

HÍBRIDOS Y PROGENITORES DE SORGO TOLERANTES AL FRÍO. I: CALIDAD DE LA SEMILLA Y SU INFLUENCIA EN EL ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS

COLD TOLERANT SORGHUM HYBRIDS AND PARENTAL LINES. I: SEED QUALITY AND ITS EFFECTS ON SEEDLING ESTABLISHMENT

Ma. Eugenia Cisneros-López¹, Leopoldo E. Mendoza-Onofre¹, Gustavo Mora-Aguilera²,
Leobigildo Córdoba-Téllez¹ y Manuel Livera-Muñoz³

¹Producción de Semillas. ²Fitopatología. ³Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (ecisneros@colpos.mx)

RESUMEN

En parcelas de demostración establecidas en los Valles Altos Centrales de México, la emergencia de las plántulas de un primer grupo de sorgos híbridos tolerantes al frío fue lenta, lo que se atribuyó a las bajas temperaturas al inicio de la estación de crecimiento y al reducido peso de la semilla. En este estudio se evaluó la asociación entre algunas características de calidad de la semilla de nuevas líneas e híbridos experimentales de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) con las relacionadas con el establecimiento de las plántulas en campo, en 32 genotipos, agrupados en híbridos y sus progenitores: líneas A, B y R; y la variedad VA-110. En el laboratorio, la calidad de la semilla se evaluó con base en características fisiológicas (germinación y vigor de plántulas normales y anormales, entre otras); físicas (como peso de 100 semillas y peso volumétrico) y sanitarias (porcentaje de plántulas enfermas). En el campo, se consideró los días al inicio y al final de la emergencia, altura de plántula, velocidad de emergencia y porcentaje final de plántulas emergidas. En el laboratorio se estableció un diseño experimental completamente al azar y en campo se empleó un diseño de bloques completos al azar; en ambos casos se utilizaron tres repeticiones y los métodos propuestos por la ISTA para ensayos de semillas. El grupo de nuevos híbridos de sorgo presentó mayor peso de 100 semillas que el promedio de los grupos de progenitores, pero esa variable no mostró relación directa con mejores características de calidad de las líneas progenitoras. El menor peso de la semilla tampoco estuvo asociado con pobres atributos de germinación de la semilla, ni de emergencia de las plántulas en el campo. La mayoría de las variables medidas en las pruebas de laboratorio no correlacionaron linealmente con las variables de emergencia en campo. La temperatura del suelo no afectó la germinación de la semilla y emergencia de la plántula en campo en este estudio.

Palabras clave: *Fusarium verticillioides*, *Sorghum bicolor*, germinación, vigor de semilla.

Recibido: Diciembre, 2005. Aprobado: Octubre, 2006.
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 45-55. 2007.

ABSTRACT

In demonstration plots established in the Central High Valleys of México, slow emergence of seedlings in a first group of cold tolerant sorghum hybrids attributed to low temperatures at the beginning of the growing season and low seed weight, was observed. In this study, the relationship between some seed quality traits of new lines and experimental sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) hybrids and those related to seedling establishment in the field, was evaluated. Thirty-two genotypes, grouped in hybrids and their parental lines A, B and R; and the variety VA-110 were included. In the laboratory, seed quality was evaluated in terms of physiological characteristics (germination and normal and abnormal seedling vigor, among others), physical attributes (such as weight of 100 seeds and volumetric weight), and sanitary tests (percentage of diseased seedlings). In the field, data was recorded for days to initial and end of seedling emergence, seedling height, emergence rate, and final percentage of emerged seedlings. In the laboratory, a completely randomized experimental design was set up, and, in the field, a complete randomized block design was used with three replications in each case. ISTA methods were applied for the seed trials. The group of new hybrids had higher 100-seed weight than the mean of the groups of parental lines, but this variable was not associated with better seed quality traits of the parental lines. Lower seed weight was not associated with poor germination characteristics or with seedling emergence in the field. Most of the variables measured in the laboratory tests did not show linear correlation with seedling establishment variables measured in the field. In this study, soil temperature did not affect seed germination or seedling emergence in the field.

Key words: *Fusarium verticillioides*, *Sorghum bicolor*, germination, seed vigor.

INTRODUCTION

Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) is a tropical species of relevance in the agricultural sector of México (SIAP, 2003), due to its

INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es una especie de origen tropical relevante en el sector agropecuario de México (SIAP, 2003) debido a su tolerancia a la sequía, su alto grado de tecnificación y el uso casi total (98%) de semilla híbrida. Al igual que para otras especies, la semilla de alta calidad es uno de los insumos más importantes para asegurar un buen establecimiento de plántulas en campo y su consecuente rendimiento. La emergencia y establecimiento están influenciados por la temperatura y humedad del suelo (Helms *et al.*, 1997) y por la calidad fisiológica, sanitaria y genética de la semilla (Finch-Savage, 1995).

La semilla de sorgo puede germinar entre 4.5 y 16.5 °C, según su origen genético y la disponibilidad de humedad, entre otros factores (Stickler *et al.*, 1962; Payne *et al.*, 2003); no obstante, la temperatura óptima para la germinación varía entre 26.5 y 37.7 °C (Brar y Stewart, 1994). Los resultados de estudios de campo acerca de la relación entre el tamaño y peso de la semilla de sorgo con la emergencia de la plántula han sido contradictorios. Así, Igartua *et al.* (1994) no encontraron correlación, mientras que Maranville y Clegg (1977) y Mortlock y Vanderlip (1989) indican que el tamaño de la semilla influye en la germinación y vigor de la plántula de algunos genotipos. Otro factor de controversia es la frecuente ausencia de correlación entre los resultados de germinación y vigor obtenidos en laboratorio con aquéllos en campo, especialmente en siembras de secano (Wanjari *et al.*, 1992), aunque Wu y Cheng (1990) encontraron una correlación significativa entre el crecimiento de la plúmula durante las pruebas de vigor y el rendimiento de grano de sorgo en campo. Tekrony y Egli (1991) afirman que la viabilidad y el vigor de la semilla influyen en el rendimiento de especies cosechadas en etapas vegetativas o en las primeras etapas de las fases reproductivas, pero en los cereales cuyo grano se cosecha una vez alcanzada su madurez fisiológica, el rendimiento no tiene relación con el vigor inicial de la semilla, siempre y cuando la densidad de siembra sea la misma. Según Moreira y Nakagawa (1988), la disminución de vigor afecta la capacidad de germinación de una semilla en dos formas: reduce la velocidad de germinación y aumenta el porcentaje de plántulas anormales.

La condición sanitaria puede modificar la actividad y composición bioquímica de la semilla y, por tanto, el establecimiento de las plántulas en el campo. La semilla de sorgo llega a ser infectada hasta por 40 géneros de hongos, que incluyen a los que inciden desde la floración hasta los desarrollados después de la madurez fisiológica de la semilla (Williams y Rao,

drought tolerance, the high degree of technology used, and the high percentage (98%) of hybrid seed sown. Like other species, high quality seed is one of the most important inputs in insuring good seedling establishment in the field and, consequently, high yield. Emergence and establishment are affected by temperature and soil moisture (Helms *et al.*, 1997) and by physiological, sanitary, and genetic quality of the seed (Finch-Savage, 1995).

Sorghum seed can germinate between 4.5 and 16.5 °C, depending on its genetic origin and the availability of moisture, among other factors (Stickler *et al.*, 1962; Payne *et al.*, 2003), although optimum temperature for germination varies between 26.5 and 37.3 °C (Brar and Stewart, 1994). The results of field studies on the relationship between sorghum seed size and weight and seedling emergence have been contradictory. Thus, Igartua *et al.* (1994) did not find a correlation, while Maranville and Clegg (1977) and Mortlock and Vanderlip (1989) indicate that seed size affects germination and seedling vigor of some genotypes. Another controversial factor is the frequent absence of correlation between the results of germination and vigor obtained in the laboratory and those obtained in the field, especially in dry-land farming (Wanjari *et al.*, 1992), although Wu and Cheng (1990) found a significant correlation between plumule growth during vigor tests and sorghum yield in the field. Tekrony and Egli (1991) assert that seed viability and vigor have an influence on yield of species harvested in vegetative stages or in the first stages of the reproductive phases, but in cereals whose grain is harvested once physiological maturity is reached, yield has no relationship with the initial vigor of the seed, as long as sowing density remains the same. According to Moreira and Nakagawa (1988), a decrease in vigor affects the germinating capacity of a seed in two ways: slowing germination and increasing the percentage of abnormal seedlings.

Sanitary conditions can modify biochemical activity and composition of the seed and, therefore, establishment of seedlings in the field. Sorghum seed can be infected by 40 genera of fungi, which include those that attack from flowering up to those developed after physiological seed maturity (Williams and Rao, 1981; Compton, 1990). Among the pathogenic genera that affect the seed or seedling are *Fusarium*, *Aspergillus*, *Rhizoctonia*, *Phoma* and *Phytium* are outstanding (Federiksen and Odvody, 2000). In Montecillo, State of México, Galeano (1993)^[4] found 24 genera of field fungi associated with sanitary quality of sorghum seed.

The Sorghum Genetic Improvement Program at the Colegio de Postgraduados (PMGS-CP) produced

1981; Compton, 1990). Entre los géneros de patógenos que afectan a la semilla o a la plántula destacan *Fusarium*, *Aspergillus*, *Rhizoctonia*, *Phoma* y *Phytium* (Frederiksen y Odvody, 2000). En Montecillo, Estado de México, Galeano (1993)⁴ encontró 24 géneros de hongos de campo asociados con la calidad sanitaria de semillas de sorgo.

El Programa de Mejoramiento Genético de Sorgo del Colegio de Postgraduados (PMGS-CP) produjo un primer grupo de híbridos caracterizados por producir polen fértil en los Valles Altos Centrales de México, que abarcan regiones a 2200 m de altitud, con temperaturas mínimas cercanas a 10 °C durante la estación de crecimiento. A estos genotipos se les denominó sorgos híbridos experimentales tolerantes al frío (SHETF) (Osuna-Ortega *et al.*, 2000, 2003). Sin embargo, durante la validación se observó que en las primeras semanas después de la emergencia, esas plántulas de híbridos crecían lentamente, comparado con maíz (*Zea mays* L.), supuestamente debido a las bajas temperaturas al inicio del ciclo del cultivo y el reducido tamaño o peso de la semilla de los híbridos. Los primeros SHETF también presentaron una alta susceptibilidad a *Fusarium* sp. (Hernández *et al.*, 1987; Mendoza-Onofre *et al.*, 1998). En consecuencia, fue necesario incorporar un mayor tamaño de semilla y tolerancia a esta enfermedad, a las líneas progenitoras de esos SHETF. Mendoza-Onofre *et al.* (1998) describen el origen de las fuentes genéticas de ambas características, así como los avances genotécnicos iniciales de su incorporación a las líneas tolerantes al frío.

Con el objetivo general de evaluar un nuevo grupo de líneas e híbridos de sorgo tolerantes al frío, a los que se había incorporado un mayor tamaño de semilla y tolerancia a *F. verticillioides*, se estableció una serie de experimentos en Montecillo, Estado de México. El propósito particular del presente estudio fue determinar la relación entre las características de calidad de la semilla con variables relacionadas con el establecimiento y crecimiento de plántula en campo de este nuevo grupo de genotipos. La hipótesis fue que las semillas de los híbridos y las de mayor peso tendrán un mejor establecimiento de plántulas en el campo que la semilla de sus progenitores y aquéllas de menor peso.

MATERIALES Y MÉTODOS

De los 32 genotipos evaluados, 15 eran híbridos, 16 eran sus progenitores (seis pares de líneas A y B, y cuatro líneas R) y la variedad VA-110 de polinización libre, todos tolerantes al frío

a first group of hybrids with fertile pollen in the Central High Valleys of México, which include areas at 2200 m above sea level with minimum temperatures close to 10 °C during the growing season. These genotypes were denominated experimental cold tolerant sorghum hybrids (SHETF) (Osuna-Ortega *et al.*, 2000, 2003). However, during validation, it was observed that in the first weeks after emergence these hybrid seedlings grew slowly, compared with maize (*Zea mays* L.), presumably because of low temperatures at the beginning of the crop cycle and the reduced size, or weight, of the hybrid seed. The first SHETF were also highly susceptible to *Fusarium* sp. (Hernández *et al.*, 1987; Mendoza-Onofre *et al.*, 1998). Consequently, it was necessary to incorporate larger seed and disease tolerance into the parental lines of those SHETF. Mendoza-Onofre *et al.* (1998) describe the origin of the genetic sources of both traits as well as the initial breeding results of its incorporation in cold tolerant lines.

With the general objective of evaluating a new group of cold tolerant sorghum lines and hybrids, to which larger seed size and tolerance to *F. verticillioides* had been incorporated, a series of experiments were set up in Montecillo, State of México. The specific aim of this study was to determine the relationship between seed quality characteristics and variables related to seedling establishment and growth in the field of this new group of genotypes. The hypothesis was that the hybrid seed and that of greater weight would have better seedling establishment in the field than their parental seed and those of lesser weight.

MATERIALS AND METHODS

Of the 32 genotypes evaluated, 15 were hybrids, 16 were their parents (six pairs of A and B lines and four R lines) and the open-pollinated variety VA-110; all were cold tolerant (Table 1). Even though in this type of study it is recommended to use seed of the same origin (year and plot), internal programming of seed increment in the PMGS-CP allowed the use of origins with only one year of difference in age (1995 for hybrids and 1996 for parents and VA-110).

The experiment was done in two phases.

Laboratory phase

This phase was conducted in the Seed Laboratory of the CP located in Montecillo, State of México, during May 2003. In order to avoid confusing effects due to seed size during germination and establishment in the field, the seed of the 32 genotypes were uniformed with a Number 14 screen (8/64 inch) with round

⁴ Galeano A., J. R. 1993. Relación entre la fecha de cosecha, calidad fisiológica, sanitaria y longevidad en la semilla de sorgo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp: 12-16.

(Cuadro 1). Si bien en este tipo de estudios se recomienda utilizar semilla del mismo origen (año y lote), la programación interna de incremento de semilla en el PMGS-CP permitió utilizar orígenes con sólo un año de diferencia de edad (1995 para los híbridos y 1996 para los progenitores y VA-110).

El experimento consistió de dos fases.

Fase de laboratorio

Esta fase se efectuó en el Laboratorio de Semillas del CP, ubicado en Montecillo, Estado de México, durante mayo de 2003. Con objeto de evitar efectos confundidos debidos a las diferencias en tamaño de semilla y su posible efecto durante la fase de germinación y establecimiento en campo, la semilla de los 32 genotipos se homogeneizó con una criba Núm. 14 (8/64 de pulgada) de perforación redonda. La calidad física, fisiológica y sanitaria se determinó en una muestra de 120 g de la semilla retenida sobre la criba.

Calidad física

Se evaluó mediante el peso (g) de 100 semillas (PS), peso volumétrico (PV) o densidad específica, en kg hL⁻¹, medido con la técnica de la probeta, recomendada cuando se dispone de muestras menores a 1 kg (ISTA, 1999).

Calidad fisiológica

Se aplicó la prueba de germinación estándar, con papel (toallas sanitas) estéril como sustrato y una cámara germinadora (Seedburo Modelo 1000A) calibrada a 25 °C, con tres repeticiones de 50 semillas cada una. Al cuarto día se contó el número de plántulas normales y se reporta en porcentaje como una prueba de vigor (V) ya que es una variable relacionada con la velocidad de crecimiento. Al séptimo día se determinaron los porcentajes de germinación de plántulas normales (PGPN), anormales (PGPA) y semillas muertas

perforations. Physical, physiological and sanitary quality was determined in a sample of 120 g of seed remaining on the screen.

Physical quality

Physical quality was assessed using the 100 seeds weight (g) (PS), volumetric weight (PV) or specific density, in kg hL⁻¹, measured with the graduated test tube technique, recommended for samples of less than 1 kg (ISTA, 1999).

Physiological quality

A standard germination test was applied with sterile paper (Sanitas™ towels) as the substrate in a germinating chamber (Seedburo Model 1000A) calibrated to 25 °C, with three replications of 50 seeds each. On the fourth day, the number of normal seedlings was counted and reported in percentage as a test of vigor (V) since it is a variable related to growth rate. On the seventh day, percentages of germination of normal seedlings (PGPN), abnormal seedlings (PGPA), and dead seeds (PSM) were determined. The definition of each term and the procedures for conducting the tests are found in ISTA (1999).

Sanitary quality

Sanitary quality was quantified on the basis of the percentage of seedlings that exhibited some disease symptom (PPE) in the standard germination test, such as necrosis or strangulation in the radicle or plumule. To identify the fungi associated with this damage, cross sections approximately 0.5 cm in length were cut from damaged plumule or radicle tissue. These were disinfected for 5 min a solution of commercial sodium hypochlorite diluted 10 times. Immediately, 10 segments were placed in duplicate in Petri dishes in a 40% PDA (potato-dextrose-agar) culture medium and incubated at 25 °C (Nelson *et al.*, 1983). Identification of the

Cuadro 1. Relación de híbridos, progenitores y variedad de sorgo tolerantes al frío.

Table 1. Cold tolerant sorghum hybrids, parents and variety used in the study.

Tipo	Número de orden	Genotipo	Tipo	Número de orden	Genotipo
Híbridos	1	A1×R17	Líneas androestériles (A)	16	A1
	2	A1×R19		17	A2
	3	A2×R14		18	A3
	4	A2×R19		19	A5
	5	A2×R22		20	A6
	6	A3×R14		21	A9
	7	A3×R22	Líneas mantenedoras (B)	22	B1
	8	A5×R17		23	B2
	9	A5×R19		24	B3
	10	A5×R22		25	B5
	11	A6×R19		26	B6
	12	A6×R22	27	B9	
	13	A9×R17	Líneas restauradoras (R)	28	R14
	14	A9×R19		29	R17
	15	A9×R22		30	R19
31				R22	
		Variedad	32	VA-110	

(PSM). La definición de cada término y la forma de conducir las pruebas se encuentran en ISTA (1999).

Calidad sanitaria

Se cuantificó con base en el porcentaje de plántulas que presentaron algún síntoma de enfermedad (PPE) en la prueba de germinación estándar, como necrosis o estrangulamientos en radícula o plúmula. Para identificar los hongos asociados con estos daños, se seccionaron segmentos de plúmula o radícula de 0.5 cm de longitud de los tejidos dañados, los que se desinfectaron, por 5 min, en una solución de hipoclorito de sodio comercial diluida 10 veces. Enseguida, se colocaron por duplicado 10 segmentos, en cajas Petri, en medio PDA (papa-dextrosa-agar) al 40%, y se incubaron a 25 °C (Nelson *et al.*, 1983). La identificación del agente asociado respectivo se basó en las claves de Warham *et al.* (1996).

El diseño experimental utilizado en todas las pruebas de esta fase fue completamente al azar con tres repeticiones y grupos de genotipos como tratamientos.

Fase de campo

En Montecillo, Estado de México se estableció un experimento con riego. La siembra fue manual y se efectuó el 9 de mayo de 2003, a una profundidad promedio de 3 cm, con 5 g de la semilla cribada, por surco, en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Con base en la información del número de semillas por gramo, se calculó el número total de semillas sembradas por surco.

La unidad experimental tuvo 2 surcos de 5.0 m de longitud y 0.92 m de separación. Durante los 23 d de esta fase se aplicaron tres riegos y se registró diariamente la temperatura del suelo en cuatro puntos del lote experimental, a dos profundidades (5 y 20 cm) con un termómetro Soiltest Mod G-201, a las 09:00 y 14:00 h.

Ante la ausencia de normas de la ISTA para evaluar plántulas en campo, se decidió adaptar algunas metodologías de laboratorio y considerar las siguientes variables: 1) días al inicio de la emergencia (DIE), días después de la siembra (dds) en que se estableció el 25% de la población final de plántulas; 2) días al final de la emergencia (DFE), cuando ya no hubo plántulas emergidas durante tres días sucesivos; 3) porcentaje final de emergencia (PFE), proporción del número final de plántulas emergidas respecto al total de semillas sembradas, según Igartua *et al.* (1994); 4) altura de plántula (AP) en cm, 15 dds (CIAT, 1983); 5) velocidad de emergencia (VE), con base en la expresión $VE = \sum_i^n (X_i / N_i)$, según Maguire (1962), donde X_i = número de plántulas emergidas en el día i , y N_i = número de días después de la siembra incluyendo el día i .

Con los datos de las fases de laboratorio y campo se realizaron los análisis estadísticos. Para las variables expresadas en porcentaje (Y_i) primero se efectuó una transformación angular $[\arcseno (Y_i)^{1/2}]$. Después se aplicó un análisis de varianza (ANAVA) con los cinco grupos (híbridos, líneas A, líneas B, líneas R y VA-110) como fuentes de variación. Como cada grupo está representado por diferente número de observaciones, se usó el

respectivo associated agent was based on the keys of Warham *et al.* (1996).

A completely randomized experimental design with three replications was used in all the tests of this phase, using groups of genotypes as treatments.

Field phase

In Montecillo, State of México, an experiment was set up under irrigation. Sowing was manual on May 9, 2003, at an average depth of 3 cm with 5 g of the screened seed per row, in a completely randomized blocks design with three replications. Based on the information on number of seeds per gram, the total number of seeds sown per row was calculated.

The experimental unit was 2 rows 5.0 m long and 0.92 m apart. During the 23 d of this phase, the rows were irrigated three times and soil temperature at four points of the experimental plot was recorded daily at two depths (5 and 20 cm) with a Soiltest Mod G-201 thermometer, at 09:00 and 14:00 h.

Because no ISTA norms exist for evaluating seedlings in the field, it was decided to adapt some laboratory methods and consider the following variables: 1) days to initial emergence (DIE), days after sowing (dds) in which 25% of the final seedling population was established; 2) days to end of emergence (DFE), when no seedlings emerged for three successive days; 3) final percentage of emergence (PFE), final number of seedlings emerged as a proportion of the total number of seeds sown, following Igartua *et al.* (1994); 4) seedling height (AP) in cm, 15 dds (CIAT, 1983); 5) emergence rate (VE), based on the expression $VE = \sum_i^n (X_i / N_i)$, following Maguire (1962), where X_i = number of emerged seedlings on day i , and N_i = number of days after sowing including day i .

With the data from the laboratory and field phases, statistical analyses were performed. For the variables expressed in percentage (Y_i) an angular transformation was first performed $[\arcsine (Y_i)^{1/2}]$. An analysis of variance was then applied with the five groups (hybrids, A lines, B lines, R lines and VA-110) as sources of variation. As each group is represented by a different number of observations, the software PROC GLM (SAS, 1998) was used. To compare means among groups, the DMS test ($p \leq 0.05$) was used and the results are presented in the initial units. Hybrid vigor was evaluated on the basis of values of heterosis (superiority of the hybrid over the average of its parents, in this case R and B lines) and of heterobeltiosis (superiority of the hybrid over the best parental line). Data from B lines, instead of the A lines, were used because of the biases in the seed size obtained from manual pollination, which was used to produce seed from the male-sterile lines in 1996. To calculate the significance of heterosis, values of each hybrid were paired with those of the mean of its two parents. With the 15 pairs of values, a "t" test of the difference between the two populations with paired data (SAS, 1998) was conducted. In the case of heterobeltiosis, the best parent was that which exhibited qualities or advantages; *i.e.*, high values for PS, PPGN, and VE, or low values for PGPA, DIE, and

programa PROC GLM (SAS, 1998). Para comparar medias entre los grupos se usó la prueba DMS ($p \leq 0.05$) y los resultados se presentan en las unidades iniciales. El vigor híbrido se evaluó con base en los valores de heterosis (superioridad del híbrido respecto al promedio de sus progenitores, en este caso las líneas R y las líneas B) y de heterobeltiosis (superioridad del híbrido respecto al mejor progenitor). Se emplearon datos de las líneas B, y no de las líneas A, por los sesgos en el tamaño de semilla originados por la polinización manual aplicada al aumentar la semilla de las líneas androestériles en el año de origen (1996). Para calcular la significancia de la heterosis se aparearon los valores de cada híbrido con los de la media de sus dos progenitores y con los 15 pares de valores se hizo una prueba de "t" de la diferencia entre las dos poblaciones con datos apareados (SAS, 1998). En el caso de la heterobeltiosis, el mejor progenitor fue aquél que reflejara cualidades o ventajas: *i. e.*, mayores valores de PS, PPGN y VE, o menores valores de PGPA, DIE y DFE. También se aplicó un análisis de correlación lineal (coeficiente Pearson) entre todas las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto al efecto de los grupos de genotipos en las variables medidas en el laboratorio o en el campo, en todas hubo diferencias significativas (Cuadro 2), excepto en peso volumétrico (PV), porcentaje de plántulas enfermas (PPE) y altura de plántula (AP). En el caso del peso volumétrico la ausencia de significancia probablemente se debió al cribado inicial de la semilla, cuya razón se explicó en Materiales y Métodos. Para la calidad sanitaria, es posible que el fungicida (Tiram®) cuyo uso es necesario en cualquier programa genotécnico para mantener la semilla libre de algunos patógenos en el almacén o durante la siembra, haya influido para no detectar diferencias significativas en esta variable. Finalmente, la ausencia de significancia para altura de la plántula indica que la profundidad promedio (3 cm) de siembra de la semilla en el campo, no limitó el crecimiento inicial de las mismas, o que su efecto fue similar para todos los genotipos.

Al comparar las medias de los cinco grupos de genotipos (Cuadro 3) se observan valores no diferentes ($p > 0.05$) entre el promedio del grupo de híbridos (H) y el promedio del de líneas restauradoras (R) en todas las variables, con excepción del porcentaje final de la emergencia (PFE fue mayor para el grupo de líneas R) y los días al final de la emergencia (el grupo de híbridos presentó mayor rapidez en llegar a esa etapa que el de restauradores). En cambio, el grupo de híbridos presentó mayor frecuencia de diferencias significativas con el de líneas mantenedoras B (contrapartes fértiles de las líneas A). En un caso (PFE) el grupo de líneas B mostró mejores atributos que el de híbridos. Esto significa: a) que las características de

DFE. A linear correlation (Pearson coefficient) analysis was also used between all possible pairs of variables.

RESULTS AND DISCUSSION

Regarding the effect of all of the groups of genotypes, there were significant differences in all of the variables measured in the laboratory or in the field (Table 2), except in volumetric weight (PV) percentage of diseased seedlings (PPE) and seedling height (AP). In the case of volumetric weight, the absence of significance was probably due to the initial screening of the seed, as explained in Materials and Methods. For sanitary quality, it is possible that the fungicide (Tiram®), whose use is necessary in any genetic breeding program to keep the seed free of pathogens in storage or during sowing, had some influence in the lack of significant differences in this variable. Finally, the absence of significance for seedling height indicates that the average sowing depth (3 cm) in the field did not limit initial growth of the seeds or that its effect was similar for all of the genotypes.

In the comparison of means of the five groups of genotypes (Table 3), it can be observed that the values are not different ($p > 0.05$) between the average of the hybrids (H) group and the average of the group of restorer (R) lines in all of the variables, except for

Cuadro 2. Significancia de la fuente de variación debida a grupos de genotipos, para las variables de laboratorio y de campo.

Table 2. Significance of source of variation due to genotype group for laboratory and field variables.

Variable	Valor de F para grupos de genotipos
————— Calidad física —————	
Peso volumétrico (PV)	0.60 ns
Peso de 100 semillas (PS)	7.97 **
————— Calidad fisiológica —————	
Porcentaje de germinación de plántulas normales (PGPN)	2.74 *
Porcentaje de germinación de plántulas anormales (PGPA)	13.52 **
Porcentaje de semillas muertas (PSM)	3.63 *
Vigor (V)	2.80 *
————— Calidad sanitaria —————	
Porcentaje de plántulas enfermas (PPE)	1.64 ns
————— Variables de plántula en campo —————	
Altura de plántula (AP)	0.94 ns
Días al 25 % de la emergencia (DIE)	2.52 *
Velocidad de la emergencia (VE)	4.59 *
Porcentaje final de la emergencia (PFE)	3.83 *
Días al final de la emergencia (DFE)	2.59 *

** , * : $p \leq 0.01$ y ≤ 0.05 ; ns: no significativo.

Cuadro 3. Promedio de las variables de calidad de semilla y de plántula entre los grupos de genotipos de sorgo.
Table 3. Averages for seed and seedling quality variables among the groups of sorghum genotypes.

GG	Características de la semilla							Características de plántula				
	PV (kg hL ⁻¹)	PS (g)	PGPN (%)	PGPA (%)	PSM (%)	V (%)	PPE (%)	AP (cm)	DIE (d)	VE (Nd ⁻¹)	PFE (%)	DFE (d)
A	80.0 a	1.657 a	61 b	16 a	23 b	39.4 b	21.9 a	9.0 a	12.5 a	1.5 c	8.4 d	14.9 b
B	78.7 a	1.341 b	70 b	13 a	17 b	48.6 b	17.6 a	8.4 a	13.0 a	1.7 c	16.4 b	17.4 a
H	79.9 a	1.819 a	62 b	7 b	31 a	40.4 b	17.1 a	8.5 a	10.8 b	2.2 b	11.3 c	15.5 b
R	77.1 a	1.635 a	67 b	7 b	26 a	47.0 b	13.7 a	9.0 a	11.8 b	2.4 b	16.3 b	18.0 a
VA-110	70.2 a	1.226 c	89 a	4 c	7 c	76.0 a	29.3 a	9.4 a	8.0 c	4.2 a	23.7 a	13.0 b

GG: grupos de genotipos; A: líneas androestériles; B: líneas mantenedoras; H: híbridos; R: líneas restauradoras; PV: peso volumétrico; PS: peso de 100 semillas; PGPN: porcentaje de germinación con base en plántulas normales; PGPA: porcentaje de germinación con base en plántulas anormales; PSM: porcentaje de semillas muertas; V: vigor; PPE: porcentaje de plántulas enfermas; AP: altura de plántula; DIE: días al 25% de la emergencia; VE: velocidad de emergencia; PFE: porcentaje final de la emergencia y DFE: días al final de la emergencia. Valores con letra diferente en una columna son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

calidad de semilla de este nuevo grupo de SHTF son más semejantes a las de sus progenitores masculinos que a las de sus progenitores femeninos; b) que habrá una baja frecuencia de valores significativos de heterosis y de heterobeltiosis.

En relación con el primer caso, la importancia de los efectos maternos en la germinación y emergencia en condiciones de bajas temperaturas es bien conocida (Soujeole y Miller, 1984); pero Yu y Tuinstra (2001), en siembras tempranas efectuadas en Kansas, EE.UU., con temperaturas del suelo entre 10.0 y 17.1 °C, encontraron que la mayoría de las diferencias mostradas por los híbridos durante la emergencia de plántulas se debían más a efectos paternos que a maternos. No se conocen resultados de investigaciones en sorgo realizadas en México, en las que se comparen características de calidad de semillas entre híbridos y sus progenitores.

Respecto al segundo caso, en el Cuadro 4 se presentan los promedios de los 15 híbridos, de sus progenitores y del mejor progenitor, para las variables significativas (Cuadro 2), así como la significancia de las pruebas de *t* para heterosis y heterobeltiosis. Los híbridos sólo presentaron heterosis significativa favorable en el peso de la semilla, donde superaron a la media de ambos progenitores pues en los otros dos caracteres cuya heterosis también fue significativa, los híbridos mostraron características desventajosas de calidad (mayor porcentaje de semillas muertas y menor porcentaje de plántulas emergidas). Los casos de heterobeltiosis significativa no se debieron a que el híbrido haya superado significativamente al mejor de los progenitores sino al contrario: hubo progenitores que presentaron mayor porcentaje de germinación de plántulas normales, menor porcentaje de semillas muertas, mayor vigor y mayor porcentaje de plántulas emergidas que los híbridos respectivos.

final percentage of emergency (PFE was higher for the group of R lines) and days to end of emergence (the hybrids group was faster in reaching this stage than the restorers group). In contrast, the group of hybrids was, more frequently, significantly different from the group of maintainer B lines (fertile counterparts of A lines). In one case (PFE), the group of B lines exhibited better attributes than the group of hybrids. This means: a) that seed quality characteristics of this new group of SHTF are more similar to those of their male parents than to their female parents; b) that significant values for heterosis and heterobeltiosis will be of low frequency.

Regarding the first case, the importance of maternal effects in germination and emergence under conditions of low temperatures is well known (Soujeole and Miller, 1984); but Yu and Tuinstra (2001) in early sowing in Kansas, USA, with soil temperatures between 10.0 and 17.1 °C, found that most of the differences shown by the hybrids during seedling emergence were due more to paternal than to maternal effects. No results are known in sorghum research conducted in México in which seed quality characteristics of hybrids and their parents are compared.

In the second case, the averages of the 15 hybrids, their parents and the best parent, for the significant variables (Table 2), as well as the significance of the *t* tests for heterosis and heterobeltiosis are shown in Table 4. The hybrids had significant favorable heterosis in seed weight, surpassing the means of both parents; in the other two traits for which heterosis was also significant, the hybrids exhibited disadvantageous quality characteristics (higher percentage of dead seeds and lower percentage of emerged seedlings). The cases of significant heterobeltiosis were not due to the fact that the hybrid had significantly surpassed the best parent; on the contrary, there were parents

Cuadro 4. Valores promedio de características de calidad de semilla de 15 híbridos de sorgo, sus progenitores y significancia de los valores de “t” para heterosis y heterobeltiosis.**Table 4. Average values for seed quality characteristics of 15 sorghum hybrids and their parents; significance of “t” values for heterosis and heterobeltiosis.**

Variable	F ₁	Promedio de progenitores	Mejor padre	Valores de t	
				Heterosis	Heterobeltiosis
Características de semilla					
Peso de 100 semillas (g)	1.82	1.52	1.71	3.4 **	1.2 ns
Porcentaje de germinación de plántulas normales	59	65	77	1.2 ns	4.0 **
Porcentaje de germinación de plántulas anormales	8	11	8	1.7 ns	0.1 ns
Porcentaje de semillas muertas	36	23	13	2.3 *	3.9**
Vigor (%)	41.6	49.4	64.0	1.3 ns	3.9**
Características de plántula en campo					
Días al 25% de la emergencia	10.8	12.3	10.3	2.0 ns	0.7 ns
Días al final de la emergencia	15.5	17.3	14.9	1.9 ns	0.5 ns
Porcentaje de plántulas emergidas	12.4	17.7	23.9	2.8 *	5.0 *
Velocidad de emergencia (Nd ⁻¹)	2.2	1.9	2.3	1.1 ns	0.4 ns

*, **: $p \leq 0.05$ y 0.01 ; ns=no significativo.

La información de los Cuadros 3 y 4 anticipa que el mayor peso de semilla de los híbridos no guarda relación directa con características de calidad de la semilla de sus líneas progenitoras. Si bien habría que considerar que a la fecha del presente estudio el grupo de híbridos tenía ocho años de edad mientras que los grupos de progenitores tenían siete años, se considera que estos resultados no son consecuencia directa de sólo un año de diferencia de almacenamiento de la semilla, pues Cisneros-López *et al.*^[5] encontraron respuestas similares al evaluar la semilla cosechada de estos genotipos, es decir, en semilla de la misma edad.

Como se esperaba, las líneas A y B, por ser isogénicas, no presentaron valores estadísticamente diferentes ($p > 0.05$) para todas las características de semilla, con excepción del peso de ésta (Cuadro 3) donde las diferencias a favor de las líneas A se atribuyen a que la semilla de las líneas androestériles se obtienen de cruzamientos manuales (A×B) donde normalmente no se tiene 100% de éxito, por lo que las semillas que se desarrollan son un poco más grandes y de mayor peso que las producidas en polinización libre.

Especial mención merece el comportamiento de VA-110, porque a pesar de su reducido peso de semilla, presentó el mayor porcentaje de germinación (con base en plántulas normales), vigor, y mejores características de emergencia de plántulas (velocidad, días a inicio y porcentaje final) (Cuadro 3). Este resultado significa que el menor peso de semilla no necesariamente está asociado con pobres atributos

that had higher percentages of germination of normal seedling, lower percentages of dead seeds, greater vigor and higher percentage of emerged seedlings than the respective hybrids.

The information in Tables 3 and 4 anticipates that the highest hybrid seed weight is not directly related to good seed quality characteristics of their parents. Even though it should be considered that at the time of this study the group of hybrids were eight years old, while the groups of parents were seven, it is considered that these results are not a direct consequence of only one year of difference in storage. Cisneros-López *et al.*^[5] found similar responses in the evaluation of harvested seed of these genotypes, that is, seed of the same age.

As expected, lines A and B, because they are isogenic, were not statistically different ($p > 0.05$) for any of the seed characteristics, except seed weight (Table 3) where the differences favoring the A lines are attributed to the fact that seed from male-sterile lines are obtained from manual crosses (A×B) in which success is not often 100%, so that the seed produced is a little larger and heavier than that produced by open pollination.

Special mention of the behavior of VA-110 is deserved, because in spite of its low seed weight, it had a higher percentage of germination (normal seedlings basis), vigor, and better seedling emergence characteristics (speed, days to initial emergence and final percentage) (Table 3). This result suggests that lower seed weight is not necessarily associated with

⁵ Cisneros-López, M. E., L. E. Mendoza-Onofre, G. Mora-Aguilera, L. Córdova-Téllez y M. Livera-Muñoz. Híbridos y progenitores de sorgo tolerante al frío. III. Calidad de la semilla cosechada de plantas inoculadas con *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg. Aprobado para su publicación en Agrociencia.

de germinación de la misma y de la emergencia de plántula; y complementa los resultados presentados por el grupo de híbridos, donde su mayor peso de semilla no estuvo asociado con mejores características de calidad fisiológica.

En las pruebas de sanidad realizadas en las plántulas al final de la germinación en la fase de laboratorio, se aislaron hongos generalmente patogénicos, *Alternaria* sp. (20%), *Fusarium solani* (15%), *Aspergillus niger* (5%), *Fusarium oxysporum* (3%), *Penicillium* spp. (1%); los demás fueron hongos típicamente saprofitos en sorgo (*Epicocum nigrum* y *Cladosporium* sp.). Todos estos géneros se han asociado con la calidad sanitaria en semilla de sorgo obtenida en Valles Altos (Galeano, 1993)^[4]. En ningún genotipo se obtuvo aislamientos de *F. verticillioides* (= *F. moniliforme*) posiblemente debido a que esta especie no es un hongo prevalente en almacén (Moreno y Ramírez, 1991; Moreno, 1993), aunque poco se conoce de su efecto en granos o semillas de sorgo contaminada desde el campo y almacenadas en bodegas, donde generalmente hay baja humedad relativa y baja temperatura (Gilbert *et al.*, 1997). Sin embargo, se ha demostrado la presencia de *F. oxysporum* y de *F. solani* en las estructuras internas de semillas de espárrago (*Asparagus officinalis* L.) importada de EE. UU. para siembra (Quilambaqui-Jara *et al.*, 2004), lo que sugiere que *F. verticillioides* podría estar presente en bodegas de granos almacenados cuyas condiciones sanitarias son menos severas que las de los envases de semilla para siembra.

En la matriz de correlaciones producto de la información de los 32 genotipos y las 12 variables (Cuadro 5), se observa que: a) de las 21 correlaciones posibles

poor seed attributes for germination and seedling emergence; besides, it is a complement to those results of the hybrids group, in which the highest seed weight was not associated with better characteristics of physiological quality.

In the sanitary tests on seedlings at the end of the laboratory phase of germination, fungi that are generally pathogenic, were isolated: *Alternaria* sp (20%), *Fusarium solani* (15%), *Aspergillus niger* (5%), *Fusarium oxysporum* (3%), *Penicillium* sp. (1%); the rest of the fungi found were typically saprophytes in sorghum: (*Epicocum nigrum* and *Cladosporium* sp.). All of these genera have been associated with sanitary quality in sorghum seed obtained in the Central High Valleys (Galeano, 1993)^[4]. In none of the genotypes was any isolate of *F. verticillioides* (= *F. moniliforme*) obtained, possibly because this fungus is not prevalent in storage (Moreno and Ramírez, 1991; Moreno, 1993), although little is known of its effect on sorghum grains or seed contaminated in the field and stored in warehouses where there is generally low relative humidity and low temperatures (Gilbert *et al.*, 1997). However, the presence of *F. oxysporum* and *F. solani* has been demonstrated in internal structures of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) seed imported from the USA for sowing (Quilambaqui-Jara *et al.*, 2004), suggesting that *F. verticillioides* could be present in grain stored in warehouses whose sanitary conditions are less severe than those required for containers of seed for sowing.

In the correlation matrix, product of the information on the 32 genotypes and 12 variables (Table 3), it can be observed that: a) of the 21 possible correlations among the seven variables evaluated in the laboratory,

Cuadro 5. Coeficientes estandarizados de correlación y niveles de significancia para las 12 variables de semilla y plántula.
Table 5. Standardized correlation coefficients and levels of significance for the 12 seed and seedling variables.

VAR	PV	PS	PGPN	PGPA	PSM	V	PPE	AP	DIE	VE	PFE	DFE
PV	1.000	-0.086	-0.225	0.066	0.207	-0.297	0.211	-0.074	0.111	-0.379	-0.233	0.009
PS		1.000	-0.252	-0.008	0.303	-0.239	0.233	-0.063	-0.100	0.192	-0.169	-0.133
PGPN			1.000	-0.200	-0.841*	0.898*	-0.369	0.261	-0.018	0.382	0.530*	0.199
PGPA				1.000	-0.065	-0.232	0.142	-0.073	0.235	-0.308	-0.211	-0.161
PSM					1.000	-0.802*	0.259	-0.193	-0.071	-0.302	-0.466*	-0.254
V						1.000	-0.476*	0.238	-0.040	0.394*	0.600*	0.297
PPE							1.000	-0.202	0.071	-0.127	-0.405*	-0.145
AP								1.000	-0.080	0.436*	0.545*	0.199
DIE									1.000	-0.109	-0.121	0.184
VE										1.000	0.628*	0.350
PFE											1.000	0.440*
DFE												1.000

VAR: Variables; PGPN: porcentaje de germinación con base en plántulas normales; PGPA: porcentaje de germinación con base en plántulas anormales; PSM: porcentaje de semillas muertas; V: vigor (%); PPE: porcentaje de plántulas enfermas; PV: peso volumétrico (kg hL⁻¹); PS: peso de 100 semillas (g); AP: altura de plántula (cm); DIE: días al 25% de la emergencia; VE: velocidad de la emergencia (Nd⁻¹); PFE: porcentaje final de la emergencia y DFE: días al final de la emergencia.

*: p≤0.05.

entre las siete variables determinadas en laboratorio, sólo 4 (14%) fueron significativas ($p \leq 0.05$), con valores entre 0.48 y 0.90; b) de las 35 correlaciones entre las características medidas en el laboratorio y las de campo, sólo 5 (14%) fueron significativas ($p \leq 0.05$) con valores entre 0.39 y 0.60; c) de las 10 correlaciones posibles entre las cinco variables medidas en el campo, 4 (40%) fueron significativas con valores entre 0.43 y 0.63. El bajo valor de las correlaciones significativas (la mitad inferiores a 0.50), complementados con la reducida frecuencia de diferencias entre las medias de los grupos de genotipos para la mayoría de las variables analizadas, y con el hecho de que ni el peso volumétrico ni el peso de la semilla presentaron correlación significativa con las variables relacionadas con germinación y emergencia de la plántula en campo, sugiere que tales variables son linealmente independientes (Igartua *et al.*, 1994), o bien, que hay baja correlación entre las pruebas de laboratorio y campo (Wanjari *et al.*, 1992). Así se confirma que en este estudio, la mayoría de las variables relacionadas con la calidad física, fisiológica y sanitaria de la semilla no tuvo una influencia decisiva en el establecimiento de las plántulas en el experimento de campo. En consecuencia, no habrá efectos confundidos de incidencia del patógeno en la segunda parte de este estudio (Cisneros-López *et al.*)^[6], en la cual se conocerán los resultados de la aplicación de inoculaciones artificiales de *F. verticillioides*, en estos genotipos.

Finalmente, la temperatura del suelo en los 23 d que duró el experimento en campo varió entre 13.5 y 25.5 °C, es decir, fue superior a las mínimas (4.5 a 16.5 °C) reportadas por Stickler *et al.* (1962) y por Payne *et al.* (2003) para el crecimiento inicial del sorgo, pero inferiores a los valores óptimos (26.5 a 37.5 °C) que Brar y Stewart (1994) encontraron en áreas sorgueras de EE. UU., en condiciones de campo. Es decir, la temperatura del suelo, en Montecillo, Estado de México, durante la etapa inicial de establecimiento del cultivo fue intermedia entre los valores mínimos y óptimos reportados.

CONCLUSIONES

El grupo de nuevos híbridos de sorgo tolerantes al frío presentó mayor peso de 100 semillas que el promedio de los grupos de progenitores, pero esa variable no mostró relación directa con características de calidad de sus líneas progenitoras. El mayor peso de la semilla no estuvo asociado con mejores atributos de germinación de la semilla, ni de emergencia de

only 4 (14%) were significant ($p \leq 0.05$), with values between 0.48 and 0.90; b) of the 35 correlations between characteristics measured in the laboratory and in the field, only 5 (14%) were significant ($p \leq 0.05$) with values between 0.38 and 0.60; c) of the 10 possible correlations between the five variables measured in the field, 4 (40%) were significant with values between 0.43 and 0.63. The low value of the significant correlations (half of them below 0.50), complemented with a low frequency of differences between means of the groups of genotypes for most of the variables analyzed and with the fact that neither volumetric weight nor seed weight were significantly correlated with the variables related to germination and seedling emergence in the field, suggests that the variables are linearly independent (Igartua *et al.*, 1994), or that the correlation between the laboratory and field tests is low (Wanjari *et al.*, 1992). It is also confirmed in this study that most of the variables related to physical, physiological and sanitary quality of the seed did not have a decisive influence on seedling establishment of the field experiment. Consequently, there would be no confusing effects of the incidence of the pathogen in the second part of this study (Cisneros-López *et al.*)^[6], in which the results of the application of artificial inoculations of these genotypes with *F. verticillioides* will be given.

Finally, soil temperature for the 23 d of duration of the field experiment varied between 13.5 and 25.5 °C, that is, higher than the minimums (4.5 to 16.5 °C) reported by Stickler *et al.* (1962) and by Payne *et al.* (2003) for initial growth of sorghum, but lower than the optimal values (26.5 to 37.5 °C) that Brar and Stewart (1994) found in sorghum-producing areas of the USA, under field conditions. That is, soil temperature in Montecillo, State of México, during the initial stage of crop establishment was between the minimum and optimum reported values.

CONCLUSIONS

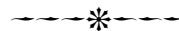
The group of new cold tolerant sorghum hybrids had higher 100-seed weight than the average of the parent groups, but this variable did not exhibit a direct relationship to quality characteristics of the lines of their parents. Higher seed weight was not associated with better seed germination attributes or with seedling emergence. Most of the variables measured in the laboratory tests were not linearly correlated with those of the field tests. In this study, soil temperature was

⁶ Cisneros-López, M. E., L. E. Mendoza-Onofre, G. Mora-Aguilera, L. Córdova-Téllez y M. Livera-Muñoz. Híbridos y progenitores de sorgo tolerante al frío. II. Efecto de *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg en el rendimiento de semilla y sus componentes en condiciones de campo. Aprobado para su publicación en Agrociencia.

plántulas. La mayoría de las variables medidas en las pruebas de laboratorio no correlacionaron linealmente con las de las pruebas de campo. La temperatura del suelo no fue un factor limitante para la germinación de la semilla y emergencia de la plántula en campo en este estudio.

not a limiting factor in seed germination and seedling emergence in the field.

—End of the English version—



AGRADECIMIENTOS

A las M. C. Victoria Ayala y Bertha Tlapal Bolaños por su colaboración en la identificación de las especies de hongos.

LITERATURA CITADA

- Brar, G. S., and B. A. Stewart. 1994. Germination under controlled temperature and field emergence of 13 sorghum cultivars. *Crop Sci.* 34: 1336-1340.
- CIAT. 1983. Descripción varietal de sorgo. *In: Metodología para Obtener Semillas de Calidad.* Unidad de Semillas. CIAT (ed). Calí, Colombia. pp: 125-139.
- Compton, L. P. 1990. Agronomía del Sorgo. Programa de Mejoramiento. ICRISAT para América Latina. pp: 30-40.
- Finch-Savage, W. E. 1995. Influence of seed quality on crop establishment, growth and yield. *In: Basra, A. S.* (ed). *Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications.* Food Products Press, N. Y. pp: 361-384.
- Frederiksen, R. A., and G. N. Odvody. 2000. Compendium of Sorghum Diseases. 2nd ed. APS Press. 77 p.
- Gilbert, J., A. Tekauz, and S. M. Woods. 1997. Effect of storage on viability of *Fusarium* head blight- affected spring wheat seed. *Plant Dis.* 81: 159-162.
- Helms, T. C., E. L. Deckard, and P. A. Gregoire. 1997. Corn, sunflower and soybean emergence influenced by soil temperature and soil water content. *Agron. J.* 89: 59-63.
- Hernández M., M., L. E. Mendoza O. y S. Osada K. 1987. Incidencia natural de *Fusarium moniliforme* (Scheld) S. & H. en sorgo granífero, en Celaya, Gto. *Rev. Mex. Fitopat.* 5(1): 27-30.
- Igartua, E., M. P. Gracia, and J. M. Lasa. 1994. Characterization and genetic control of germination-emergence responses of grain sorghum to salinity. *Euphytica* 76: 185-193.
- ISTA. 1999. International Rules for Seed Testing. Int. Seed Testing Ass. (Ed). Zurich, Switzerland. 321 p.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2: 176-177.
- Maranville, J. W., and M. D. Clegg. 1977. Influence of soil bulk density on seedling emergence of sorghum. *J. Maharashtra Agric. Univ.* 283:193-195.
- Mendoza-Onofre. L. E., V. A. González-Hernández, I. Aburto-Rizo, and S. Osada-Kawasoe. 1998. Response of cold tolerant sorghum lines to *Fusarium moniliforme* (Sheldon). *Agrociencia* 32: 233-239.
- Moreira de, C. N. y J. Nakagawa. 1988. Semillas. Ciencia y Tecnología de Producción. Varela, R. (trad). Ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 406 p.
- Moreno M., E. 1993. Tratamiento Químico de las Semillas para el Combate de Hongos. Unidad de Investigación en Granos y Semillas. UNAM-INIFAP. pp: 45-48.
- Moreno M., E. y G. Ramírez J. 1991. Combate de los hongos de almacén. *In: Folleto Técnico en Conservación de Granos.* No. 2. ANDSA. pp: 39-52.
- Mortlock, M. Y., and R. L. Vanderlip. 1989. Germination and establishment of pearl millet and sorghum of different seed qualities under controlled high temperature environments. *Field Crops Res.* 22: 195-209.
- Nelson, P. E., T. A. Tousson, and W. F. O. Marasas. 1983. *Fusarium* species. An Illustrated Manual for Identification. The Pennsylvania State Univ. Press. 193 p.
- Osuna-Ortega, J., L. E. Mendoza-Onofre, V. A. González-Hernández, F. Castillo-González, M. del C. Mendoza-Castillo, and H. Williams-Alanís. 2000. Potencial of cold tolerant germplasm in the adaptation and adaptability of sorghum in México. I: High Valleys. *Agrociencia* 34: 561-572.
- Osuna-Ortega, J., M. del C. Mendoza-Castillo, and L. E. Mendoza-Onofre. 2003. Sorghum cold tolerance, pollen production, and seed yield in the Central High Valleys of México. *Maydica* 48: 125-132.
- Payne, W. A., M. Balota, and D. Rosenow. 2003. Sorghum diversity for germination and coleoptile elongation under cool conditions. *In: Proc. 23rd Biennial Sorghum Ind. Conf.* 14 p.
- Quilambaqui-Jara, M., E. Zavaleta-Mejía, G. Mora-Aguilera, F. Delgadillo-Sánchez y A. Marín-Jarillo. 2004. Patogenicidad de tres especies de *Fusarium* asociadas con el declinamiento del espárrago (*Asparagus officinalis* L.) en Guanajuato, México. *Rev. Mex. Fitopat.* 22: 30-36.
- SAS Institute. 1998. SAS/SAT User's Guide. Version 6.09. SAS Inst., Cary. NC. pp: 100-120.
- SIAP (Sistema de Información Agropecuaria). 2003. Panorama internacional para el sorgo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Boletín Semanal del 14 de enero del 2003.
- Stickler, F. C., A. W. Pauli, and A. J. Casady. 1962. Comparative responses of kaoliangs and other grain sorghum types to temperature. *Crop Sci.* 2: 136-139.
- Soujeole, A. A., and F. R. Miller. 1984. Cold tolerance of sorghum during early developmental stages. *Proc. Ann. Corn & Sorghum Res. Conf.* 39: 18-32.
- Tekrony, D. M., and D. B. Egli. 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: A review. *Crop Sci.* 31: 816-822.
- Wanjari, S. S., N. R. Potdukhe, A. M. Dhope, V. B. Shekar, and D. B. Patil. 1992. Effect of seed size on germination, field emergence and vigor in some sorghum genotypes. *Agric. Sci. Digest* 12(2): 59-61.
- Warham, E. J., D. Butter y B. C. Sutton. 1996. Ensayos para la Semilla de Maíz y de Trigo. Manual de Laboratorio. CIMMYT. 84 p.
- Williams, R. J., and K. N. Rao. 1981. A review of sorghum grain molds. *Trop. Pest Manage.* 27: 200-208.
- Wu, W. S., and K. C. Cheng. 1990. Relationships between seed health, vigor and the performance of sorghum in field. *Seed Sci. & Technol.* 18: 713-719.
- Yu, J., and M. R. Tuinstra. 2001. Genetic analysis of seedling growth under cold temperature stress in grain sorghum. *Crop Sci.* 41: 1438-1443.