR) no correlacionó con la prueba de campo.

Respecto al cultivo de trigo, Ram (1983) en cultivares de invierno y primavera, el índice de tasa de emergencia y tolerancia a establecimiento lo relacionó a

envejecimiento acelerado, conductividad eléctrica y tasa respiratoria, asimismo, el rendimiento lo relacionó a envejecimiento acelerado. En tanto que Fokanov y Akmanov (1983) observaron que la germinación en laboratorio de semillas de trigo de invierno, cebada y centeno por 3 años fue de 15.8, 19.9 y 23.3 por ciento más altas que la emergencia en campo, y la variación así como las disminuciones en la emergencia en campo no fueron proporcionales sino más grandes que en laboratorio en los diferentes años.

Asimismo, Cseresnyes *et al.* (1984) encontraron que la tasa de germinación de 4 cultivares de trigo correlacionó con la tasa de emergencia de plántulas en campo bajo diferentes condiciones de campo, fechas de siembra y localidades. Mientras que Baalbaki y Copeland (1987) al correlacionar pruebas de vigor con emergencia en campo en trigo de invierno, determinaron que envejecimiento acelerado y prueba fría son buenas indicadoras del comportamiento de la semilla en el campo, mientras que la prueba caliente de germinación, velocidad de germinación y conductividad eléctrica no tuvieron éxito para predecir la emergencia en campo.

El mismo año, Nayeem y Deshpande (1987) al evaluar trigos harineros de toda la India, observaron que el genotipo y el medio ambiente afectaron el porcentaje de

germinación, y emergencia en campo. El vigor de las plántulas lo relacionaron al tamaño de la semilla y a la proporción de imbibición de la semilla; en tanto que Tomer y Maguire (1990) luego de almacenar seis cultivares de trigo, cosechados en 1979, 1980 y 1982, en condiciones de cuarto de semillas y de almacenamiento ordinario, en todas las pruebas de vigor se registraron diferencias significativas entre variedades, ambientes y la interacción variedad x ambiente. La emergencia en campo fue de 58.25 a 96.25 comparada con 75.75 a 99.25 de germinación estándar. En el ambiente uno se encontraron correlaciones positivas con emergencia en campo para germinación estándar (0.689**), vigor de plántula (0.983**) y envejecimiento acelerado (0.714**).

Por otra parte Ybema y Barla (1992) en lotes de semilla de trigo para zonas áridas sembrados en suelos fríos y secos, observaron que el por ciento de emergencia fue considerablemente más bajo que germinación estándar, mientras que los resultados de las pruebas de vigor en laboratorio que incorporaron estrés simple y múltiple correlacionaron con emergencia en dos ensayos de campo.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del Lugar Experimental

El presente estudio se efectuó en el Laboratorio de Semillas y Campo del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Material Experimental

Como material experimental se utilizaron cinco lotes de semilla de trigo (*Triticum aestivum* L.) de la variedad Papago 86 cosechados los años de 1986, 1987, 1988, 1989 y 1990 en la localidad de Hermosillo, Sonora, cuya información se aprecia en los cuadros A.1, A.2 y A.3, dicho material fue proporcionado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT-México).

Pruebas de Vigor

En el presente estudio se evaluaron diez pruebas de vigor, algunas de ellas con modalidades como alternativas para su adecuación a diferentes laboratorios, y éstas son:

Pruebas Fisiológicas:

- 1) Primer Cuento de Germinación (PCG)
- 2) Tasa de Crecimiento de Plántula (TCP)
- 3) Crecimiento de Plántula (CP)
- 4) Velocidad de Germinación (IVG)
- 5) Índice de Vigor (IV)

Pruebas de estrés:

- 6) Envejecimiento Acelerado (EA) : cuatro modalidades
 - Cámara vaso (EA-CV)
 - Cámara caja (EA-CC)
 - Horno vaso (EA-HV)
 - Horno caja (EA-HC)
- 7) Deterioro Controlado (DC) : tres modalidades
 - Cámara (DC-C)
 - Horno (DC-HC)
 - Baño maría (DC-BM)

Pruebas bioquímicas:

- 8) Topográfica al Tetrazolio (TTZ) : dos modalidades
 - Acondicionamiento de semilla en agua (TTZ-AA)
 - Acondicionamiento de semilla en toallas de papel (TTZ-AP)
- 9) Conductividad Eléctrica - ASA 610 (CE)

Prueba de campo:

- 10) Emergencia en Campo (EC)

Los principios de cada una de las pruebas de vigor fueron los establecidos por la ISTA y la AOSA, y otras recomendadas en la literatura, incluidas las modalidades evaluadas.

De la semilla proporcionada por el CIMMYT se obtuvo una muestra de 600 g mediante división-reducción con homogenizador, para de ésta tomar al azar todas las muestras de trabajo para cada prueba.

Desarrollo de las Pruebas

Primer Cuento de Germinación (PCG)

Esta evaluación se llevó a cabo incorporada en la prueba de germinación estándar, para la cual las semillas previamente tratadas con un fungicida se pusieron a germinar en 6 repeticiones de 100 semillas por lote, cada repetición entre dos toallas de papel secante de 38x25 cm para germinación (aprobado oficialmente), cada una humedecida con 20 ml de agua. Las semillas fueron colocadas sobre la toalla con el embrión orientado hacia la parte inferior, luego, cubiertas con la otra toalla se enrollaron y aseguraron con ligas elásticas de la medida apropiada a su diámetro, enseguida colocadas en bolsas de polietileno y éstas en cestas metálicas se pusieron en una cámara germinadora con 8 hr de luz natural a $22^{\circ}\text{C} \pm 2$ constante por 7 días.

La evaluación del primer conteo de germinación se efectuó al cuarto día, ésta consistió en contar las plántulas normales que alcanzaron un crecimiento de 3 raíces igual o mayor a un cm en la relación de 1:3 de plúmula:raíces. Enseguida sin descartar plántulas ni semillas, las toallas fueron nuevamente enrolladas y colocadas en sus bolsas se repusieron en la germinadora hasta el final del período. Al séptimo día se efectuó el conteo final en el que se registró el total de plántulas normales, plántulas anormales y semillas sin germinar; dichas evaluaciones se efectuaron de acuerdo a las indicaciones de las Reglas de Análisis (ISTA, 1985a). Los resultados para cada repetición se registraron en porcentajes, y el resultado principal fue el por ciento de plántulas normales de cada uno de los lotes evaluados al primer conteo de germinación.

Tasa de Crecimiento de Plántula (TCP)

Para esta prueba se sembraron 6 repeticiones de 50 semillas por lote, cada una sobre dos toallas de papel de 63x35.5 cm humedecidas cada una con 30 ml de agua. Previamente tratadas se colocaron 25 semillas debidamente orientadas en dos hileras a 6.5 y 13 cm de la orilla superior, se cubrieron con una toalla igualmente humedecida, y se enrollaron con un orificio central de un cm, los rollos sujetos con ligas elásticas apropiadas se colocaron en

bolsas de polietileno y éstas en cestas metálicas fueron puestas en una cámara germinadora sin luz a $22^{\circ}\text{C} \pm 2$ por 7 días.

Al séptimo día en la evaluación, se registró el número de plántulas normales, anormales y semillas muertas. Las plántulas normales sin la semilla original se dejaron sobre toallas de papel al medio ambiente durante 24 horas y enseguida se pusieron a secar en bolsas de papel en un horno por 24 horas a 80°C . Luego de enfriar los sobres en un desecador se obtuvo el peso seco total de las plántulas normales por repetición. en una balanza analítica con una precisión de 0.0001 g. Los resultados se expresaron en peso total de plántulas normales (TCP_a), peso total dividido entre el número de plántulas normales (TCP_b) y peso total dividido entre las 50 semillas sembradas (TCP_c).

Para determinar el vigor que poseían cada uno de los lotes, los índices de tasa de crecimiento dados por los mg/plántula, fueron relacionados con el número de plántulas anormales y número de semillas muertas, y se consideraron como lotes de alto vigor a los que dieron altos índices y un mayor número de plántulas normales. Para la evaluación de la prueba se siguieron las indicaciones del Manual de Vigor (AOSA, 1983).

Prueba de Crecimiento de Plántula (CP)

Con la finalidad de determinar la longitud media de plúmula como indicadora del vigor de cada uno de los lotes de semilla, se sembraron 6 repeticiones de 25 semillas por lote previamente tratadas con un fungicida, las cuales sobre dos toallas de papel, debidamente orientadas fueron fijadas en una cinta adhesiva puesta sobre la primera línea trazada a 12 cm del borde superior, a partir de la cual previamente se trazaron cinco líneas paralelas separadas a 2 cm. Cada toalla de 38x25 cm fue humedecida con 20 ml de agua, luego se cubrieron con una toalla igualmente humedecida, se dobló 2 cm de la parte inferior y se procedió a enrollarlas sin apretarlas en forma de un cilindro con 4 cm de diámetro, cada uno de los cuales fueron sujetos con una liga elástica de la medida apropiada. Los rollos se colocaron en bolsas de polietileno y éstas en cestas metálicas dentro de una cámara de germinación sin luz a $22^{\circ}\text{C} \pm 2$ durante 7 días.

De acuerdo a la metodología del Manual de Vigor (ISTA, 1987), al finalizar la prueba se contó el número de plántulas normales cuyas plúmulas en su extremo superior se situaron entre cada dos líneas paralelas, las cuales dieron la longitud que alcanzaron a partir de la línea sobre la cual se sembraron las semillas. Para obtener los resultados de la prueba, el número de plúmulas contadas se multiplicaron por el valor correspondiente que toman los

puntos medios entre líneas, los cuales son: 1, 3, 5, 7, 9 y 11; los productos se sumaron y dieron la longitud total, que se dividió entre el número de plántulas normales (CP_a) y entre el número de semillas sembradas (CP_b), resumida en la siguiente fórmula:

$$L = \frac{(nX_1 + nX_2 \dots + nX_{11})}{N}$$

Donde:

- L = longitud media de plúmulas por repetición
- n = número de plúmulas entre cada par de paralelas
- X = distancia media desde la línea central
- N = número de plántulas normales o número de semillas sembradas.

y para expresar los resultados en por ciento de vigor, los resultados de cada lote se compararon con un supuesto testigo de alto vigor al cual se le asignó el valor de 10 cm, y el ajuste correspondiente se efectuó con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{L}{10} \times 100$$

Donde :

- V = vigor del lote en por ciento
- L = longitud media de plúmulas por repetición

Los lotes de semilla que mostraron un crecimiento de plúmula mayor o igual a 7.5 cm (75 por ciento de vigor) fueron considerados como los de alto vigor.

Prueba de Velocidad de Germinación (IVG)

Para determinar el Índice de Velocidad de Germinación como indicador del vigor de cada uno de los lotes evaluados, se pusieron a germinar 6 repeticiones de 50 semillas por lote tratadas con un fungicida, cada repetición se sembró entre dos toallas de papel secante de 38x25 cm cada una humedecida con 20 ml de agua, una vez enrolladas se sujetaron con ligas elásticas apropiadas para ser colocadas en bolsas de polietileno y éstas a su vez en cestas metálicas en una cámara germinadora con luz a $22^{\circ}\text{C} \pm 2$ constante. A partir de las 24 hr de la siembra, diariamente a la misma hora se registraron los conteos de plántulas normales y al mismo tiempo éstas fueron retiradas de la prueba, para ello se consideró el crecimiento de las plántulas en la relación 1:3 de plúmula:raíces, y se consideró la longitud de las raíces igual o mayor a un cm. La evaluación se efectuó hasta que todas las semillas capaces de germinar lo hicieron, la cual concluyó a los 7 días.

El índice de velocidad de germinación se calculó mediante la siguiente fórmula (Maguire, 1962):

$$\text{IVG} = \frac{n}{1} + \frac{n}{2} + \frac{n}{3} + \frac{n}{4} + \dots + \frac{n}{7}$$

Donde:

n = número de plántulas sacadas de la prueba por día

De los resultados, los índices más altos se relacionaron a los lotes de mayor vigor.

Índice de Vigor (IV)

Para determinar el índice de vigor de cada uno de los lotes, se consideraron los pesos secos de 100 plántulas normales por repetición obtenidos en la prueba de tasa de crecimiento y el de 100 plántulas normales procedentes de semillas sometidas a condiciones adversas en el ensayo de envejecimiento acelerado modalidad cámara vaso, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$IV = 1 - \frac{\text{Peso seco normal} - \text{Peso seco después de estrés}}{\text{Peso seco normal}}$$

Se calificaron como lotes de alto vigor a los que presentaron índices próximos a uno, a partir de 0.75.

Envejecimiento Acelerado (EA)

Esta prueba se efectuó bajo cuatro modalidades; para el envejecimiento se utilizó una cámara húmeda y un horno con fuentes de temperatura, en cada uno de ellos se colocaron dos tipos de recipientes cerrados, uno de vidrio (vaso de precipitado 9.5x12 cm) y el otro de plástico (caja sandwichera 11x12.5x5.5 cm) a los que se agregaron 100 ml de

agua destilada. De acuerdo a la metodología del Manual de Vigor (ISTA, 1987) tanto en la cámara como en el horno, las semillas colocadas en cada recipiente sobre bases de malla metálica, fueron sometidas durante 48 horas a 45°C de temperatura constante, a más de estas condiciones la cámara incluyó de 80 a 100 por ciento de HR. Luego de las 48 horas las semillas de cada repetición se sacaron y se efectuó la prueba de germinación normal, y al final del período el porcentaje de plántulas normales se consideró como el indicador del vigor que poseía cada uno de los lotes evaluados.

En cada una de las modalidades, se pusieron seis repeticiones de 100 semillas por lote previamente tratadas con un fungicida.

Deterioro Controlado (DC)

La prueba se condujo bajo tres modalidades: en cámara, horno y en baño maría. Antes de someter las semillas al período de deterioro, el contenido de humedad de cada uno de los lotes fue ajustado a 20 por ciento mediante adición de la cantidad de agua requerida a las semillas por repetición, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de agua (ml)} = \frac{100 - \% \text{ H presente del grano}}{100 - \% \text{ H deseada del grano}} - 1 \times \text{peso de grano (g)}$$

Para cada una de las tres modalidades se sometieron a evaluación seis repeticiones de 100 semillas por lote; éstas previamente tratadas con un fungicida se colocaron en doble bolsa de polietileno grueso, se les añadió la cantidad de agua requerida, y una vez selladas fueron colocadas en una cámara a 15°C de temperatura durante 18 horas para uniformizar y estabilizar la humedad de las semillas. Enseguida las semillas embolsadas fueron sometidas a 45°C de temperatura durante 24 horas en los ambientes, de la cámara con HR cercana al 100 por ciento, seco del horno y completamente sumergidas en el agua del baño maría. Después del período de deterioro, en la prueba estándar de germinación se evaluó el porcentaje de plántulas normales que fue considerado como indicador del vigor de cada uno de los lotes de semilla.

Topográfica al Tetrazolio (TTZ)

La cuidadosa observación de la nítida tinción rojo formazán de la solución de la sal de tetrazolio en los tejidos vivos de las diferentes partes de los embriones determinantes de la buena condición de las semillas, indicó el vigor de los lotes. Para la prueba, las semillas se acondicionaron durante 12 horas tanto en agua como entre papel toalla humedo. Luego de este período, las semillas se disectaron longitudinalmente (2/3 de la semilla por el lado del embrión) y se sumergieron en soluciones de tetrazolio al

0.5 por ciento contenidas en vasos de vidrio, los cuales cubiertos con papel aluminio fueron colocados en un horno durante 1.5 horas a 35°C de temperatura. Enseguida las semillas fueron lavadas con agua y la evaluación se realizó con el apoyo de un estereoscopio, lancetas y agujas de disección, para la cual se tomó en cuenta los patrones de teñido de acuerdo a los manuales de la prueba (ISTA, 1985b; 1987).

Los resultados se expresaron en por ciento de vigor, para lo cual únicamente se consideraron las semillas cuyos embriones tiñeron completamente con un rojo brillante.

Conductividad Eléctrica-ASA 610 (CE)

Para efectuar esta prueba se evaluaron seis repeticiones de 100 semillas por lote. Las semillas fueron colocadas en charolas con 100 celdas individuales, a las cuales se agregaron 4 ml de agua destilada por celda. Las charolas cubiertas con papel aluminio se dejaron durante 24 horas a 15°C de temperatura, tiempo después del cual se midió la conductividad eléctrica del agua mediante la inmersión del puente de conductividad del Analizador Automático de Semillas (ASA-610) previamente calibrado a 130 para el cultivo de trigo, puente que para cada inmersión se lavó con agua destilada; la lectura de los resultados fue en por ciento de germinación predicha.

Emergencia en Campo (EC)

Para verificar la relación de las pruebas con emergencia en campo, esta prueba se realizó bajo condiciones ambientales un tanto adversas, mismas que fueron, siembra extemporanea (febrero), suelo seco y frío (Cuadro A.5); aunque para compensar estas desventajas se suministraron riegos de auxilio interdiarios con regadera manual. En ella se registró diariamente la emergencia de plántulas hasta la máxima emergencia en tres repeticiones de 100 semillas por lote, para lo cual, las semillas fueron sembradas individualmente a 5 cm una de otra en surcos distanciados a 60 cm; los resultados se expresaron en porcentaje de emergencia total.

Análisis Estadístico

Los análisis estadísticos de los resultados de las pruebas se efectuaron bajo el siguiente procedimiento:

Análisis Individual de Pruebas

Con la finalidad de observar la separación de los lotes de semilla por cada una de las pruebas, los Análisis de Varianza (ANVA) se calcularon a base de los resultados en las unidades en la que se expresan; estos se ajustaron a los valores de la transformación $\sqrt{\text{porcentaje}}$ arco seno (Steel

y Torrie, 1988), y el diseño experimental utilizado fue el Completamente al Azar (DCA) con tres repeticiones, y para la comparación de las medias de los lotes que presentaron significancia se utilizó la Prueba de Tukey al nivel de significancia más alto encontrado.

Modelo estadístico del DCA : $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$

donde : $i = 1, 2, 3, 4, 5$

$j = 1, 2, 3$

Y_{ij} = variable respuesta

μ = media general

τ_i = efecto de lotes de semilla

ε_{ij} = error experimental

Análisis Entre Pruebas

Para este análisis se consideraron las pruebas cuyos resultados en forma individual separaron de mejor manera el vigor de los lotes de semilla. Previamente, en el caso de las modalidades de las pruebas envejecimiento acelerado, deterioro controlado y topográfica al tetrazolio, para la determinación de la mejor modalidad comparadas con emergencia en campo fueron analizadas mediante DCAs con arreglos factoriales de 5x5, 4x5 y 3x5 en tres repeticiones, análisis de efectos simples, polinomios ortogonales y sus respectivas pruebas de medias por medio de Tukey con las significancias más altas encontradas, respectivamente.

Para el caso de las pruebas cuyos resultados no fueron expresados en porcentajes de vigor, al valor más alto de repeticiones se le asignó el equivalente del 100 por ciento, los demás se ajustaron en forma proporcional.

Específicamente para la prueba crecimiento de plántula, de acuerdo a la sugerencia de la metodología (ISTA, 1987), como patrón de ajuste se consideró un testigo de crecimiento igual a diez, al cual se le dio el valor de 100 por ciento.

Una vez que se obtuvieron todos los resultados transformados, con el objetivo de determinar las pruebas que detecten diferencias de vigor en los lotes de semilla y que estos se asemejen a los expresados en emergencia en campo, se efectuó el análisis bajo un DCA con arreglo factorial 10x5 en tres repeticiones. Halladas las significancias de las variables, se procedió a efectuar los ANVA_s de efectos simples para determinar las significancias de pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas. Determinadas éstas, se realizaron los cálculos correspondientes a polinomios ortogonales de lotes dentro de pruebas. Para el caso de pruebas dentro de lotes mediante la prueba de Tukey con los niveles de significancia más altos registrados, se efectuó la comparación de medias de vigor; y con la finalidad de observar el comportamiento entre pruebas, éstas se compararon mediante contrastes ortogonales.

Modelo estadístico del DCA con arreglo factorial :

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + L_j + (P*L)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde : $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$

$j = 1, 2, 3, 4, 5$

$k = 1, 2, 3$

Y_{ijk} = variable respuesta

μ = media general

P_i = efecto de pruebas de vigor

L_j = efecto de lotes de semilla

$(P*L)_{ij}$ = efecto de la interacción pruebas y lotes

ϵ_{ijk} = error experimental

Los lotes de acuerdo a la expresión de vigor en cada una de las pruebas fueron calificados con el criterio de adjudicar la calificación de alto vigor a los que expresaron un vigor igual o mayor a 75 por ciento, y de bajo vigor a los que no alcanzaron este límite.

RESULTADOS Y DISCUSION

Pruebas Individuales

Vigor mediante Germinación Estándar (GE)

En la germinación estándar bajo condiciones óptimas de laboratorio (ISTA, 1985a) el ANVA no detectó diferencias entre lotes (Cuadro 4.1), y sus medias se encuentran en el rango de 95 a 98 por ciento que los califica como de alta capacidad de germinación (Cuadro 4.2).

Sin embargo, el primer conteo de germinación (PCG) dentro de GE como expresión del vigor de los lotes, efectuado al cuarto día de la siembra detectó diferencia estadística entre lotes (Cuadro 4.1), cuyas medias oscilan entre 90 y 97 por ciento, calificados como de alto vigor. Al hacer la comparación de medias expresadas en porcentaje se observó un mayor vigor en el lote de 1988 (97) con respecto a los demás, aunque estadísticamente no difiere de los de 1986 (95) y 1989 (93) los cuales tuvieron un comportamiento similar a los lotes de 1990 (90) y 1987 (90) como se observa en el Cuadro 4.2.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios de germinación estándar y primer conteo de germinación en lotes de semilla de trigo.

F. de V.	GL	C u a d r a d o s M e d i o s	
		G E	P C G
Lotes	4	7.95 NS	42.26 *
Error	10	5.45	7.79
C.V. %		2.93	3.72

GE= Germinación Estándar; PCG= Primer Conteo de Germinación

Cuadro 4.2. Comparación de medias de germinación estándar y primer conteo de germinación en lotes de semilla de trigo.

Lotes	GE NS (%)	PCG * (%)
1986	97 A	95 AB
1987	95 A	90 B
1988	98 A	97 A
1989	97 A	93 AB
1990	96 A	90 B

Tukey (NS no significativo; * significativo al 0.05)

Aun cuando se aprecian pequeñas diferencias numéricas entre PCG y GE, el primero mostró mayor sensibilidad en la detección del vigor de los lotes de semilla de trigo, por detectar valores más bajos que GE, como observó Cobaquil (1991); asimismo, los resultados ratifican lo afirmado por Echandi (1978) e ISTA (1985a) que la prueba de germinación permite comparar lotes diferentes.

A pesar del alto vigor de todos los lotes, así como de su alta capacidad de germinación, en los resultados pudo observarse que el Primer Conteo de Germinación en la prueba

estándar sí es sensible para detectar pequeñas diferencias de vigor, como es el caso de los lotes evaluados, y también se aprecia la utilidad de la observación del primer conteo en las pruebas de rutina que además de facilitar la evaluación de la germinación estándar, permite detectar el vigor de los lotes de semilla, lo cual corrobora su utilidad como la prueba más antigua para calificar el vigor (Perry, 1987).

Vigor mediante Tasa de Crecimiento de Plántula (TCP)

Aun cuando la evaluación de las plántulas puede ser subjetiva, como señala Moreno (1984), para la TCP expresada como peso seco total de plántulas normales (TCP_a) en mg, a pesar de mostrar diferencias numéricas, el ANVA muestra que los lotes tuvieron un comportamiento similar (Cuadro 4.3) con medias que se encuentran en el rango 581.7 a 659.5 mg (Cuadro 4.4). Al expresarse como peso seco total/número de plántulas normales (TCP_b) en mg/plántula, el ANVA detectó diferencia altamente significativa (Cuadro 4.3) producto del mayor peso en mg/pl producido por el lote de 1988 (13.7) con respecto a los demás, aunque estadísticamente tuvo un peso similar a los de 1987 (12.5) y 1986 (12.3) que se observa en el Cuadro 4.4. Analizado como peso seco total/50 semillas (TCP_c), que fueron las sembradas por repetición, el ANVA (Cuadro 4.3) también mostró alta significancia y en la comparación de medias (Cuadro 4.4) se observa que el lote de

1988 (13.2) expresó un mayor vigor en mg/pl que los otros, aunque estadísticamente similar a los de 1986 (12.0) y 1987 (11.9). De acuerdo al número de plántulas anormales y al de semillas no germinadas registradas en la prueba, los lotes fueron calificados como de alto vigor.

Cuadro 4.3. Cuadrados medios de índices de tasa de crecimiento de plántula en tres formas de expresión de resultados en lotes de semilla de trigo.

F. de V.	GL	C u a d r a d o s		M e d i o s	
		TCP _a	TCP _b	TCP _c	
Lotes	4	3.1 NS	0.0014 **	0.0012 **	
Error	10	0.9	0.0002	0.0003	
C.V. %		4.92	3.58	4.53	

TCP= Tasa de Crecimiento de Plántula

TCP_a= peso seco total de plántulas normales

TCP_b= peso seco total/plántulas normales

TCP_c= peso seco total/50 semillas

Cuadro 4.4. Comparación de medias de índices de tasa de crecimiento de plántula en tres formas de expresión de resultados en lotes de semilla de trigo.

Lotes	TCP _a NS (mg)	TCP _b ** (mg/pl)	TCP _c * (mg/pl)
1986	600.7 A	12.3 AB	12.0 AB
1987	594.7 A	12.5 AB	11.9 AB
1988	659.5 A	13.7 A	13.2 A
1989	581.7 A	12.0 B	11.6 B
1990	582.9 A	12.0 B	11.7 B

Tukey (* 0.05; ** altamente significativo al 0.01)

De las separaciones realizadas por las tres formas de expresar los resultados de la prueba (TCP), se infiere que, ésta mostró ser más sensible que GE como encontraron Martinez (1989), Kalyuzhnyi y Makarova (1984), Odiemah

(1987) y Steiner et al. (1989) quienes consideran a la prueba como buena indicadora del vigor de la semilla; y también más que PCG en la separación por vigor de los lotes de semilla de trigo. Por otro lado, dentro de la prueba, TCP_a y pese a la separación realizada por TCP_b, ambas son consideradas no adecuadas para mostrar las diferencias de vigor que poseen los lotes de semilla, debido a que consideran únicamente plántulas normales; por lo que para efectos de confiabilidad de la prueba, la expresión en mg/plántula de la TCP_c es la que expresa con mayor realidad el vigor de cada uno de los lotes de semilla de trigo por considerar el total de semillas sembradas por repetición en la prueba. Sin embargo, para que los resultados de ésta puedan validarse o compararse con los de otras pruebas, aun cuando la interpretación se efectúa en base al número de plántulas anormales y número de semillas no germinadas, el peso por plántula debe ser llevado al peso de cien plántulas para luego llevarlo a por ciento de vigor, lo cual permite apreciar de mejor manera dicha comparación.

Vigor mediante Crecimiento de Plántula (CP)

El vigor de los lotes expresado como longitud media de plúmula de plántulas normales (CP_a) en cm y ajustado a por ciento de vigor, en el ANVA mostró alta significancia para lotes (Cuadro 4.5), donde se aprecia que el cuadrado medio de lotes es siete veces mayor que el del error. Estas

diferencias fueron notablemente influenciadas por el alto vigor manifestado por el lote de 1988 (76 por ciento) superior a los demás lotes, pero estadísticamente similar a los de 1986 (75), 1989 (70) y 1987 (69); el de 1990 (63) fue el lote que mostró menor vigor, sin embargo también es considerado igual a los tres anteriores. Al no alcanzar el límite de 75 por ciento los cuatro últimos lotes fueron calificados como de bajo vigor (Cuadro 4.6).

Al expresar el vigor como longitud de plúmula/25 semillas (CP_b) y ajustada a por ciento de vigor en el ANVA reportó alta significancia (Cuadro 4.5), y la separación de lotes expresado en porcentaje (Cuadro 4.6), muestra que el lote de 1986 (75) expresó un mayor vigor con respecto a los otros, aunque fue similar a los de 1988 (73), 1989 (67) y 1987 (67). El lote de 1990 (63) registró el vigor más bajo pero estadísticamente igual a los tres anteriores. En este caso, los lotes de 1987, 1988, 1989 y 1990 fueron calificados como de bajo vigor.

Cuadro 4.5. Cuadrados medios de la longitud de plúmula y por ciento de vigor mediante crecimiento de plántula en lotes de semilla de trigo.

F. de V.	GL	C u a d r a d o s		M e d i o s	
		C P a		C P b	
Lotes	4	0.75 **	29.45 **	0.72 **	27.82 **
Error	10	0.11	3.93	0.10	3.53
C.V. %		4.62	3.47	4.52	3.35

CP= Crecimiento de Plántula

CP_a= Longitud media de plúmula de plántulas normales

CP_b= Longitud media de plúmula de 25 semillas sembradas

Cuadro 4.6. Comparación de medias de longitud de plúmula y por ciento de vigor mediante crecimiento de plántula en lotes de semilla de trigo.

Lotes	C P α **		C P β **	
	(cm)	(%)	(cm)	(%)
1986	7.47 AB	75 AB	7.47 A	75 A
1987	6.85 AB	69 AB	6.67 AB	67 AB
1988	7.58 A	76 A	7.28 AB	73 AB
1989	6.96 AB	70 AB	6.73 AB	67 AB
1990	6.34 B	63 B	6.25 B	63 B

Tukey (** 0.01)

De las dos formas de expresar los valores de vigor en esta prueba, CP β parece ser el más adecuado por mostrar con más realidad el vigor de cada uno de los cinco lotes, al considerar el total de semillas puestas a germinar.

Con respecto a las pruebas anteriores, ésta se mostró más sensible que GE, como observaron Kim et al. (1987), y más severa en la evaluación del vigor de los lotes, ya que en su metodología considera el ajuste con un testigo del más alto vigor con valor igual a 10 cm (ISTA, 1987), al respecto Cseresnyes y Saulescu (1989) encontraron que existe una correlación positiva entre longitud de coleóptilo y altura de planta, y que una sola variedad semienana presentó coleóptilo más largo. Esta afirmación hace que el valor del testigo se vea con cierta reserva, aunque Odiemah (1987) que encontró diferencia significativa entre lotes, considera como de alto vigor a plántulas con al menos 4 cm de longitud de coleóptilo después de 12

días de incubación, y la metodología (ISTA, 1987) sugiere que para que las plántulas alcancen dicha longitud, se prolongue la duración de la prueba. Sin embargo esto alargaría el período de la prueba y ocasionaría que el analista esté pendiente del crecimiento, asimismo, que la estandarización de la prueba tenga dificultades, salvo que se definiera, previa evaluación, a lo más dos días.

No obstante, en el presente estudio la prueba demostró ser objetiva, y permitió la comparación del crecimiento de las plántulas de cada uno de los lotes al momento de la evaluación en forma visual sin recurrir a cálculos numéricos.

Vigor mediante Velocidad de Germinación (IVG)

El IVG como indicador de vigor en el ANVA mostró alta significancia para lotes (Cuadro 4.7), y la separación de medias muestra que el lote de 1990 expresó el mayor IVG (13.18) con respecto a los demás, pero estadísticamente similar a los de 1989 (12.34) y 1988 (12.06); los lotes de 1987 y 1986 registraron índices de 11.04 y 9.90 que fueron los más bajos (Cuadro 4.8).

Los resultados permiten apreciar que los lotes expresaron sus IVGs en forma ascendente de acuerdo al año en el que fueron cosechados, de lo cual se infiere que, la

velocidad de crecimiento de las plántulas de cada uno de los lotes en los primeros días fue proporcional a su edad, probablemente debido a una pérdida también proporcional de la velocidad de los procesos fisiológicos para la germinación o la disminución de la actividad enzimática como encontraron Ram y Wiesner (1988) que también observaron que la prueba correlacionó con el vigor de las semillas; con relación a este comportamiento de los lotes, en las pruebas anteriores se pudo observar que las plántulas evaluadas a siete días de sembradas, tendieron a uniformizar su crecimiento conforme se hicieron autosuficientes.

Esta prueba, también mostró ser más sensible que GE en la evaluación del vigor de los lotes de semilla de trigo.

Vigor mediante Índice de Vigor (IV)

El IV en el ANVA mostró diferencia significativa (Cuadro 4.7), y la separación de las medias de vigor (Cuadro 4.8) muestra que el lote de 1986 expresó el mayor IV (0.96) con relación a los otros, pero igual al de 1987 (0.92), el cual manifestó un vigor similar a los lotes de 1990 (0.84), 1989 (0.83) y 1988 (0.83). Sin embargo, de acuerdo a la metodología de la prueba y a los resultados obtenidos, los lotes fueron calificados como de alto vigor.

De la prueba, se aprecia que su metodología trata de expresar el vigor de los lotes de semilla de trigo de una manera lógica; sin embargo, con la finalidad de obtener una información más confiable, en la comparación de los pesos secos, estos deben provenir de plántulas normales de las pruebas GE y EA en las que se siembran igual número de semillas, lo cual hace que las plántulas desarrollen bajo las mismas condiciones de competencia por humedad y espacio.

Cuadro 4.7. Cuadrados medios del índice de velocidad de germinación e índice de vigor en lotes de semilla de trigo.

F. de V.	GL	C u a d r a d o s M e d i o s	
		I V G	I V
Lotes	4	4.80 **	0.010 *
Error	10	0.37	0.002
C.V. %		5.19	4.97

IVA= Índice de Velocidad de Germinación

IV = Índice de Vigor

Cuadro 4.8. Comparación de medias del índice de velocidad de germinación e índice de vigor en lotes de semilla de trigo.

Lotes	IVG **	I V *
1986	9.90 C	0.96 A
1987	11.04 BC	0.92 AB
1988	12.06 AB	0.83 B
1989	12.34 AB	0.83 B
1990	13.18 A	0.84 B

Tukey (* 0.05; ** 0.01)

Vigor mediante Envejecimiento Acelerado (EA)

Los Cuadros 4.9 y 4.10 presentan el análisis de varianza y la comparación de medias para las cuatro modalidades de envejecimiento acelerado, y se aprecia que, la magnitud de los cuadrados medios del por ciento de vigor obtenidos en las modalidades EA-CV, EA-HV y EA-HC es aproximadamente diez veces el valor del cuadrado medio del error que demuestra claramente las diferencias de vigor entre lotes evaluados. Sin embargo, en el caso de la modalidad EA-CC, esta magnitud se reduce solamente a cuatro veces, lo cual indica un incremento en el error experimental que se comprueba al examinar los coeficientes de variación para cada modalidad (Cuadro 4.9).

Las tres modalidades de envejecimiento inicialmente mencionadas identificaron diferencias de vigor con una tendencia similar, y detectaron un vigor mayor a 85 por ciento en los cinco lotes, calificados como de alto vigor; en las tres modalidades los lotes de 1987 y 1990 expresaron los valores más bajos, resultados que coinciden con lo encontrado por Filipenko (1983), quien observó que las semillas de trigo después de envejecimiento retuvieron su germinación por encima de 80 por ciento. Mientras que la modalidad EA-CC clasificó a los lotes de semilla en forma diferente y un tanto más severa, la cual reportó diferencia significativa para lotes (Cuadro 4.9), de los cuales los de

1986 y 1987 expresaron valores bajos de vigor, y los de 1988, 1989 y 1990 mostraron alto vigor (Cuadro 4.10).

Cuadro 4.9. Cuadrados medios de germinación después de envejecimiento acelerado bajo diferentes modalidades, en lotes de semilla de trigo.

F. de V.	GL	C u a d r a d o s		M e d i o s	
		EA-CV	EA-CC	EA-HV	EA-HC
Lotes	4	59.66 **	159.55 *	39.32 **	73.97 **
Error	10	5.70	37.94	3.99	8.98
C.V. %		3.24	9.79	2.68	4.07

EA = Envejecimiento Acelerado;

CV = Cámara Vaso; CC = Cámara Caja

HV = Horno Vaso ; HC = Horno Caja

Cuadro 4.10. Comparación de medias de germinación después de envejecimiento acelerado bajo diferentes modalidades, en lotes de semilla de trigo.

Lotes	EA-CV ** (%)	EA-CC * (%)	EA-HV ** (%)	EA-HC ** (%)
1986	95 A	72 AB	90 B	95 AB
1987	85 B	63 B	91 B	89 AB
1988	96 A	88 A	97 A	97 A
1989	93 AB	82 AB	95 AB	92 AB
1990	90 AB	85 AB	91 B	85 B

Tukey (* 0.05; ** 0.01)

De los resultados, se aprecia que, de las cuatro modalidades, las diferencias entre las de vaso y caja tanto en cámara como en horno, se deben principalmente a que las cajas tienen una superficie mayor de exposición para las semillas, una altura y capacidad menor, así como un mayor hermetismo que el de los vasos, que hicieron que la semilla

en las modalidades con caja sufrieran un mayor deterioro, lo cual coincide con los valores bajos encontrados por Cobaquil (1991) en las modalidades con caja comparadas con las de vaso, sobre todo en la modalidad de EA-CC, la cual fue considerada como la que permitió que los lotes expresaran de mejor manera su vigor luego de ser sometidos a condiciones adversas. Asimismo, los resultados permiten inferir que, la prueba de EA en conjunto mostró ser más objetiva y sensible que GE para detectar el vigor de los lotes de semilla de trigo, resultados que concuerdan con lo observado por Bettac y Matthies (1984), Ram y Wiesner (1988) y Kim et al. (1989).

Con la finalidad de tener una mejor apreciación de los resultados y determinar cual de las cuatro modalidades de EA detectaron el vigor de los lotes en forma similar o aproximada al de emergencia en campo (EC), se efectuó un ANVA (Cuadro 4.11) en el cual se encontró alta significancia para las variables: pruebas, lotes y su interacción, lo cual condujo a efectuar otro ANVA para efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas.

Las significancias halladas en el ANVA para la partición pruebas dentro de lotes (Cuadro 4.12) permitieron la comparación de medias de vigor (Cuadro 4.13) en la que se observa que, el vigor del lote de 1986 fue evaluado en forma similar por EC y EA-CC, en tanto que EA-HV, EA-HC y EA-CV

separaron vigores mayores y a la vez similares; mientras que el lote de 1987 expresó su vigor estadísticamente similar en EA-CC y EC, esta última detectó igual que EA-CV y ésta en forma similar a EA-HC y EA-HV. En tanto que EC en el lote de 1988 detectó un vigor diferente a las cuatro modalidades de envejecimiento en las que el vigor detectado fue similar. Mientras que el lote de 1989 en EC y EA.CC expresó su vigor en forma similar, el vigor detectado por EA-CC fue igual al expresado en EA-HC y EA-CV, aunque estas últimas también estadísticamente detectaron en forma parecida a EA-HV. Por otro lado, el vigor del lote de 1990 fue detectado en forma similar por EC, EA-CV, EA-CC y EA-HC, y estas tres últimas igual a EA-HV.

Cuadro 4.11. Cuadrados medios de germinación después de envejecimiento acelerado bajo diferentes modalidades comparadas con emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.

F. de V.	GL	CM
Pruebas (P)	4	771.27 **
Lotes (L)	4	162.74 **
P x L	16	45.95 **
Error	50	14.00
C.V. %		5.43

Cuadro 4.12. Cuadrados medios del análisis de efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas de las modalidades de envejecimiento acelerado comparadas con emergencia en campo.

F. de V.	GL	CM
P/L-1986	4	290.81 **
P/L-1987	4	216.39 **
P/L-1988	4	262.57 **
P/L-1989	4	139.11 **
P/L-1990	4	46.20 *
L/EA-CV	4	59.66 **
L/EA-CC	4	159.55 **
L/EA-HV	4	39.32 *
L/EA-HC	4	73.97 **
L/EC	4	14.04 NS
Error	50	14.00

P= Prueba; L= Lotes; EC= Emergencia en Campo

Cuadro 4.13. Comparación de medias de germinación después de envejecimiento acelerado y emergencia total en campo detectadas en la partición pruebas dentro de lotes, evaluadas por las modalidades de envejecimiento y emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.

Pruebas	L o t e s									
	1986 **		1987 **		1988 **		1989 **		1990 *	
EA-CV	95	B	85	BC	96	B	93	BC	90	AB
EA-CC	72	A	63	A	88	B	82	AB	85	AB
EA-HV	90	B	91	C	97	B	95	C	91	B
EA-HC	95	B	89	C	97	B	92	BC	85	AB
EC	70	A	73	AB	72	A	76	A	78	A

Tukey(* 0.05; ** 0.01)

De este análisis se infiere que, la modalidad EA-CC detectó el vigor de los lotes de semilla de trigo en forma similar a EC, lo cual ratifica la inferencia realizada en modalidades individuales, coincidente con la correlación de

EA con EC encontrada por Estrada (1989), Kim et al. (1989), por lo tanto, de las cuatro modalidades, EA-CC es considerada como la más apropiada por haber detectado con mayor realidad el vigor de los lotes y por incluir en su metodología los factores determinantes del deterioro de las semillas como son humedad relativa y temperatura en forma aproximada a condiciones naturales en las que ocurre este proceso.

La tendencia del comportamiento de los cinco lotes en cada una de las pruebas, fue analizada mediante polinomios ortogonales, de cuyos resultados (Cuadro 4.14) se consideran las tendencias más indicadas, así, en EA-CV y en EA-HC los lotes tuvieron un comportamiento cúbico; en EA-CC, cuártico; en EA-HV, cuadrático; mientras que en EC, no hubo significancia (Figura 4.1).

También se evaluó la expresión de vigor promedio de cada uno de los lotes a través de las cinco pruebas evaluadas, cuya separación muestra que, el lote de 1988 expresó 90 por ciento de vigor, mayor que los otros lotes, pero estadísticamente igual al de 1989 (88), el cual tuvo un vigor similar a los lotes de 1986 (84) y 1990 (86) que también expresaron un vigor similar al de 1987 (80) observado en el Cuadro A.4, cuyos promedios permiten considerar a los lotes como de alto vigor. Se aduce que las diferencias en el comportamiento de cada uno de los lotes en

cada una de las pruebas se deben principalmente al efecto de pruebas, a la probable influencia del medio ambiente durante la producción de los lotes de semilla evaluados (Cuadros A.1, A.2 y A.3) como observó Curiova (1984) y al posible desigual deterioro en la eficacia de los inhibidores endógenos que controlan la germinación referidos por Priestley (1986), y a la posible disminución de la actividad enzimática observada por Ram y Wiesner (1988).

Cuadro 4.14. Significancias de la partición lotes dentro de pruebas mediante polinomios ortogonales que indican el comportamiento de los lotes en las modalidades de envejecimiento acelerado y en emergencia en campo.

Tendencia	EA-CV	EA-CC	EA-HV	EA-HC	EC
Cuadrática			*		
Cúbica	**			*	
Cuártica		**			NS

(* 0.05; ** 0.01)

Vigor mediante Deterioro Controlado (DC)

Esta prueba fue evaluada en tres modalidades. La primera en Cámara (DC-C) no presentó significancia para lotes en el ANVA (Cuadro 4.15), y los promedios de vigor observados se encuentran entre 92 y 95 por ciento (Cuadro 4.16) por lo cual la prueba calificó a los lotes como de alto vigor. Asimismo, la segunda modalidad Horno caja (DC-HC) tampoco presentó diferencias para lotes (Cuadro 4.15) y los promedios de vigor van de 92 a 96 por ciento, igualmente considerados como de alto vigor (Cuadro 4.16).

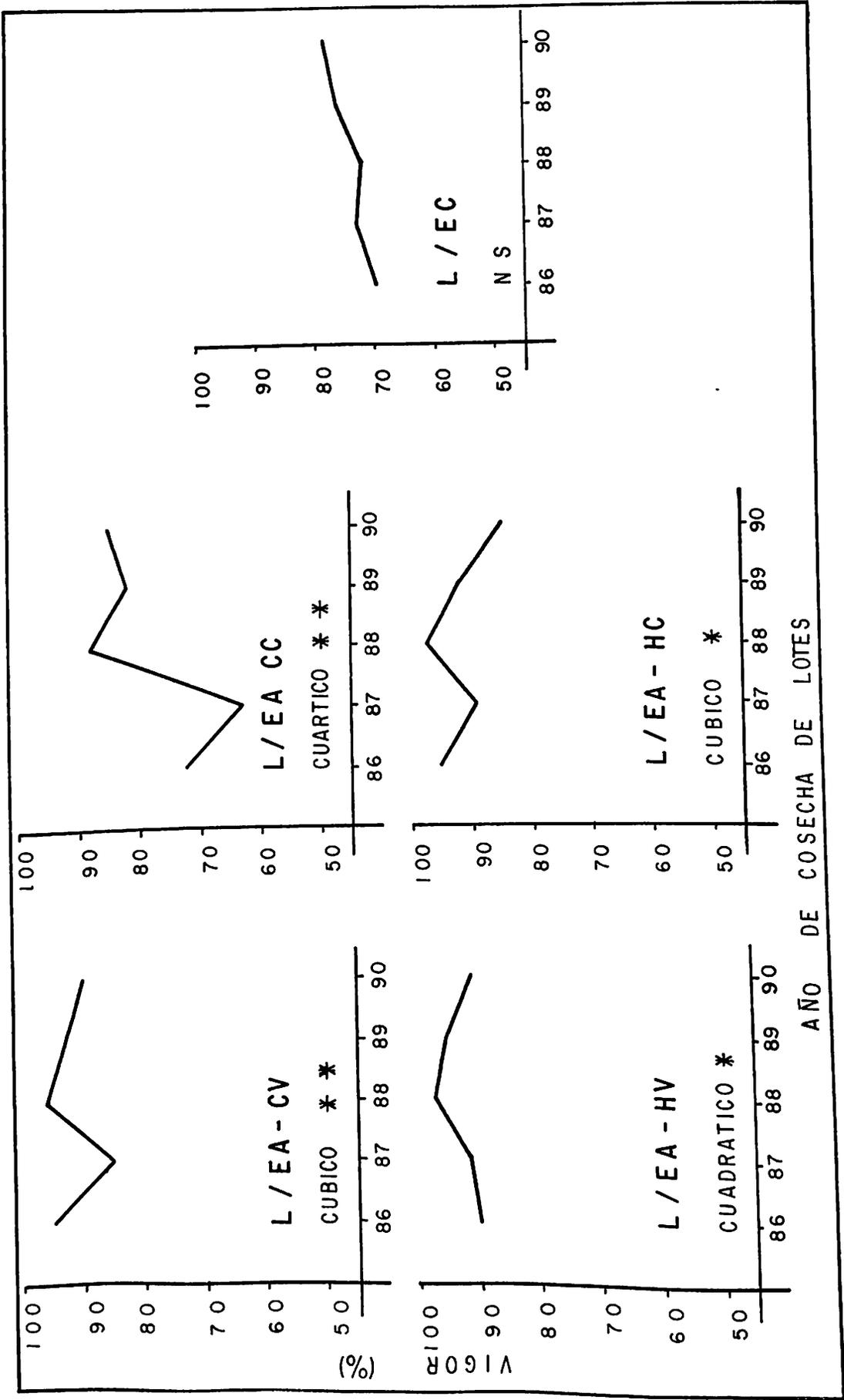


Figura 4.1 Tendencias de lotes de semilla de trigo en la partición lotes dentro de pruebas en la comparación de modalidades de envejecimiento acelerado con emergencia en campo.

Para la tercera modalidad, baño maría (DC-BM) el ANVA detectó significancia para lotes (Cuadro 4.15) y la separación de medias de germinación después del período de deterioro de estos (Cuadro 4.16), muestra que los lotes de 1988 y 1989 expresaron 96 y 95 por ciento de germinación respectivamente, que indican un mayor vigor con respecto a los otros, aunque estadísticamente son similares a los de 1990 (92) y 1986 (92), los cuales también tienen un vigor igual al de 1987 (86). Pese a las diferencias numéricas que existe entre la medias de vigor, como en el caso de las dos modalidades anteriores los lotes fueron calificados como de alto vigor. Por lo tanto, analizadas en forma individual, la modalidad DC-BM separó de mejor manera la expresión de vigor de cada uno de los lotes de semilla de trigo, sin embargo, ésta presentó dificultades durante su instalación, por lo cual, su metodología requiere de un equipo con los accesorios adecuados.

Cuadro 4.15. Cuadrados medios de germinación después de deterioro controlado bajo diferentes modalidades, en lotes de semilla de trigo.

F. de V.	GL	C u a d r a d o s		M e d i o s
		DC-C	DC-HC	DC-BM
Lotes	4	13.69 NS	11.97 NS	45.67 *
Error	10	6.35	6.79	7.79
C.V. %		3.34	3.43	3.75

DC = Deterioro Controlado:

c = Cámara; HC = Horno Caja; BM = Baño María

Cuadro 4.16. Comparación de medias de germinación después de deterioro controlado bajo diferentes modalidades, en lotes de semilla de trigo.

Lotes	DC-C (%)	NS	DC-HC (%)	NS	DC-BM * (%)	
1986	93	A	95	A	92	AB
1987	92	A	92	A	86	B
1988	95	A	94	A	96	A
1989	95	A	96	A	95	A
1990	92	A	93	A	92	AB

Tukey (* 0.05)

Aun cuando la prueba permite comparar lotes como lo menciona Moreno (1984) los porcentajes de vigor se aprecian un tanto sobreestimados, por lo que se sugiere que para evaluar las plántulas de la manera como se hizo, se incremente el período de deterioro de la prueba, dado que 24 hr resultó no significativo para expresar el vigor de los lotes de semilla de trigo.

Sin embargo, para tener una apreciación más real, las modalidades fueron comparadas con EC, en el ANVA se observan diferencias altamente significativas para pruebas y lotes y para la interacción no hubo significancia (Cuadro 4.17).

Con la finalidad de observar la expresión de vigor de cada uno de los lotes en cada una de las pruebas, se efectuó el ANVA de efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas (Cuadro 4.18).

Cuadro 4.17. Cuadrados medios de germinación después de deterioro controlado bajo diferentes modalidades de deterioro comparadas con emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.

F. de V.	GL	CM
Pruebas (P)	3	946.28 **
Lotes (L)	4	45.52 **
P x L	12	13.28 NS
Error	40	8.58
C.V. %		4.11

Cuadro 4.18 Cuadrados medios del análisis de efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas de las modalidades de deterioro controlado comparadas con emergencia en campo.

F.V.	GL	CM
P/L-1986	3	262.34 **
P/L-1987	3	141.37 **
P/L-1988	3	280.06 **
P/L-1989	3	212.55 **
P/L-1990	3	103.09 **
L/DC-C	4	13.69 NS
L/DC-HC	4	11.97 NS
L/DC-BM	4	45.67 **
L/EC	4	14.04 NS
Error	40	8.58

Para la primera partición se tuvo alta significancia y se aprecia que las tres modalidades evaluaron el vigor de cada uno de los lotes en forma similar, pero detectaron vigores mayores que EC (Cuadro 4.19).

Cuadro 4.19. Comparación de medias de germinación después de deterioro controlado detectadas por la partición pruebas dentro de lotes, evaluadas en las modalidades de deterioro y emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.

Pruebas	L o t e s									
	1986 **		1987 **		1988 **		1989 **		1990 **	
DC-C	93	B	92	B	95	B	95	B	92	B
DC-HC	95	B	92	B	94	B	96	B	93	B
DC-BM	92	B	86	B	96	B	95	B	92	B
EC	70	A	73	A	72	A	76	A	78	A

Tukey (** 0.01)

La modalidad DC-C a diferencia de las otras en su metodología incluye en forma cercana a condiciones reales los factores humedad relativa y temperatura determinantes del deterioro de las semillas, y es considerada como la indicada para evaluar el vigor de los lotes de semilla de trigo de la misma variedad, sin embargo, se debe probar un mayor número de horas como período de deterioro para obtener resultados más objetivos y confiables.

En la segunda partición no hubo significancia para lotes en DC-C, DC-HC y en EC (Cuadro 4.18), y al analizar la significancia de la partición lotes en DC-BM mediante polinomios ortogonales, los lotes tuvieron un comportamiento con tendencia cúbica (Cuadro 4.20 y Figura 4.2). Asimismo, se evaluó el comportamiento de cada uno de los lotes a través de las cuatro pruebas comparadas y se observa que el lote de 1989 expresó 91 por ciento de vigor, mayor que los otros, aunque estadísticamente su vigor es similar a los

lotes de 1988 (89), 1990 (89) y 1986 (88), los cuales expresaron vigores similares al de 1987 (86), esto se aprecia en el cuadro A.4; estos promedios permitieron calificar a los lotes como de alto vigor. Las diferencias en vigor detectadas por la prueba coinciden con las encontradas por Naylor y Gurmu (1990), quien observó que lotes de similar germinación, después de deterioro controlado mostraron diferencias en vigor.

Cuadro 4.20. Significancias de la partición lotes dentro de pruebas mediante polinomios ortogonales para determinar el comportamiento de los lotes en las modalidades de deterioro controlado y emergencia en campo.

Tendencia	DC-C	DC-HC	DC-BM	EC
Cúbica			**	
Cuártica	NS	NS		NS

(** 0.01)

De los resultados se observa que, cada uno de los lotes expresaron su vigor en forma diferente y se aduce que se debió a la influencia de las pruebas, del medio ambiente durante la producción de los lotes de semilla (Cuadro A.1, A.2 y A.3) observado por Curiova (1984), al posible desigual deterioro en la eficacia de los inhibidores endógenos de la germinación referido por Priestley (1986), a reducciones en el contenido de los ácidos fosfatasa y peroxidasa observadas por Hagima et al. (1987) y la disminución de la actividad enzimática, observado por Ram y Wiesner (1988).

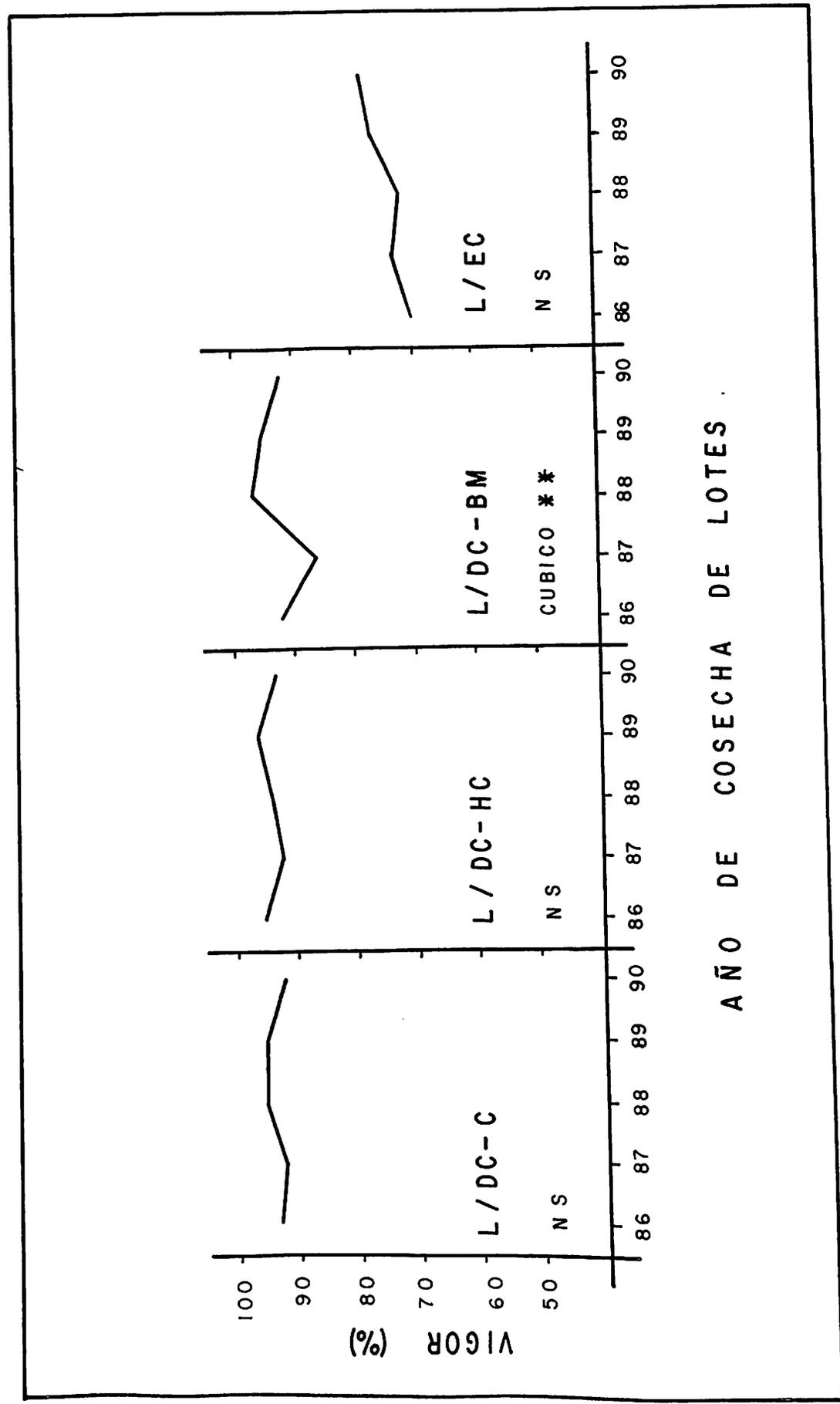


Figura 4.2 Tendencias de lotes de semilla de trigo en la partición lotes dentro de pruebas en la comparación de modalidades de deterioro controlado con emergencia en campo.

Vigor mediante Topográfica al tetrazolio (TTZ)

Para evaluar el vigor de los lotes mediante la tinción del tetrazolio, se evaluaron dos modalidades de acondicionamiento de la semilla. En la modalidad acondicionamiento en agua (TTZ-AA), para lotes, el ANVA mostró alta significancia (Cuadro 4.21) y la separación de medias de vigor de estos (Cuadro 4.22) muestra que el lote de 1988 expresó mayor vigor (93 por ciento) que los otros lotes, aunque estadísticamente igual al de 1986 (90) el cual tuvo un vigor similar a los lotes de 1987 (84) y 1989 (83) que también expresaron vigor igual al de 1990 (81). Aun cuando se observan diferencias numéricas en el vigor expresado, los lotes fueron calificados como de alto vigor.

Por otro lado, en la modalidad acondicionamiento en toallas de papel (TTZ-AP) el ANVA (cuadro 4.21) mostró diferencia significativa para lotes y la separación de medias de vigor (Cuadro 4.22) hace ver que los lotes de 1986 (89), 1989 (88), 1988 (87) y 1990 (86) estadísticamente poseen vigor similar y superior al de 1987 (77); al igual que en la modalidad anterior los lotes fueron considerados como de alto vigor. De las modalidades, la TTZ-AA estadísticamente separó mejor el vigor expresado por cada uno de los lotes de semilla de trigo.

Cuadro 4.21. Cuadrados medios del vigor de lotes de semilla de trigo bajo dos modalidades de la topográfica al tetrazolio.

F. de V.	GL	C u a d r a d o s		M e d i o s	
		TTZ-AA		TTZ-AP	
Lotes	4	60.34 **		37.25 *	
Error	10	3.77		6.32	
C.V. %		2.83		3.71	

TTZ= Topográfica al Tetrazolio:

AA = Acondicionamiento en agua;

AP = Acondicionamiento en toallas de papel

Cuadro 4.22. Comparación de medias de vigor de lotes de semilla de trigo, bajo dos modalidades de la topográfica al tetrazolio.

Lotes	TTZ-AA **		TTZ-AP *	
	(%)		(%)	
1986	90	AB	89	A
1987	84	BC	77	B
1988	93	A	87	A
1989	83	BC	88	A
1990	81	C	86	A

Tukey (* 0.05; ** 0.01)

Asimismo, para tener una mejor apreciación de los resultados, las modalidades se compararon con EC, y en el ANVA se encontró alta significancia para las variables: pruebas, lotes y su interacción (Cuadro 4.23), por lo cual se procedió a analizar los efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas (Cuadro 4.24). Obtenidas las significancias, para la partición pruebas en lotes se hizo la separación de medias, donde se observa que, el vigor de los lotes de 1986 y 1988 fue evaluado en forma similar por las dos modalidades de

TTZ, pero diferente a EC. En tanto que el lote de 1987 fue evaluado en forma similar por EC y TTZ-AP que evaluó igual que TTZ-AA. Mientras que el vigor de los lotes de 1989 y 1990 fue evaluado en forma similar por EC y TTZ-AA, y esta última igual a TTZ-AP (Cuadro 4.25).

Cuadro 4.23. Cuadrados medios de vigor de lotes de semilla de trigo bajo dos modalidades de topográfica al tetrazolio comparadas con emergencia en campo.

F. de V.	GL	CM
Pruebas (P)	2	383.92 **
Lotes (L)	4	33.44 **
P x L	8	39.10 **
Error	30	7.83
C.V. %		4.29

Cuadro 4.24 Cuadrados medios del análisis de efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas de las modalidades de topográfica al tetrazolio comparadas con emergencia en campo.

F.V.	GL	CM
P/L-1986	2	200.40 **
P/L-1987	2	42.43 **
P/L-1988	2	213.23 **
P/L-1989	2	54.86 **
P/L-1990	2	29.40 *
L/TTZA	4	60.34 **
L/TTZP	4	37.25 **
L/EC	4	14.04 NS
Error	30	7.83

Cuadro 4.25. Comparación de medias de vigor de lotes de semilla de trigo detectadas por la partición pruebas dentro de lotes, evaluados en dos modalidades de topográfica al tetrazolio y emergencia en campo.

Pruebas	L o t e s									
	1986 **		1987 **		1988 **		1989 **		1990 *	
TTZ-AA	90	B	84	B	93	B	83	AB	81	AB
TTZ-AP	89	B	77	AB	87	B	88	B	86	B
EC	70	A	73	A	72	A	76	A	78	A

Tukey (* 0.05; ** 0.01)

De este análisis, se infiere que, ambas modalidades estadísticamente separaron en forma similar el vigor de los lotes, pero en forma diferente a EC, por lo cual se utilizó el criterio personal para seleccionar una modalidad y se consideró la TTZ-AP por cuanto ésta acondicionó de mejor manera las semillas para efectuar una disección adecuada de las mismas, lo cual facilitó una mejor fijación de la tinción del rojo formazan de la sal en los tejidos vivos de los embriones, que permitió una mejor evaluación del vigor que poseían las semillas, para lo cual se consideraron los embriones completamente teñidos, tal como observaron Woodstock (1976), Rytko et al. (1985), Tulo (1985) y Kim et al. (1987; 1989) que consideran a la prueba como apropiada para predecir la calidad de las semillas. Al respecto Sung y Chen (1988) encontraron que el vigor de plántula estuvo positivamente relacionado a la capacidad del genotipo de fijar el formazán. Aun cuando la prueba tiende a sobreestimar el vigor de los lotes, como reportan Perry

(1987), Rytko et al. (1985) y Rennie y Gorey (1988), ésta al mismo tiempo permite estimar en forma rápida el vigor y la viabilidad de las semillas, lo cual asociado a la confiabilidad de una prueba son fundamentales en un análisis de semillas.

Por otro lado, la partición lotes dentro de pruebas permitió observar que en la modalidad TTZ-AA. los lotes tuvieron un comportamiento con tendencia cuártica, mientras que en la modalidad TTZ-AP fue cúbica, y para EC no hubo significancia (Cuadro 4.26 y Figura 4.3).

Cuadro 4.26. Significancias de la partición lotes dentro de pruebas mediante polinomios ortogonales para determinar el comportamiento de los lotes en las modalidades de topográfica al tetrazolio y emergencia en campo.

Tendencia	TTZ-AA	TTZ-AP	EC
Cúbica		**	
Cuártica	**		NS

(** 0.01)

La separación de las medias del comportamiento de cada uno de los lotes a través de las tres pruebas comparadas muestra que, el lote de 1988 expresó mayor vigor (84 por ciento) que los demás lotes, aunque estadísticamente poseía un vigor similar al de los lotes de 1986 (83), 1989 (82) y 1990 (82) que también expresaron un vigor igual al de 1987 (78), lo cual se aprecia en el Cuadro A.4.

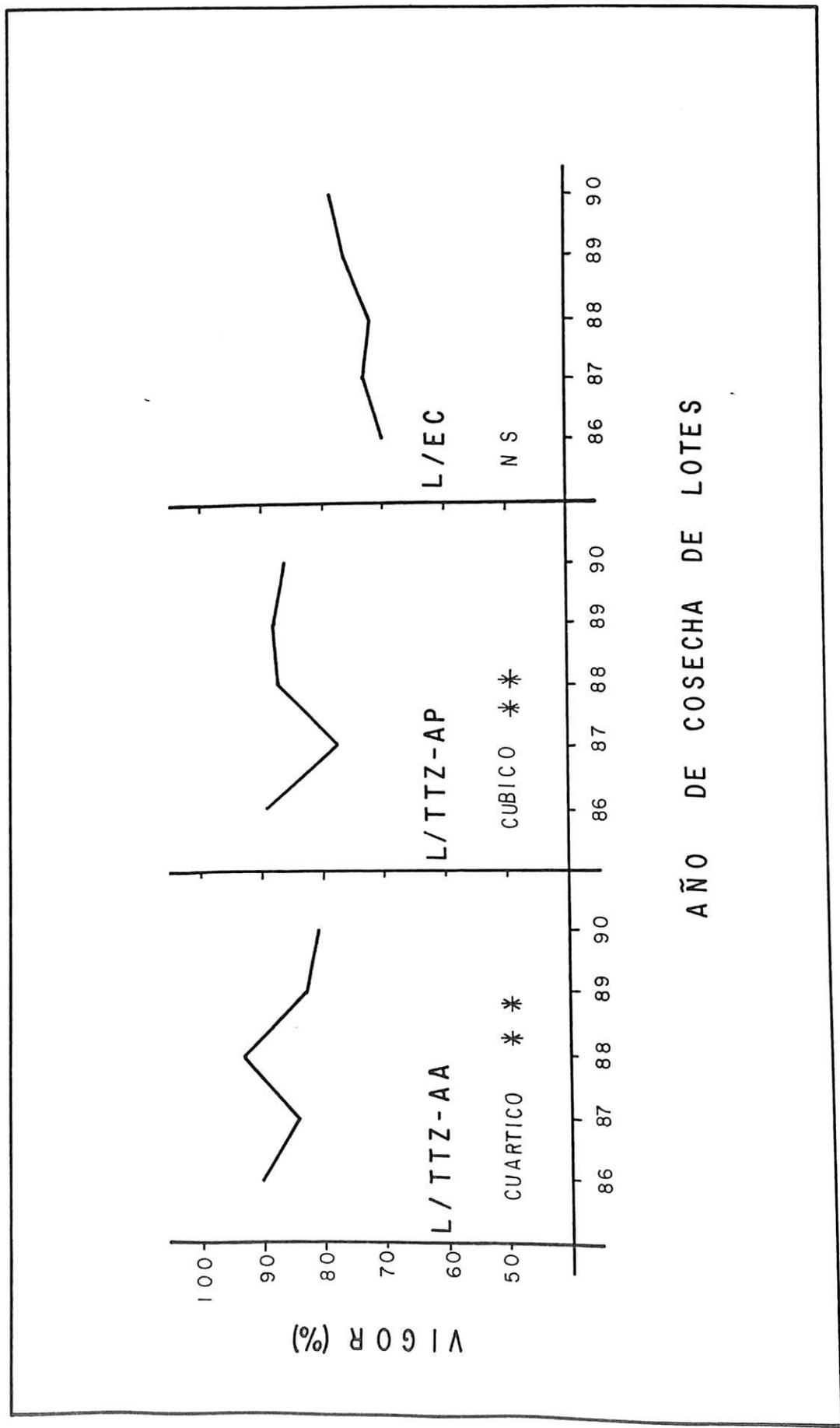


Figura 4.3 Tendencias de lotes de semilla de trigo en la partición lotes dentro de pruebas en la comparación de modalidades de la topográfica al tetrazolio con emergencia en campo.

Vigor mediante Conductividad Eléctrica-ASA 610 (CE)

Los resultados expresados como germinación predicha en ASA-610 en el ANVA mostraron significancia para lotes (Cuadro 4.27) y la separación de las medias de germinación predicha de los lotes (Cuadro 4.28) hace ver que los lotes de 1990 y 1989 expresaron 100 por ciento de vigor, mayor que los demás, aunque estadísticamente su vigor fue igual al de los lotes de 1987 (97) el cual registró un vigor similar a los de 1986 y 1988 que tuvieron 96 por ciento. Las medias calificaron a los lotes como de alto vigor.

De los resultados se infiere que, la prueba con respecto a las otras sobreestimó el vigor de cada uno de los lotes de semilla de trigo en forma semejante a viabilidad, y esto la hace poco confiable, y confirma lo encontrado por Estrada, (1989), aunque para expresar el vigor de las semillas, la prueba requiere la cuantificación de la CE por semilla en forma individual, para luego ser analizada en la gráfica correspondiente, sugerida por la metodología.

Cuadro 4.27. Cuadrados medios de germinación predicha evaluada por conductividad eléctrica-ASA 610, en lotes de semilla de trigo.

F. de V.	GL	CM
Lotes	4	94.82 *
Error	10	17.49
C.V. %		4.97

Cuadro 4.28. Comparación de medias de germinación predicha evaluada por conductividad eléctrica-ASA 610, en lotes de semilla de trigo.

Lotes	CE	*
1986	96	B
1987	97	AB
1988	96	B
1989	100	A
1990	100	A

Tukey (* 0.05; ** 0.01)

CE=Conductividad Eléctrica

Vigor mediante Emergencia en Campo (EC)

Al evaluar el porcentaje de emergencia total de cada uno de los lotes, en el campo expresaron su vigor en forma similar, lo cual ratifica el no haber diferencia estadística para lotes en el ANVA (Cuadro 4.29) en el que se aprecia que el cuadrado medio del error es similar al cuadrado medio de lotes, que indica un mayor error experimental; los promedios de vigor se encuentran entre 70 y 78 por ciento (Cuadro 4.30), los cuales son bastante inferiores a GE, coincidente con lo observado por Fokanov y Akmanov (1983) así como por Tomer y Maguire (1990).

Los lotes de 1989 (76) y 1990 (78) fueron calificados como de alto vigor, y al no haber alcanzado el límite de 75 por ciento los lotes de 1986 (70), 1987 (73) y 1988 (72) se consideraron como de bajo vigor. De la calificación se infiere que, la emergencia total de cada uno de los lotes en el campo no fue la expresión real de la

calidad que poseían estos.

El comportamiento de los lotes en la EC se aduce principalmente a las condiciones adversas en las que se evaluó la prueba (Cuadro A.5) consideradas por Andrews (1978) así como por Perry (1987) y como observaron Nayeem y Deshpande (1987) e Ybema y Barla (1992), por lo que, es de esperar que en una siembra normal en la cual casi siempre la semilla encuentra un medio favorable que depende del manejo que se le dé y de las condiciones climáticas del momento, referido por Perry (1987), cada uno de los lotes exprese un mayor porcentaje de emergencia, al menos de manera similar a las predicciones hechas por las pruebas de laboratorio en las que las semillas fueron sometidas a condiciones adversas, sobre todo a los detectados por EA-CC.

Cuadro 4.29. Cuadrados medios de emergencia total en campo en lotes de semilla de trigo.

F. de V.	GL	CM
Lotes	4	14.04 NS
Error	10	13.40
C.V. %		6.16

Cuadro 4.30. Comparación de medias de emergencia total en campo en lotes de semilla de trigo.

Lotes	EC	NS
1986	70	A
1987	73	A
1988	72	A
1989	76	A
1990	78	A

EC=Emergencia en Campo

Comparación de Pruebas

Para determinar cuales pruebas detectaron el vigor de cada uno de los lotes en forma similar o aproximada a EC, se realizó un ANVA en base a la información de diez pruebas que son: PCG, TCP, EP, IVG, IV, EA-CC, DC-C, TTZ-AP, CE Y EC, todas expresadas en por ciento de vigor de cada uno de los lotes. El ANVA mostró alta significancia tanto para pruebas, lotes así como para su interacción (Cuadro 4.31), lo cual condujo a evaluar los efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas (Cuadro 4.32).

El análisis de la partición pruebas dentro de lotes mostró alta significancia, y en la comparación de medias (Cuadro 4.33 y Figura A.1) muestra que, las pruebas EA-CC, IVG, CP y TCP evaluaron el vigor del lote de 1986 en forma similar a EC, lo cual indica que pese a las diferencias numéricas, estas pruebas permitieron predecir el comportamiento del lote en el campo. En tanto, el vigor del lote de 1987 fue detectado en forma similar a EC por las pruebas CP, EA-CC, TTZ-AP e IVG, aquí se aprecia que tanto EA-CC como CP detectaron de manera más severa que EC al expresar un vigor más bajo que ésta, y que las diferencias numéricas son mayores que en el lote anterior. Mientras que las pruebas CP, IV, TTZ-AP y EA-CC evaluaron en forma similar a EC el vigor del lote de 1988, CP se mostró

numéricamente más severa que las otras. Por otro lado, el vigor del lote de 1989 fue detectado por CP en forma severa pero igual al expresado en TCP, IV, EA-CC y EC. Asimismo, al evaluar el vigor del lote de 1990, CP también lo hizo en forma severa pero estadísticamente igual a EC.

Cuadro 4.31. Cuadrados medios de vigor de nueve pruebas de laboratorio comparadas con emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.

F. de V.	GL	CM
Pruebas (P)	9	1019.53 **
Lotes (L)	4	102.09 **
P x L	36	87.78 **
Error	100	16.90
C.V. %		5.93

Cuadro 4.32 Cuadrados medios del análisis de efectos simples de las particiones pruebas dentro de lotes y lotes dentro de pruebas, determinados para comparar pruebas de vigor con emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.

F.V.	GL	CM
P/L-1986	9	264.46 **
P/L-1987	9	275.24 **
P/L-1988	9	206.98 **
P/L-1989	9	283.36 **
P/L-1990	9	340.61 **
L/PCG	4	42.26 *
L/TCP	4	98.37 **
L/CP	4	27.82 NS
L/IVG	4	267.24 **
L/IV	4	137.09 **
L/EA-CC	4	159.55 **
L/DC-C	4	13.69 NS
L/TTZ-AP	4	37.25 NS
L/CE	4	94.82 **
L/EC	4	14.04 NS
Error	100	16.90

Cuadro 4.33. Comparación de medias de vigor detectadas por la partición pruebas dentro de lotes, evaluadas en nueve pruebas de laboratorio comparadas con emergencia en campo, en lotes de semilla de trigo.

Pruebas	1986 **	1987 **	1988 **	1989 **	1990 **	\bar{X}
PCG	95 C	90 CD	97 C	93 C	90 BC	93
TCP	87 ABC	86 BC	96 C	85 ABC	84 B	88
CP	75 B	67 A	73 A	67 A	63 A	69
IVG	74 AB	83 ABC	90 BC	92 C	99 CD	88
IV	95 C	92 CD	83 AB	83 ABC	84 B	87
EA-CC	72 AB	63 A	88 ABC	82 ABC	85 B	78
DC-C	93 C	92 CD	95 BC	95 CD	92 BC	93
TTZ-AP	89 BC	77 ABC	87 ABC	88 BC	86 B	85
CE	96 C	97 D	96 BC	100 D	100 D	98
EC	70 A	73 AB	72 A	76 AB	78 AB	74
\bar{X}	85	82	88	86	86	

Tukey (** 0.01)

Para una mejor apreciación del comportamiento de cada una de las pruebas, mediante la prueba de contrastes ortogonales se efectuaron siete comparaciones de interés (Cuadro 4.34) y se encontró alta significancia para los contrastes a excepción del cuarto, en el que no hubo significancia; esto indujo a la comparación de medias por contraste (Cuadro 4.35), para lo cual se utilizaron los promedios de vigor detectados por cada prueba (Cuadro 4.33).

De los resultados se infiere que, en el primer contraste, el promedio de PCG, TCP y CP (83.3) fue menor al promedio de IVG e IV (87.5), esta diferencia se aduce a que las últimas sobreestimaron la expresión de vigor de los lotes y a que en las primeras influyó la severidad con la

que evaluó CP; al descomponer el contraste anterior, en la segunda comparación, el promedio de PCG y TCP (90) fue mayor que CP principalmente debido a la severidad de esta última y a la sobreestimación del vigor por las primeras, de las cuales PCG (92) sobreestimó un tanto más que TCP (88).

Por otro lado, la comparación de IVG (88) e IV (87) resultó no significativa, lo cual indica que ambas pruebas estimaron el vigor de los lotes en forma similar. En la quinta comparación, la media de DC-C (85) fue menor que la de CE (98); sin embargo, ambas pruebas por su tendencia a sobreestimar la expresión de vigor de los lotes fueron consideradas entre las que detectaron un mayor vigor en los lotes evaluados.

Asimismo, el promedio de EA-CC y TTZ-AP (81.5) resultó mayor que el expresado por EC (74), diferencia debida a que TTZ-AP tiende a sobreestimar el vigor de los lotes y a las condiciones ambientales severas en las que se evaluó EC que hicieron que los lotes disminuyeran la expresión del vigor real que poseían; la comparación de EA-CC (78) con TTZ-AP (85) ratifica lo mencionado, ya que EA-CC detectó el vigor de los lotes en forma aproximada al vigor real que poseían estos.

Cuadro 4.34. Cuadrados medios de los contrastes ortogonales entre pruebas de vigor, evaluadas en lotes de semilla de trigo.

Contrastes		GL	CM
PCG, TCP, CP	vs IVG, IV	1	247.41 **
PCG, TCP	vs CP	1	2757.26 **
PCG	vs TCP	1	168.84 **
IVG	vs IV	1	2.20 NS
DC-C	vs CE	1	578.95 **
EA-CC, TTZ-AP	vs EC	1	349.40 **
EA-CC	vs TTZ-AP	1	179.34 **
Error		100	16.90

Cuadro 4.35. Comparación de medias de los contrastes ortogonales entre pruebas de vigor, evaluadas en lotes de semilla de trigo.

Contrastes		Medias de Contrastes
PCG, TCP, CP	vs IVG, IV	83.3 < 87.5
PCG, TCP	vs CP	90.0 > 69.0
PCG	vs TCP	92.0 > 88.0
IVG	vs IV	88.0 > 87.0
DC-C	vs CE	85.0 < 98.0
EA-CC, TTZ-AP	vs EC	81.5 > 74.0
EA-CC	vs TTZ-AP	78.0 < 85.0

De los análisis en conjunto para pruebas, se infiere que, a excepción de CE, todas las pruebas, incluidas las modalidades, fueron más sensibles que GE en la detección del vigor de cada uno de los lotes de semilla de trigo, lo cual coincide con lo reportado por Ram y Wiesner (1988). La prueba CP a pesar de ser una prueba fisiológica que no incluye condiciones adversas, por la metodología utilizada, la cual sugiere la comparación de las medias de crecimiento de las plúmulas con un testigo de alto vigor con crecimiento

igual a 10 cm (Perry, 1987) y estadísticamente analizada, mostró ser una prueba severa en la evaluación del vigor de los lotes de semilla de trigo. Sin embargo, por la uniformidad con la que evaluó a los cinco lotes y porque durante la evaluación del crecimiento de las plántulas permitió apreciar y comparar el vigor de los lotes en forma visual sin recurrir a cálculos numéricos, CP es considerada una prueba apropiada para esta evaluación, tal como fue observado por Kim et al. (1987) y Perry (1987).

De las pruebas de estrés, EA-CC resultó la más apropiada para predecir el comportamiento de los lotes de semilla de trigo, como observaron Baalbaki y Copeland (1987), Tomer y Maguire (1990) así como Ybema y Barla (1992), por su naturaleza y dado que EC fue evaluada en condiciones ambientales adversas (Cuadro A.5) se estima que en condiciones normales de siembra, los lotes manifestarían su vigor en forma similar a los que detectó EA-CC.

Como pruebas alternativas a CP y EA-CC, están TTZ-AP y TCP, ambas consideradas por Steiner et al. (1989), las cuales tendieron a sobreestimar pero en forma moderada la expresión de vigor de los lotes en relación a la sobreestimación efectuada por las demás pruebas, entre ellas aquellas cuyas unidades iniciales no fueron porcentajes, las cuales en cierta forma fueron perjudicadas al darles a sus mayores valores el equivalente del cien por ciento de vigor,

sin embargo, detectaron el vigor de los lotes de mejor manera que PCG, CE y las modalidades de DC. Al respecto, Baalbaki y Copeland (1987) mencionan que IVG y CE no tuvieron éxito en la predicción de EC.

En el caso de IV, de haberse utilizado el peso seco de las plántulas procedentes de GE y EA-CC en lugar de TCP y EA-CV (predeterminadas) hubiera detectado una mejor expresión del vigor de los lotes respecto a EC; sin embargo, aun cuando expresa el vigor de los lotes en forma lógica, el hecho de depender de la realización de dos pruebas, requerir de mayor número de materiales y más tiempo para su ejecución, hacen que la prueba sea poco práctica.

La evaluación de los lotes en cada una de las pruebas (Cuadro 4.32) muestra que hubo significancia para lotes en PCG, TCP, IVG, IV, EA-CC y CE, por lo cual, el comportamiento de los lotes en cada una de éstas fue analizado por medio de polinomios ortogonales (Cuadro 4.36 y Figura 4.4) que hacen ver que, los lotes en las pruebas IVG, IV y CE tuvieron tendencia lineal; TCP, cuadrática; TTZ-AP, cúbica, mientras que, PCG y EA-CC, cuártica. En CP, DC-C y EC, no hubo significancia.

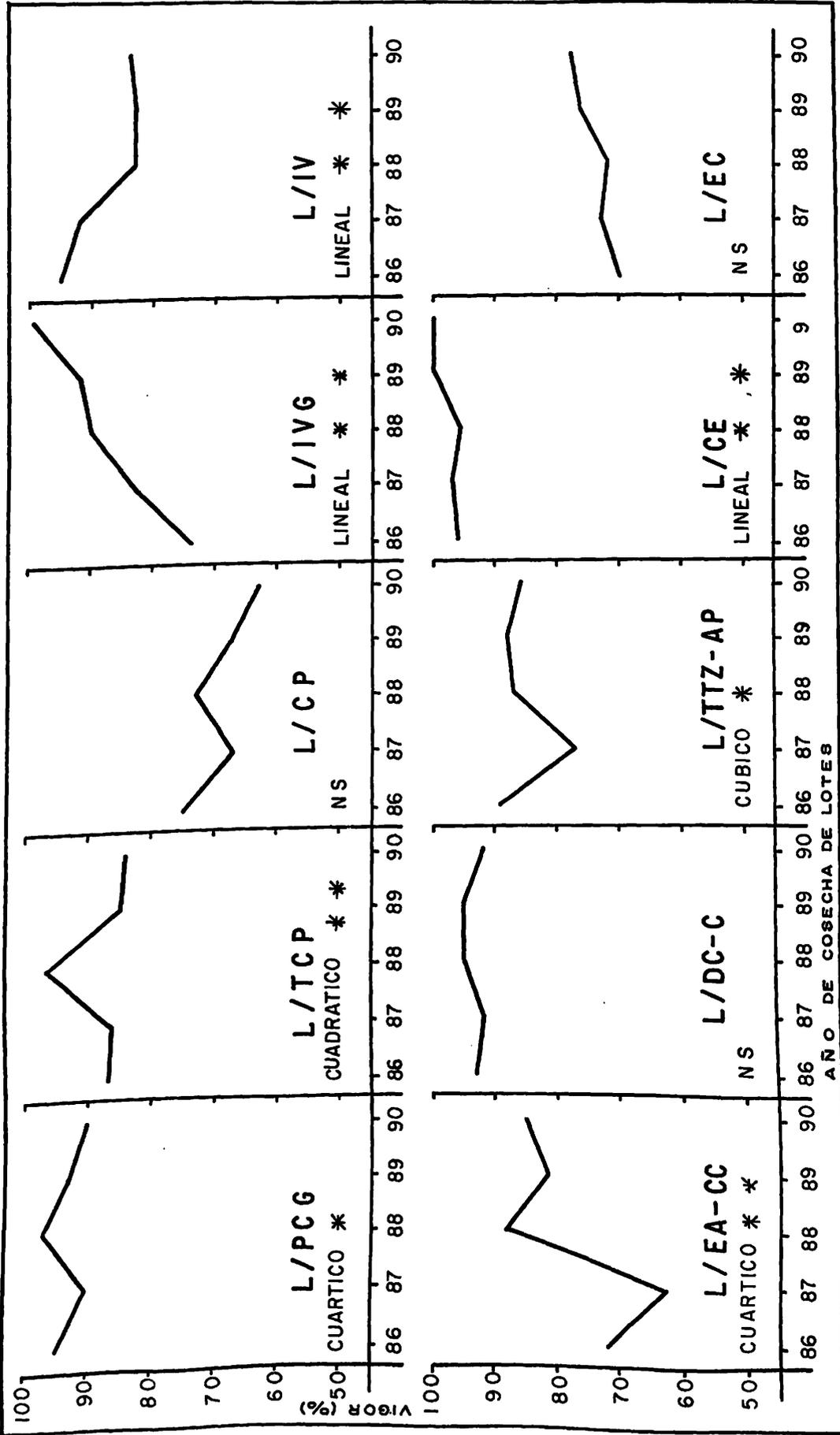


Figura 4.4 Tendencias de lotes de semilla de trigo en la partición lotes dentro de pruebas en la comparación de pruebas de vigor con emergencia en campo.

Cuadro 4.36. Significancias de la partición lotes dentro de pruebas mediante polinomios ortogonales para determinar el comportamiento de los lotes de semilla de trigo en cada una de las pruebas de vigor.

Tendencia	PCG	TCP	CP	IVG	IV	EA-CC	DC-C	TTZ-AP	CE	EC
Lineal				**	**				**	
Cuadrática		**						*		
Cúbica										
Cuártica	*		NS			**	NS			NS

(* 0.05; ** 0.01)

Al evaluar el comportamiento de cada uno de los lotes a través de las diez pruebas, se observó que los lotes de 1988 (88), 1989 (86) y 1990 (86) expresaron un vigor superior a los demás lotes, aunque estadísticamente tuvieron un vigor similar al de 1986 (85), el cual tuvo igual vigor que el lote 1987 (82), lo cual se observa en el Cuadro A.4.

De estos resultados se deduce que, las diferencias en vigor expresadas por cada uno de los lotes en cada una de las pruebas, se deben principalmente a la naturaleza o efecto de prueba, a la posible influencia del medio ambiente en la que se produjeron los lotes de semilla (Cuadros A.1, A.2 y A.3) considerados por Kovar (1987), a los ajustes hechos sobre todo en las pruebas inicialmente expresadas en unidades que no eran porcentajes y en general a los factores y aspectos que influyen en el nivel de vigor de la semilla considerados por Andrews (1978), Perry (1987) y el Manual de Vigor de la MSU (1992).

Aun cuando se observaron diferencias numéricas, los lotes evaluados fueron calificados como de alto vigor por los porcentajes expresados por cada uno de ellos (Cuadro 4.33), lo cual ratifica la bondad que posee la semilla de trigo para ser almacenada y conservada por períodos prolongados bajo condiciones ambientales adecuadas, observado por Petrosyan y Mkrtchyan (1990), en la cual también, el genotipo de las semillas constituye un factor importante para reducir su deterioración, afirmado por Rodríguez (1987).

Análisis de Requisitos de una Prueba de Vigor

Con respecto a los requisitos que debe cumplir una prueba de vigor como son, bajo costo, rápida, no complicada, objetiva, reproducible, y que correlacione con EC, mencionado por McDonald (1975), para el análisis de las diez pruebas se consideró lo utilizado por cada una de ellas en sus metodologías, así como el criterio personal en base a lo experimentado durante el desarrollo del estudio.

Así, el Primer Conteo de Germinación (PCG) aprovecha la prueba GE y lo que en ésta se utiliza; por el tiempo que utiliza relativamente es rápido y al tener una evaluación subjetiva tiende a sobreestimar el vigor de los lotes y eso lo hace ser no objetivo, no reproducible y que no correlacione con EC; sin embargo, es de bajo costo y no es

complicado. Por otro lado, la Tasa de Crecimiento de Plántula (TCP) al requerir más equipo se hace más costosa, requiere dos días más que GE, relativamente es complicada y tiene problemas al momento de su interpretación sobre todo para comparar con los resultados de otras pruebas y para correlacionar con EC, pero es objetiva y es reproducible. Mientras que Crecimiento de Plántula (CP) no es rápida aunque utiliza el mismo tiempo que GE, y aun cuando resulta muy severa en la interpretación de resultados ajustados a porcentaje con respecto a EC, es de bajo costo, no es complicada, es objetiva y reproducible. Con respecto a Velocidad de Germinación (IVG), el tiempo que emplea está en función a la velocidad que expresa el lote, es un tanto complicada por tener que evaluar diariamente a la misma hora, por tener una evaluación subjetiva relativamente es objetiva y reproducible, sus resultados transformados sobreestiman ligeramente la emergencia en campo, pero no es costosa. Por lo tanto, de las cuatro pruebas que evalúan plántulas a partir de semillas no sometidas a condiciones adversas, Crecimiento de Plántula reúne el mayor número de requisitos de una prueba de vigor.

El Índice de Vigor (IV) por depender de la ejecución de dos pruebas (TCP y EA) se hace más costosa, tardada y relativamente complicada; sin embargo, es reproducible y expresa el vigor de los lotes en forma lógica u objetiva, así como en forma aproximada a EC, sobre todo si se utiliza

el peso seco de la modalidad adecuada de EA.

En tanto que, Envejecimiento Acelerado Cámara Caja (EA-CC) por la cámara que utiliza, pero que la puede tener un laboratorio, es relativamente costosa, no es rápida porque emplea dos días más que GE. Sin embargo, no es complicada, es la más objetiva por cuanto involucra los factores determinantes del deterioro de las semillas (HR y temperatura), es reproducible y correlaciona con EC; por lo tanto EA-CC también reúne el mayor número de requisitos de una prueba de vigor y es considerada la más apropiada para predecir el vigor de los lotes de semilla tanto en almacén como en campo.

Con relación a la prueba de Deterioro Controlado (DC-C) por ser una prueba de estrés, comparada sobre todo con EA-CC, es más costosa, emplea un día menos porque utiliza únicamente 24 hr de estrés, que fueron insuficientes para que correlacione con EC, relativamente es complicada, pero es objetiva y es reproducible.

Mientras que en la Topográfica al Tetrazolio (TTZ-AP) su costo está determinado por el de la sal de tetrazolio, la disponibilidad de un horno y un estereoscópio, relativamente es complicada, objetiva y reproducible por cuanto requiere de mucha experiencia y conocimiento de las estructuras embrionales para su

evaluación, tiende a sobreestimar la emergencia de los lotes en el campo; sin embargo, es rápida y permite estimar al mismo tiempo que el vigor, la viabilidad de la semilla. Si el laboratorio dispone del equipo, así como el reactivo, por su rapidez la prueba también es recomendada como prueba alternativa.

En tanto que, la prueba de Conductividad Eléctrica-ASA 610 (CE), al requerir de un analizador automático de semillas para la evaluación se hace un tanto costosa, es menos objetiva y reproducible que las anteriores porque sobreestima no sólo la germinación de los lotes, sino también el vigor cuando el resultado se basa simplemente en germinación predicha sin considerar la conductividad individual de las semillas, por lo que no correlaciona con EC, aunque es rápida y no complicada.

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis de los resultados y con relación a los objetivos e hipótesis del presente estudio, se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1.- A excepción de Conductividad Eléctrica-ASA 610, todas las pruebas de vigor incluidas las modalidades evaluadas fueron más sensibles que la Germinación Estándar en la separación de los lotes de semilla de trigo por vigor.
- 2.- De las pruebas fisiológicas evaluadas, todas separaron el vigor de los lotes de semilla de trigo. Crecimiento de Plántula (longitud de plúmula) y Tasa de Crecimiento de Plántula (peso seco) mostraron mayor confiabilidad.
- 3.- De las pruebas de estrés, todas las modalidades de Envejecimiento Acelerado diferenciaron el vigor de los lotes, mientras que de las modalidades de deterioro, la única que separó los lotes fue Deterioro Controlado en baño maría.
- 4.- De las bioquímicas, las modalidades de Topográfica al Tetrazolio y Conductividad Eléctrica-ASA 610 separaron el vigor de los lotes, de las cuales, la Topográfica al

Tetrazolio modalidad acondicionamiento de semilla entre toallas de papel húmedo lo hizo con mayor objetividad.

- 5.- La prueba que mejor detectó el vigor de los lotes de semilla de trigo con relación a emergencia en campo, fue Envejecimiento Acelerado cámara caja, seguido por Crecimiento de Plántula, la Topográfica al Tetrazolio-acondicionamiento de semilla en toallas de papel y Tasa de Crecimiento de Plántula.
- 6.- Las pruebas que reúnen el mayor número de requisitos de una prueba de vigor son, Crecimiento de Plántula, Envejecimiento Acelerado cámara caja y como prueba alternativa por ser rápida se sugiere la Topográfica al Tetrazolio-acondicionamiento de semilla entre toallas de papel húmedo.
- 7.- Por lo complejo que es el vigor, para el ensayo de calidad de semillas de trigo se sugieren las pruebas de Envejecimiento Acelerado modalidad cámara caja y la de Crecimiento de Plántula, y como pruebas alternativas, la Topográfica al Tetrazolio-acondicionamiento de semilla entre toallas de papel húmedo y la Tasa de Crecimiento de Plántula
- 8.- Los lotes de semilla de trigo cv. Papago 86 evaluados en cada una de las pruebas de vigor expresaron su vigor en

forma diferente, de los cuales, numéricamente mostró un mayor vigor a través de todas las pruebas el lote de 1988, y el que expresó el vigor más bajo fue el de 1987.

9.- Aun cuando mostraron diferencias numéricas a través de todas las pruebas, los lotes de semilla de trigo manifestaron poseer un alto vigor, lo cual ratifica la alta capacidad de almacenamiento y conservación de la semilla de este cereal.

RESUMEN

Dada la importancia que tiene el uso de una semilla de alta calidad para la rentabilidad de un cultivo, la evaluación periódica mediante pruebas de laboratorio que permiten que la semilla llegue al agricultor con la información real y confiable de la calidad que contiene, es cada vez más importante. La prueba de germinación estándar que es la más utilizada en los laboratorios para evaluar la condición fisiológica de la semilla, no predice su comportamiento en el campo, lo cual hace necesarias las pruebas de vigor que permiten detectar pequeñas y grandes diferencias de vigor. En base a que las principales pruebas de vigor fueron desarrolladas para cultivos específicos, el presente estudio tiene como finalidad determinar el potencial de cada una de ellas aplicadas en el ensayo de calidad de la semilla de trigo, con los objetivos de, identificar las pruebas de vigor que permitan seleccionar lotes de semilla de trigo, que estén relacionadas con la emergencia en campo, y que reúnan el mayor número de requisitos de una prueba de vigor.

Inicialmente, se evaluaron en forma individual dieciseis metodologías de pruebas y modalidades de vigor descritas por la ISTA, la AOSA y otras adaptables a

diferentes laboratorios. De las pruebas fisiológicas se evaluaron, Primer conteo de Germinación, Tasa de Crecimiento de Plántula, Crecimiento de Plántula, Velocidad de Germinación e Índice de Vigor. Dentro de las pruebas de estrés, Envejecimiento Acelerado y sus modalidades cámara vaso, cámara caja, horno vaso y horno caja, así como las modalidades de Deterioro Controlado en cámara, en horno caja y en baño maría. Y de las bioquímicas, se evaluaron la Topográfica al Tetrazolio con sus modalidades acondicionamiento de semilla en agua y en toallas de papel, y la prueba de Conductividad Eléctrica en ASA 610. Y como parámetro de comparación se evaluó la de Emergencia en Campo.

Luego de la evaluación individual de las modalidades de cada prueba, se seleccionó la que expresó con mayor realidad el vigor de los lotes de semilla de trigo, y se procedió a analizar en conjunto las nueve pruebas comparadas con emergencia en campo.

De los resultados, se observó que cada una de las pruebas detectó el vigor de los lotes de manera diferente entre sí; sin embargo, las pruebas que detectaron el vigor de estos en forma similar a Emergencia en Campo fueron, Envejecimiento Acelerado modalidad cámara caja y Crecimiento de Plántula (longitud de plúmula), asimismo, estas dos pruebas separaron de mejor manera el vigor de los lotes y reúnen el mayor número de requerimientos de una prueba de

vigor, por ello, son sugeridas para el ensayo de calidad de lotes de semilla de trigo; y como pruebas alternativas, la Topográfica al Tetrazolio modalidad acondicionamiento de semilla en toalla de papel y la prueba de Tasa de Crecimiento de Plántula (peso seco) presentaron cierto potencial.

No obstante las diferencias numéricas en su expresión de vigor, los lotes de semilla de trigo cv. Papago 86 por los vigores promedios a través de las diez pruebas, fueron calificados como de alto vigor; el más alto correspondió al lote de 1988 y el más bajo al lote de 1987.

LITERATURA CITADA

- Agro Sciences Incorporated. 1979. The Automatic Seed Analyzers Instruction Manual. Michigan, U.S.A. 34 p.
- Amaral, A. Dos S. 1983. Accelerated aging a test of seed vigour. *Lavoura Arrozeira*. 36(343):24-25. Brazil.
- Andrews, H. 1978. Vigor de la semilla. Curso de Tecnología de Semillas. CIAT. Cali, Colombia.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1983. Seed vigor Testing Handbook. Contribution No. 32. U.S.A. 82 p.
- Baalbaki, R. and L.O. Copeland. 1987. Vigor testing of wheat and its relationship to field performance, storage and seed quality. *Newsletter of the AOSA*. 61(2):15. U.S.A.
- Badhoria, B.S., G.C. Aggarwal, and B.R. Tripathi. 1983. Emergence and seedling vigour of maize as influenced by soil moisture content, seed soaking, planting depth and variety. *Indian J. of Agron*. 28(1):73-75 India.
- Barla S., G., M. Jolankai and L. Balla. 1987. Effect of agro ecological factors on seed vigour in wheat. *Noveny-termeles*. 36(5):325-331. Hungary.
- Baskin, C.C. 1987. Accelerated Aging Test. *ISTA Handbook of Vigour Test Methods*. 2 Ed. Zurich, Switzerland. 72 p
- Bettac, E. and H. Matthies. 1984. Studies on the validity of the accelerated aging test as a method for determining seed vigour, demonstrated with winter rye (*Secale cereale* L.). *Wissenschaftliche Beitrage, Marthin Luther Universitat Halle Wittenberg* 53 (S42): 95-109. German Democratic Republic.
- Chalam, G.V., A. Singhand and J.E. Douglas. 1967. *Seed Testing Manual*. Indian Council of Agr. Rese. and AID New Delhi, India.
- Chuampis A. 1982. Effect of seed vigor on yield of RD 7 and RD 10 rice. *Kasetsart Univ. Bangkok. Thailand*. 76 p.

- Cobaquil G., A.R. 1991. Evaluación de modalidades para estimar vigor en semilla de maíz (*Zea mays* L.) mediante envejecimiento acelerado. Tesis. Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Coahuila, México. 78 p.
- Cseresnyes, Z., G. Sin, I. Lascu, I. Prodan, C. Boanca and E. Motoc. 1984. Relationship between germination under laboratory and field conditions of wheat, maize and soybean seeds. *Analele Institutului de Cercetari pentru Cereale si Plante Technice*. 51:133-142. Fundulea, Romania.
- Cseresnyes, Z. and M. Baleanu. 1987. Accelerated aging, a cause of decrease in germination and vigour in wheat seeds. *Analele Institutului de Cercetari pentru Cereale si Plante Technice*. 54:123-136. Fundulea, Romania.
- Cseresnyes, Z. and N.N. Saulescu. 1989. Coleoptile length as an index of seed vigour in wheat. *Probleme di genetica teoretica si aplicada*. 21(1):23-36. Romania.
- Curiova, S. 1984. Determination of seed storability by the accelerated aging test. *Rostlinna Vyriba*. 30(1):9-18 Czechoslovakia.
- Curiova, S. and M. Vlasak. 1984. The variability of cultivars in response to the accelerated aging of seeds. *Sbornik UVTIZ Genetika a Slechteni*. 20(2):127-131. Czechoslovakia.
- Delouche, J.C. 1973a. The problem of vigor. Proc. MS Short Course. Seed Technology Laboratory. Mississippi State University. U.S.A. 19 p.
- Delouche, J.C. 1973b. Precepts of seed storage. Proceedings of the Mississippi State Seed Processors. Short Course. Seed Technology Laboratory. Mississippi State University. p. 93-122. U.S.A.
- Delouche, J.C. and C.C. Baskin. 1976. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Sci and Tech*. 1(2):427-452. The Netherlands.
- Delouche, J.C. and W.P. Caldwell. 1978. Vigor de la semilla y los exámenes de vigor. Curso Tecnología de Semillas. CIAT. Cali, Colombia.
- Douglas, J.E. 1982. Programas de Semillas. Guía de Planeación y Manejo. CIAT. Cali, Colombia.

- Echandi, R. 1978. Materiales, equipos y procedimientos para pruebas de germinación. Curso de Tecnología de Semillas. CIAT. Cali, Colombia.
- Estrada V., J.D. 1989. Evaluación de pruebas de calidad para predecir y calificar vigor en lotes de semilla de frijol y soya. Tesis. Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Coahuila, México. 135 p.
- Filipenko, G.I. 1983. Peculiarities of physiological and biochemical changes in barley and wheat seeds during accelerated aging. Nauchno tekhnicheskoi. Byulleten' Vsesoyuznogo Ordena Lenina i Ordena Druzhby Narodov Nauchno-issledovatel' skogo Instituta Rastenievodstva Imeni N.I. Vavilova. (No.128):19-21. U.S.S.R.
- Floris, C. 1970. Aging *Triticum durum* seeds. Behavior of embryo and endosperms form aged seeds as revealed by the embryo trasplantation technique. J. of Exp. Botany. 21:462-468.
- Fokanov, A.M. and I.I. Akmanov. 1983. Interrelationship between nutrient quality of seeds and the degree of leaching from them. Seleksiya i Semenovodstvo. (No.2):41-43. U.S.S.R.
- Fundación para el Desarrollo del Agro (FUNDEAGRO). 1989. Manual de Control de Calidad de Semillas. Lima, Perú. 238 p.
- Galan, J.M., H.M. Pava and C.V. Fonollera. 1982. The effect of nitrogen fertilization and seed deterioration on grain yield and other agronomic parameters of grain sorghum, *Sorghum bicolor* (L) Moench. CMU J. of Agr. Food and Nutrition. 3(4):318-339. Philippines.
- Gupta, S.P., P.S. Madan and J. Kaur. 1987. Effect of seed size on seed yield and seed quality in wheat. Seeds & Farms. 13(11):11-13. India.
- Hagima, I., Z. Cseresnyes and M. Baleanu. 1987. effect of rapid artificial aging on the activity of some enzymes and on germination in wheat grains. Analele Institutului de Cercetari pentru Cereale si Plante Tehnice. 54:137-147. Fundulea, Romania.
- Hussaini, S.H., P. Sarada and B.M. Reddy. 1984. Effect of seed size on germination and vigour in maize. Seed Research. 12(2):98-101. India.

- International Seed Testing Association. 1981. Handbook of vigour test methods. Zurich, Switzerland. 56 p.
- _____. 1985a. International Rules for Seed Testing. Seed Sci and Tech. 13:299-335. The Netherlands.
- _____. 1985b. Handbook on Tetrazolium Testing. ISTA. Zurich, Switzerland.
- _____. 1987. Handbook of vigour test methods. 2 ed. Zurich, Switzerland. 72 p.
- Kalyuzhnyi, A.I. and A. Ya. Makarova. 1984. Relationship between parameters of seed germination vigour and morphological/physiological values in maize seedlings. Doklady Vsesoyuznoi Ordena Lenina i Ordena Trudovogo K.Z.A.S. Nauk Imeni V.I. Lenina No. 8:13-15 U.S.S.R.
- Khah, E.M., E.H. Roberts and R.H. Ellis. 1989. Effects of seed aging on growth and yield of spring wheat at different plant population densities. Field Crops Research. 20(3):175-190. U.K.
- Kim, S.H., Z.R. Choe and J.H. Kang. 1987. Vigor determination in barley seeds by the multiple criteria. Korean J. of Crop Sci. 32(4):417-424. Korea Republic.
- Kim, S.H., Y.H. Bin and Z.R. Choe. 1989. The use of multiple seed vigor indices to predict field emergence and grain yield of naked and malting barley. Korean J. of Crop Sci. 34(2):134-141. Korea Republic.
- Kovar, M. 1987. Wheat seed vigour. Sbornik UVTIZ, Genetika a Slecteni. 23(4):289-297. Czechoslovakia.
- Krishnasamy, V. and D.V. Seshu. 1990. Germination after accelerated ageing and associated characters in rice varieties. Seed Sci and Tech. 18:147-156. Netherlands
- Krishnaveni, K. and K.R. Ramaswamy. 1986. Association between seed weight and seedling vigour in CO- H.1. hybrid maize. Madras Agr. J. 73(11):657-658. India.
- Less, P. 1980. Vigor de las semillas. Clave de las mejores cosechas. Agricultura de las Américas. 29:15-39. Kansas, U.S.A.
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sci. 2:176-177. U.S.A.

- Martínez M., V.M. 1989 Efecto de características físicas sobre calidad de semillas de maíz. Tesis. Profesional Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Coahuila, México. 42p.
- Matthews, S. and A.A. Powell. 1987. Electrical Conductivity Test; Controlled Deterioration Test. ISTA Handbook of Vigour Test Methods. 2 Ed. Zurich, Switzerland. 72 p.
- McDonald Jr. M.B. 1975. A review and evaluation of seed vigor test. Proc. of Off. Seed Anal. 65:117-122. U.S.A.
- McDonald Jr. M.B. 1977. The influence of seed moisture on the accelerated aging seed vigor test. J. of Seed Tech. 2(1):12-28 U.S.A.
- Miranda, F. 1984. Vigor y pruebas de vigor de semillas. Conferencia VIII Curso de postgrado en Tecnología de Semillas. CIAT. Colombia. 18 p.
- Moreno M., E. 1984. Análisis físico biológico de semillas agrícolas. UNAM-Instituto de Biología. México. 383 p.
- Mississippi State University (MSU). 1992. Vigor Testing Workbook. 38 th Short Course for Seedmen. Seed Tech. Lab Mississippi, U.S.A. 16 p.
- Nayeem, K.A. and S.V. Deshpande. 1987. Genetic variability and correlation coefficients relating to seed size, seedling vigour and some physico-chemical properties in wheat. Seed Sci. and Tech. 15 (3):699-705. The Netherlands.
- Naylor, R.E.L. and M.K. Syversen. 1988. Assessment of seed vigour in Italian ryegrass. Seed Sci. and Tech. 16(2):419-426. The Netherlands.
- Naylor, R.E.L. and M. Gurmu. 1990. Seed vigour and water relations in wheat. Ann. of Appl. Biol. 117(2):441-450. U.K.
- Nienhuis, K.H. and H.J. Baltjes. 1985. Seed storage and germination in testing varieties for distinctness, uniformity and stability. Seed Sci. and Tech. 13(1): 19-25. The Netherlands.
- Odiemah, M. 1987. Germinability and vigour of wheat seed compartment at different periods of storage. Acta Agronomica Hungarica. 36(3-4):303-308. Hungary.

- Perry, D.A. 1977. A vigour test for seeds of barley (*Hordeum vulgare*) based on measurement of plumule growth. *Seed Sci. and Tech.* 5:709-719. Netherlands.
- Perry, D.A. 1987. Introduction; Methodology and Application of Vigour Tests; Growth and Evaluation Tests; Topographical Tetrazolium Test. *ISTA Handbook of Vigour Test Methods.* 2 Ed. Zurich, Switzerland. 72 p.
- Petrosyan, A.S. and L.S. Mkrtchyan. 1990. Germinability maintenance period in *Triticum* L. seeds. *Biologicheskii Zhurnal Armenii.* 43(1):85-86. U.S.S.R.
- Presley, J.T. 1958. Relation of protoplast permeability to cotton seed viability and predisposition to seedling disease. *Plant Disease Rep.* 42(7):852. U.S.S.R.
- Priestley, D.A. 1986. Seed Aging. Implication for seed storage and persistence in the soil. Comstock Publishing Associates Cornell University Press. Ithaca, U.S.A. 304 p.
- Prochazka, B., J. Svoboda, I. Susol and M. Angelovic. 1986. The stroke effect of threshing of wheat and barley grain on germination energy and germination capacity. *Acta Technologica Agriculturae.* 27:23-35. Czechoslovakia.
- Ram, C. 1983. Relationship between seed vigor tests and field performance in winter and spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Disertation Abstracts International,* B. 44(5):1300. Montana, U.S.A.
- Ram, C. and L.E. Wiesner. 1988. Effects of artificial ageing on physiological and biochemical parameters of seed quality in wheat. *Seed Sci. and Tech.* 16(3):579-587. The Netherlands.
- Rennie, W.J. and V. Gorey. 1988. Estimating potential germination of winter wheat and winter barley seed using a tetrazolium test. *Irish J. of Agr. Rese.* 27 (2-3):179-186. Irish Republic.
- Robert, McD. 1969. Relationship of seed weight seedling vigor and mitochondrial metabolism in barley. *Crop Sci.* 9:823-827. U.S.A.
- Rodríguez, A.R. 1987. Improvement in storability of maize seed through selection using accelerated aging. *Tesis Doctorado.* Mississippi State University. U.S.A.

- Rytko, G., M. Tulo and K. Niemyski. 1985. The tetrazolium method as an index of germination capacity and vigour of cereal seeds. *Hodowla Roslin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo*. 29(1):47-64. Poland.
- Sayers, R. 1982. Pruebas de germinación y vigor. *Memorias del curso de Actualización sobre Tecnología de Semillas*. UAAAN-AMSAC. p. 129-136. Buenavista, Coahuila. México.
- Schlegel, G. 1984. On the validity of the tetrazolium and the acid-fuchsin test compared with germination in paper rolls for testing wheat, barley and rye caryopsis with different harvest dates and stress loads. *Wissenschaftliche Beitrage, Martin Luther Universitat Halle Wittenberg (No.53(S42))*:177-189. German Democratic Republic.
- Scott, D.J., A.M. Finnerty, D.D. Bell and J.G. Hampton. 1985. Plumular abnormality in New Zealand wheat seed. *New Zealand J. of Exp. Agr.* 13(2):129-133. New Zealand.
- Sojka, E. and R. Zaidan. 1983. Effect of winter wheat (Cv. Jana) seed ageing on its viability and vigour. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 52(1):53-60. Poland
- Shenoy, V.V., M. Dadlani and D.V. Seshu. 1989. Field emergence prediction in rice based on laboratory tests. *Philippine J. of Crop Sci.* V.14 (supplement No.1) p.S1. Philippines.
- Steiner, A.M. and H. Fuchs. 1987. Germination and tetrazolium testing in seeds treated with herbicides and pesticides. *Seed Sci. and Tech.* 15(3):707-716. German Federal republic.
- Steiner, J.J., D.F. Grabe and M. Tulo. 1989. Single and multiple vigor tests for predicting seedling emergence of wheat. *Crop Sci.* 29(3):782-786. U.S.A
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1988. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. 2 ed. McGraw Hill. México. p. 580-581.
- Sung, F.J.M. and J.J. Chen. 1988. Tetrazolium test for predicting the seedling vigor of rice at optimal and low temperatures. *Crop Sci.* 28(6):1012-1014. U.S.A.
- Tekrony, D.M. 1983. Seed vigour testing-1982. *J. of Seed Tech.* 8(1):55-63. U.S.A.

- The United States Department of Agriculture (USDA). 1952. Manual for testing agricultural and vegetable seeds. U.S.A.
- Tomer, R.P.S. and J.D. Maguire. 1990. Seed Vigour studies in Wheat. Seed Sci. and Tech. 18:383-392. The Netherlands.
- Tulo, M. 1985. Application of 2, 3, 5-triphenyltetrazolium chloride for determining seed coat permeability as an index of wheat seed vigour. Biuletyn Intytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roslin. No.156:49-56. Poland
- Venter, H.A. Van de and N. Grobbelaar. 1985. Influence of sub-optimal imbibition temperatures on seed vigour and respiration in maize (*Zea mays* L.). South African Journal of Plant and Soil. 2(4):203-206. South African.
- Woodstock, L.W. 1976. Progress report on the seed vigor testing handbook. Newsletter of the Assoc. of Offic. Seed Anal. 50:1-78. U.S.A.
- Ybema, S.G. and G Barla S. 1992. A study of single and multiple stress seed vigour tests for wheat. XXIII ISTA Congress Symposium Abstracts. Bs.As. Argentina.

A P E N D I C E

Cuadro A.1. Contenido de humedad y peso volumétrico de lotes de semilla de trigo cv. Papago 86 evaluados en las diferentes pruebas de vigor.

Lotes	C.H.(%)	P.V.(Kg/Hl)
1986	11.6	80.25
1987	12.0	81.95
1988	11.7	81.60
1989	11.4	80.60
1990	11.2	81.20

Cuadro A.2. Registro de precipitación y evaporación mensual (mm) por años del lugar de producción de los lotes de semilla de trigo (Estación Experimental del CECH-CIANO) Hermosillo, Sonora.

Años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	NOV	DIC
1985						12.0	1.0
	Prec.					143.3	6.0
	Evap.			0.0	1.0	0.0	20.0
1986	Prec.	0.0	26.0	0.0	0.0	303.6	139.0
	Evap.	115.6	127.1	188.8	241.0	0.0	0.0
	Prec.	0.0	19.5	0.0	13.0	0.0	15.5
1987	Prec.	0.0	0.0	0.0	234.7	262.2	133.7
	Evap.	122.6	138.7	182.0	204.2	0.0	0.0
	Prec.	1.0	0.0	9.5	2.0	0.0	51.0
1988	Prec.	1.0	0.0	9.5	2.0	0.0	0.0
	Evap.	119.2	145.4	204.2	218.8	304.5	137.2
	Prec.	26.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0
1989	Prec.	26.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0
	Evap.	92.6	120.2	186.0	276.2	325.9	153.8
	Prec.	12.7	12.2	0.0	0.0	0.0	127.7
1990	Prec.	12.7	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	Evap.	125.5	138.8	220.3	261.4	303.0	

Fuente: Observatorio Meteorológico EE. CECH-CIANO

Cuadro A.3. Registro de temperaturas máximas y mínimas mensuales en °C por años del lugar de producción de los lotes de trigo (Estación Experimental del CECH-CIANO) Hermosillo, Sonora.

AÑOS		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	NOV	DIC
1985	Máx.						28.1	26.3
	Mín.						11.0	6.0
1986	Máx.	27.9	28.4	31.2	33.0	25.5	30.3	24.5
	Mín.	8.0	8.1	10.8	14.0	16.0	11.0	5.0
1897	Máx.	26.7	24.7	27.4	32.6	32.5	29.6	24.3
	Mín.	7.4	7.3	7.8	12.6	15.2	9.0	4.8
1988	Máx.	25.1	28.5	27.4	31.1	34.8	30.0	25.0
	Mín.	6.2	8.8	8.2	13.7	13.6	9.5	6.3
1989	Máx.	22.4	26.4	29.9	35.4	36.0	29.6	25.0
	Mín.	4.8	7.9	10.5	12.6	15.0	10.9	6.2
1990	Máx.	24.7	23.5	28.1	30.9	34.6		
	Mín.	4.9	5.8	8.6	11.9	15.3		

Fuente: EE. CECH CIANO

Cuadro A.4. Comparación de medias de vigor de lotes de semilla de trigo detectados por Envejecimiento acelerado, Deterioro controlado, Topográfica al tetrazolio y nueve pruebas de vigor en relación a Emergencia en campo.

Lotes	E A **		D C **		TTZ **		10 Pruebas **	
1986	84	BC	88	AB	83	AB	85	AB
1987	80	C	86	B	78	B	82	B
1988	90	A	89	AB	84	A	88	A
1989	88	AB	91	A	82	AB	86	A
1990	86	BC	89	AB	82	AB	86	A

Cuadro A.5. Registro meteorológico diario de la precipitación y evaporación en mm; temperaturas máxima y mínima en °C durante la evaluación de emergencia en campo de lotes de semilla de trigo, en Buenavista, Saltillo, Coah.

1992	Precip.	Evap.	T. Máx.	T. Mín.
FEB. 20	0.0	2.0	17.3	5.5
21	0.0	2.7	20.5	7.0
22	0.0	5.6	21.6	10.6
23	0.0	6.3	24.5	8.7
24	0.0	5.2	19.5	10.0
25	0.0	2.0	11.7	4.0
26	0.0	1.7	9.6	0.5
27	1.0	2.7	12.0	0.0
28	0.0	3.1	16.5	2.4
29	0.0	4.1	19.3	3.6
MAR. 1	0.0	7.6	24.5	7.0
2	2.2	4.7	24.0	12.4
3	1.2	5.8	23.9	9.0
4	0.0	8.6	24.0	11.2
5	0.0	6.8	23.6	9.3
6	0.0	6.4	24.3	6.5
7	0.0	6.4	28.5	9.8
8	0.0	7.0	26.7	13.2
9	0.0	2.2	26.7	16.0
10	0.0	9.6	12.2	6.8
11	0.0	1.5	9.5	2.0
12	1.0	1.4	13.0	1.0
13	0.0	5.0	17.2	3.5
14	0.0	5.2	19.8	13.2
15	0.0	5.5	24.4	5.2

Fuente: Observatorio Meteorológico Comisión Nacional del Agua
SARH-Buenavista.

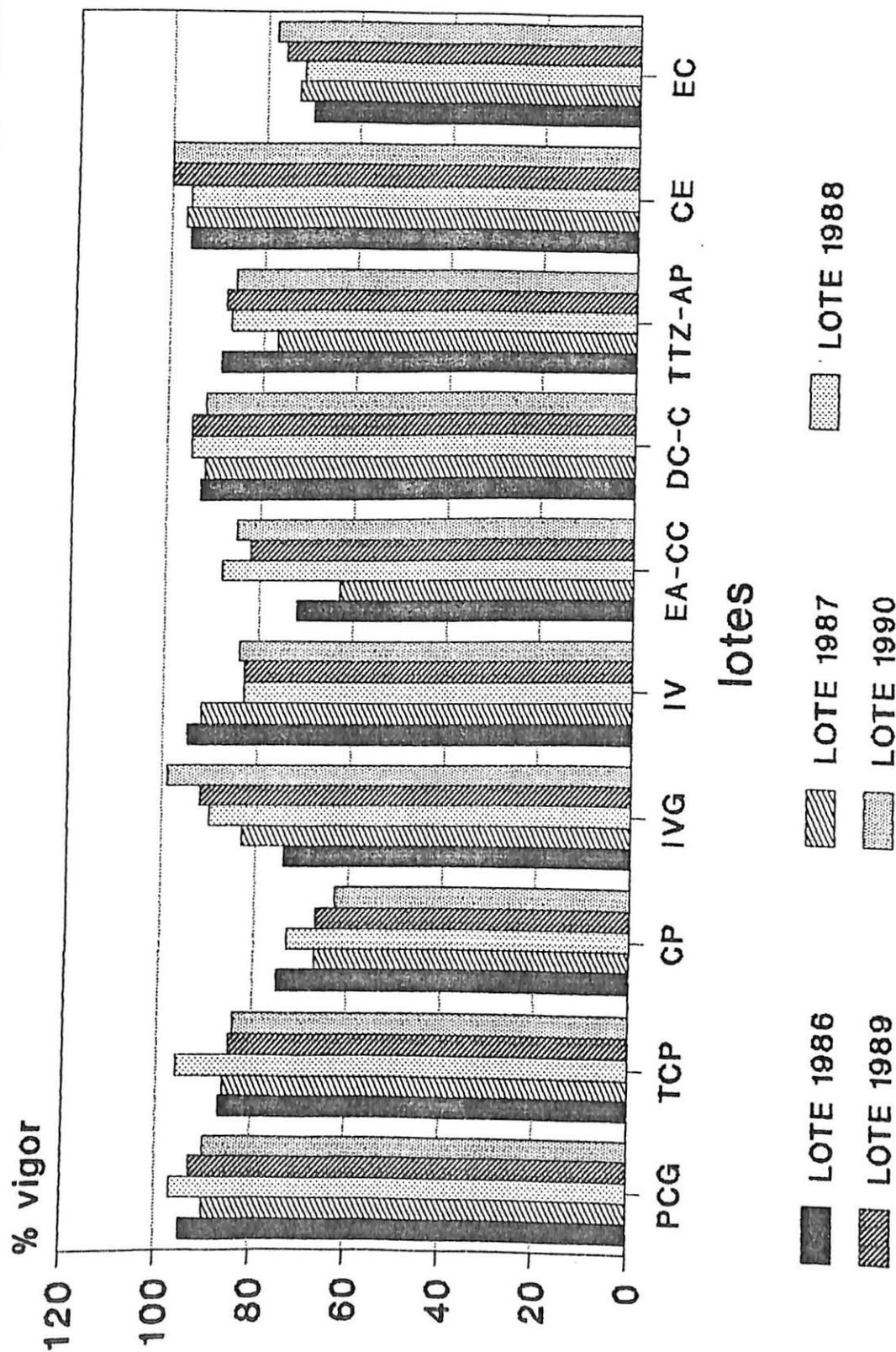


Figura A.1. Porcentajes de vigor en lotes de semilla de trigo, detectados por nueve pruebas de laboratorio comparadas con emergencia en campo.