

CARACTERIZACIÓN DE TRIGOS HARINEROS MEDIANTE PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE LA SEMILLA*

CHARACTERIZATION OF BREAD WHEAT USING SEED PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL QUALITY PARAMETERS

Antonino Sebastián Gutiérrez-García^{1§}, Aquiles Carballo-Carballo¹, José Apolinar Mejía-Contreras¹, Mateo Vargas-Hernández², Richard Trethowan³ y Héctor Eduardo Villaseñor-Mir⁴

¹Programa en Producción de Semillas, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. ²Universidad Autónoma Chapingo. ³Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. ⁴Campo Experimental Valle de México, INIFAP. [§]Autor para correspondencia: guasaiki13@yahoo.com.mx

RESUMEN

Los problemas con el establecimiento en las siembras de trigo en temporal están relacionados con la calidad de la semilla. El objetivo del trabajo fue evaluar la calidad física y fisiológica de la semilla de trigos harineros. Los trabajos se realizaron en 2003, en el Laboratorio de Análisis de Semillas y en el invernadero del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México. Se utilizaron 10 variedades de trigo de buen vigor y calidad industrial, a las que se les determinó el tamaño de semilla, peso hectolítrico y peso de mil semillas. Se realizaron tres pruebas de calidad fisiológica, dos en laboratorio (germinación estándar y longitud de coleóptilo), y una en cama de arena en invernadero, donde se midió la respuesta a tres profundidades de siembra (3, 6 y 9 cm) a través de velocidad de emergencia, longitud de coleóptilo y de plántula, y peso seco de plántula. Los datos se analizaron con diseños de bloques al azar y los de invernadero con arreglo de parcelas subdivididas, y se realizaron comparación de medias, análisis de correlación y se analizó la interacción genotipo x ambiente considerando a las profundidades de siembra como ambientes diferentes. Los resultados indican que el peso de mil semillas es parámetro fundamental para seleccionar variedades con mejor calidad física y fisiológica. En la prueba de

invernadero Tlaxcala F2000, Sokoll y Berkut, fueron estables en la velocidad de emergencia; Temporalera M87, Rebeca F2000 y Weebill 1 lo fueron para longitud de coleóptilo, y Berkut, Sokoll, Kambara 1 y Juchi F2000 para longitud de plántula. Se obtuvieron correlaciones positivas entre longitud de coleóptilo y parte aérea con peso seco de parte aérea, y entre peso seco de parte aérea con peso seco de raíz.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., interacción x medio ambiente, peso de semilla, tamaño de semilla.

ABSTRACT

The problems of stand establishment in rainfed wheat crops are related to seed quality. The aim of this work was to assess the bread-wheat-seed physical and physiological quality. The research was conducted during 2003 in the Seed Analysis Laboratory and greenhouse of the Colegio de Postgraduados, Montecillo, State of Mexico. Ten wheat cultivars of high vigor and industrial quality were utilized; in these seed size, hectoliter weight and the weight of 1000 seeds were determined. Three physiological quality tests were conducted, two in the laboratory (standard germination and coleoptile length), and one in a sand bed

* Recibido: Junio de 2005
Aceptado: Marzo de 2006

in the greenhouse, where the response to three planting depths (3, 6 and 9 cm) was measured as emergency rate, coleoptile length, plantlet length, and plantlet dry-weight. Data were analyzed as random blocks designs, and a subdivided plot design was used for the greenhouse data, as well as mean comparisons, analysis of correlations, and of genotype x environment interaction, where each planting depth was considered as an environment. Results indicated that the weight of 1000 seeds is an essential parameter for the selection of cultivars with the best physical and physiological seed quality. In the greenhouse test Tlaxcala F2000, Sokoll and Berkut cultivars had consistent emergency rates; Temporalera M87, Rebeca F2000 and Weebill 1 had a more consistent coleoptile length; and Berkut, Sokoll, Kambara 1 and Juchi F2000 had a more consistent plantlet length. Positive correlations were obtained between length of coleoptile and plantlet with the aerial part dry-weight, and between aerial part dry-weight and root dry-weight.

Key words: *Triticum aestivum* L., genotype x environment interaction, seed size, seed weight.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo en México, en condiciones de riego en el ciclo otoño-invierno, aporta 94% de la producción nacional, principalmente por los estados de Sonora, Baja California Sur y Guanajuato, mientras que el resto (6%) se produce en áreas de temporal, en el ciclo primavera-verano en los estados de Tlaxcala, Estado de México y Guanajuato, donde en los últimos años la distribución de las lluvias se ha tornado irregular e insuficiente, con períodos de sequía de diferente magnitud (SAGARPA, 2004). La superficie total (506 999 ha) que se siembra con trigo en este país representa una demanda anual potencial de 150 000 t de semilla, la cual se satisface fácilmente para las áreas de riego, con alta tecnología y organización de productores, pero representa un problema obtener este insumo para las siembras de temporal, donde la selección de una buena variedad y la producción de semilla de alta calidad resultan necesarias y prioritarias.

Los atributos de pureza genética, sanidad y calidad física y fisiológica de la semilla son importantes para las siembras de temporal o de áreas de escasa humedad. La calidad

física se evalúa mediante las variables de peso de mil semillas, tamaño de semilla, peso volumétrico y pureza física (Moreno, 1984); también puede caracterizarse con base en el peso hectolítrico, prueba de flotación, dureza NIR (near infrared reflectance), densidad de grano y relación de molienda (Dios *et al.*, 1992). La calidad fisiológica y, en particular el vigor de semilla, se asocia con la tasa y uniformidad de la germinación, crecimiento de plántula y adaptación en campo; el vigor de semilla se define como la sumatoria de propiedades que determina el nivel de actividad y el comportamiento durante la germinación y emergencia de las plántulas (ISTA, 1999). El primer componente de la calidad fisiológica que muestra señales de deterioro es el vigor de las semillas, seguido de una reducción en la germinación o de un mayor porcentaje de plántulas anormales (Ferguson, 1995).

El uso de semillas de calidad es una opción para resolver problemas asociados con el establecimiento del cultivo, se ha comprobado que con la siembra de semillas vigorosas se incrementa eficientemente el establecimiento de plántulas normales en el campo (Chastian *et al.*, 1995; Artola *et al.*, 2002). Las siembras de trigo con semillas de mayor tamaño, produjeron plántulas más vigorosas, con más tallos y espigas, y su rendimiento fue mayor que el de siembras con semilla de menor tamaño (Baalbaki y Copeland, 1997; Mandal y Basu, 2003).

Entre las características consideradas por los programas de mejoramiento está la acumulación de materia seca, pues se ha demostrado que es un buen indicador del efecto del estrés en trigo durante períodos prolongado, según Amthor y McCree (1990) y Khan *et al.* (2002), quienes al evaluar métodos de siembra (hilera y mateado) y profundidades de siembra (2, 4, 6, y 8 cm) sobre la producción del trigo, observaron que la profundidad a 4 cm fue la que incrementó más el rendimiento (2.29 t ha⁻¹), además, la combinación del método en hilera con la profundidad de 4 cm fue la mejor opción para obtener altos rendimientos y mayor expresión de los valores de sus componentes. Así mismo, Rebetzke *et al.* (2004) mencionan que una profundidad mayor de siembra (10 cm) podría permitir a las plantas aprovechar la humedad del estrato del suelo situado por debajo de la superficie seca; sin embargo, los coleóptilos cortos de los trigos semienanos reducen la emergencia de las plántulas cuando la siembra se hace a profundidades mayores de 5 cm. La

selección de genotipos con coleóptilos largos y gruesos puede ayudar a la emergencia de las plántulas en suelos duros o en siembras profundas.

Los genes de enanismo son usados en los programas de mejoramiento de trigo para reducir la altura de la planta e incrementar el rendimiento de grano; esta reducción en la capacidad de elongación celular a su vez causa una reducción de la longitud del coleóptilo y del vigor temprano (área foliar), lo que afecta el establecimiento y desarrollo de las plántulas (Botwright *et al.*, 2001; Rebetzke *et al.*, 2001). A este respecto, existe una correlación positiva entre el peso de mil semillas con la longitud del coleóptilo en variedades de trigo de porte alto (Trethowan *et al.*, 2001; Bai *et al.*, 2004).

Una variedad en general, que es sobresaliente, tiene una combinación de caracteres que le permiten producir altos rendimientos con calidad aceptable (Poehlman, 1987). La tendencia de caracterizar las variedades de los cultivos conlleva a explicar su comportamiento en diversos ambientes de producción, lo que actualmente se conoce como interacción genotipo x ambiente (IGA). En los trigos harineros es importante identificar variedades cuyas características de semilla se adapten mejor a los sistemas de producción de labranza mínima y labranza cero, así como a las condiciones de estrés hídrico (sequía).

Considerando que de la buena calidad de semilla dependerá el establecimiento de un cultivo y partiendo del supuesto de que existen variedades eficientes para lograr buenos rendimientos de grano y de semilla de alta calidad, se planteó este trabajo con los siguientes objetivos: a) Evaluar la calidad física y fisiológica de la semilla de trigos harineros con base en su tamaño y peso, y comportamiento en distintas profundidades de siembra, b) Determinar la relación entre el tamaño de semilla y la longitud de la raíz y del coleóptilo, y c) Evaluar la eficiencia en la acumulación de materia seca en plántula.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo consistió en caracterizar 10 variedades de trigo harinero, en el laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Postgraduados, ubicado en Montecillo, Estado

de México, México. La semilla de las variedades fue proporcionada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Cuadro 1) entre cuyas características destacan la resistencia a sequía, buen vigor y buena calidad industrial. Una vez limpia la semilla de la muestra original, se evaluó la calidad física de cada variedad; para ello se determinó el peso hectolítrico (PHL), expresado en kg/hectolitro; posteriormente se separó por tamaño, en semilla grande y chica, con una criba oblonga de 19 x 3 mm; en seguida se estimó el peso de mil semillas (PMS), como lo indica la International Seed Testing Association (ISTA, 1999). La calidad fisiológica se evaluó en los dos tamaños de semilla, mediante las pruebas en laboratorio siguientes: a) Germinación Estándar (sólo tamaño de semilla original), b) Evaluación de la longitud de coleóptilo en laboratorio, y c) Evaluación en cama de arena bajo invernadero.

Pruebas de calidad fisiológica

a) Prueba de germinación estándar. La prueba consistió en colocar en una caja de petri, que fue la unidad experimental, 50 semillas de la muestra original de cada variedad sobre papel predoblado “sanita” (sustrato), al cual se le aplicaron riegos con agua destilada para mantener húmeda la semilla. Las cajas de petri se distribuyeron dentro de una cámara germinadora, conforme un diseño experimental de bloques al azar (BA), con control de luz (24 h) y temperatura (± 25 °C). Se realizaron conteos de semilla germinada a los cuatro y ocho días, para evaluar la velocidad de germinación (VG) y el porcentaje de plántulas normales (PN).

b) Evaluación de la longitud del coleóptilo. La prueba se estableció para los dos tamaños de semilla en papel krafft, para ello en el centro del papel se marcaron 25 puntos, sobre una línea transversal, a intervalos de 1 cm y en cada punto se fijó una semilla con cinta adherente con el embrión orientado hacia el papel y con la plúmula en ángulo recto respecto a la línea. Enseguida se cubrió con una hoja de papel adicional y se enrolló, y posteriormente, se humedeció. Los rollos se colocaron, acorde al diseño experimental de bloques al azar, en una incubadora, en condiciones de oscuridad, a 20 °C de temperatura y durante siete días. Se midieron la longitud de la parte aérea (LPA) y la longitud de coleóptilo (LCOL) y se

Cuadro 1. Variedades de trigo harinero¹ utilizadas para la evaluación física y fisiológica de la semilla. Montecillo, Estado de México, México. 2003.

Variedad	Origen	Pedigree
Berkut	CIMMYT	CMSS96M05638T-040Y-26M-010SY-010M-010SY-4M-0Y
Sokoll	CIMMYT	CMSS97M00316S-0P20M-0P20Y-60M-010Y
Kambara 1	CIMMYT	CGSS95B00016F-099Y-099B-099Y-099B-15Y-0B
Weebill 1	CIMMYT	CGSS95B00014T-099Y-099B-099Y-099B-35Y-0B
Rebeca F2000	CIMMYT	CM85295-0101TOPY-2M-0Y-0M-1Y-0M-(1-50)C-032R-0C
Romoga F96	CIMMYT	CM62142-5Y-3M-1Y-2M-3Y-1M-0Y-0MEX
Náhuatl F2000	INIFAP	CMBW89Y00804-0TOPM-9R-0C-2R-3C-0R
Juchi F2000	INIFAP	TC920338-S-9C-04R-1C-0R-1C-0R
Temporalera M87	INIFAP	II47002-7R-101C-0R-0MEX
Tlaxcala F2000	INIFAP	TC920248-S-34C-06R-1C-0R-1C-0R

¹Semilla proporcionada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

contabilizó el peso seco tanto de la parte aérea (PSPA) como de la raíz (PSR).

c) Evaluación en microtúnel. Sobre cama de arena de río se sembraron ambos tamaños de semilla a profundidades de 3, 6 y 9 cm, con dos repeticiones y 60 tratamientos por repetición los cuales integraron un factorial completo de $2 \times 3 \times 10$ bajo un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas subdivididas, en el que la parcela grande (PG) fue la profundidad de siembra, la parcela mediana (PM) el tamaño de la semilla y la parcela chica (PCH) las variedades de trigo; la unidad experimental consistió de 100 semillas. Se evaluaron las variables: velocidad de emergencia (VE), longitud de plántula (LPTA), longitud de coleóptilo (LCLP) y peso seco de la plántula (PSPTA).

Análisis estadístico

Se realizaron un análisis de varianza y una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey, $p \leq 0.05$ así como un análisis de correlación con las variables y factores de estudio evaluados en cada prueba (SAS Institute, 1996). Respecto a la prueba en invernadero, se analizó la interacción genotipo x ambiente, con el programa de análisis AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction Model) y el diseño de gráficas del BILOT (graph of the genotype by environment interaction) (Vargas y Crossa, 2000), para lo cual las combinaciones resultantes entre las tres profundidades de siembra (3, 6 y 9 cm) identificadas como P1, P2 y P3,

respectivamente y los dos tamaños de semilla (T1, grande y T2, chico) fueron los ambientes, identificados como: P1T1, P1T2, P2T1, P2T2, P3T1 y P3T2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Tanto el análisis de la varianza para la evaluación de la calidad física de la semilla como la prueba de germinación estándar mostraron alta significancia para el factor variedad (VAR) en todas las variables; así mismo, el tamaño de semilla (TS) y su interacción con las variedades (TS x VAR) tuvieron alta significancia en el peso de mil semillas. De la misma manera, en la evaluación de la longitud de coleóptilo el factor variedad resultó altamente significativo en todas las variables estudio, mientras que para los factores tamaño de semilla (TS) y la interacción TS x VAR, las variables LPA y PSPA fueron las únicas que no mostraron significancia estadística. Respecto al peso hectolítrico y el peso de mil semillas se observó una gran variación entre variedades, donde Kambara 1, Juchi F2000, Temporalera M87 y Tlaxcala F2000 resultaron con el mayor PHL, aunque esto no fue condición para que tuvieran el mayor peso de mil semillas, ya que en esta variable Kambara 1 y Berkut fueron estadísticamente las mejores al obtener los valores más altos en ambos tamaños de semilla (Figura 1), además, tuvo un valor de DSH de 1.0098.

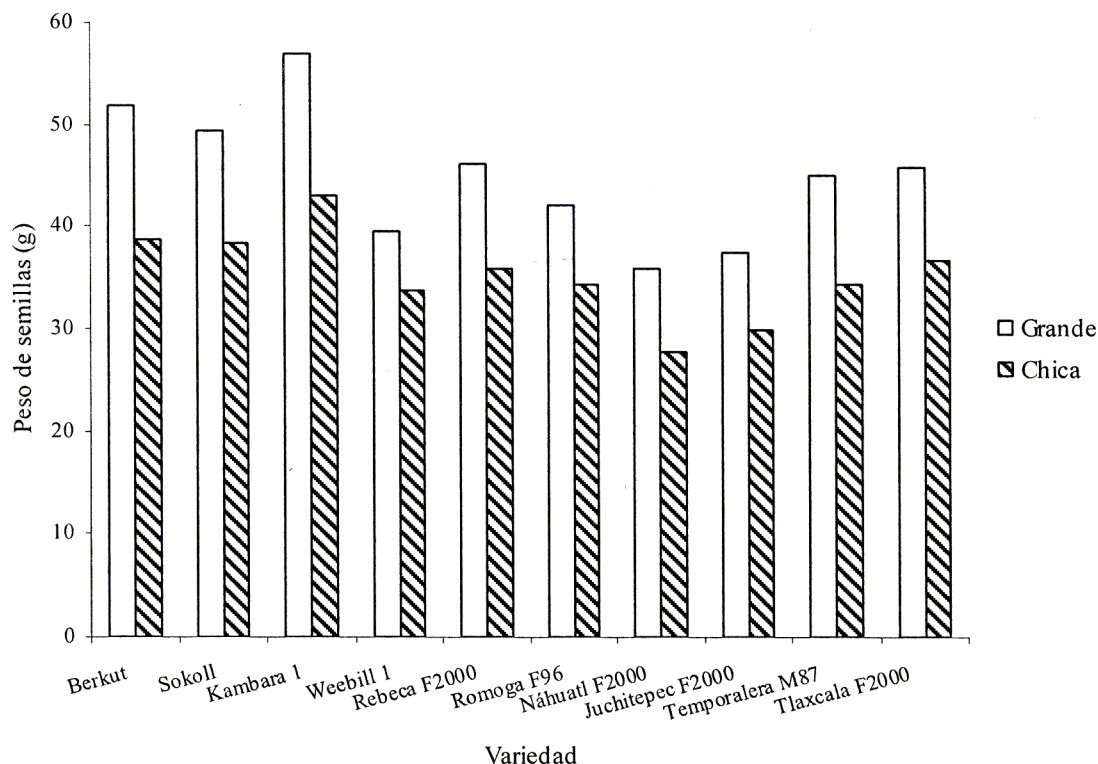


Figura 1. Comparación de dos tamaños de semilla en 10 variedades de trigo harinero para peso de mil semillas.

Las variedades Berkut, Sokoll, Kambara 1 y Weebill 1 resultaron con una mayor longitud de plántula y tuvieron una menor longitud de coleóptilo, así como mayor acumulación de materia seca de la parte aérea y de la raíz; además, el tamaño grande de semilla tuvo un efecto mayor en las variables LCOL, PSPA, PSR. Por otra parte, hubo correlaciones positivas entre las variables PSPA-PSR (0.78**), LPA-PSPA (0.41**) y LCOL-PSPA 0.33**).

Para las variables VE, PSPTA, LCLP y LPTA, en la evaluación en microtúnel, los factores profundidad de siembra (PS) y variedad (VAR) resultaron altamente significativos. La profundidad de siembra es un factor muy importante en el establecimiento del trigo en campo, ya que se relaciona con la variedad y el tamaño de la semilla. Para la VE el factor TS no tuvo significancia, sin embargo, para el resto de las variables fue altamente significativo. La interacción PS x TS resultó significativa para la variable PSPTA, mientras que PS x VAR resultó significativa para todas las variables, a excepción de

VE; sin embargo, la interacción de los tres factores PS x TS x VAR sólo fue significativa para la variable VE, lo cual indica que la profundidad de siembra y tamaño de la semilla son de suma importancia para la velocidad de emergencia.

Para la variable VE las variedades Náhuatl F2000, Juchi F2000, Tlaxcala F2000 y Temporalera M87 fueron las mejores, mientras que para la acumulación de materia seca las variedades Berkut, Sokoll, Kambara 1, Temporalera M87 y Tlaxcala F2000 resultaron ser el grupo superior (Figura 2) en las tres profundidades de siembra, con una DSH de 0.03610. Por su parte LCLP mostró una tendencia similar a los resultados obtenidos en la evaluación en papel krafft, ya que las variedades Juchi F2000, Náhuatl F2000, Tlaxcala F2000, Romoga F96 y Kambara 1 tuvieron la mayor longitud de coleóptilo, aunque fueron estadísticamente iguales. En cuanto a la LPTA el grupo superior lo integraron las variedades Tlaxcala F2000, Temporalera, Juchi F2000, Náhuatl F2000, Kambara 1 y Sokoll.

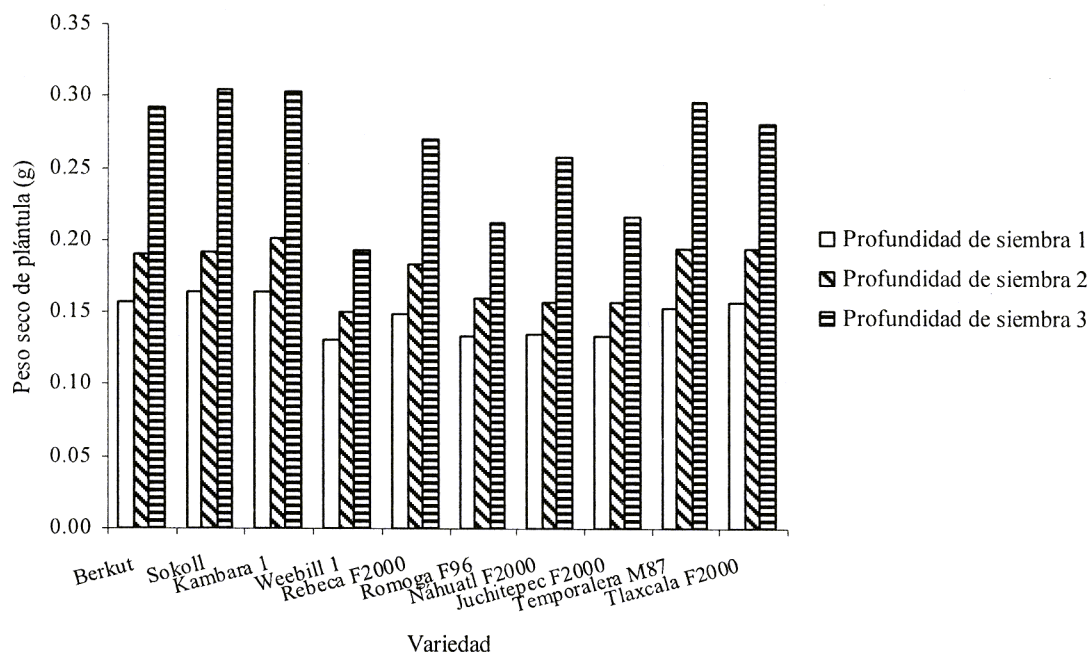


Figura 2. Acumulación de materia seca en la interacción profundidad de siembra x variedad, en 10 variedades de trigo harinero.

Por otra parte, VE registró valores altos a menores profundidades; sin embargo, el comportamiento de PSPTA, LCLP y LPTA fue inverso, ya que a mayor profundidad de siembra se tuvieron valores más altos. El tamaño de semilla resultó significativo para PSPTA, LCLP y LPTA y fue el tamaño grande el que tuvo los valores más altos. La variable VE correlacionó significativa y negativamente con PSPTA, LCLP y LPTA, con valores de -0.68^{**} , -0.76^{**} , -0.66^{**} , respectivamente, mientras que la correlación entre el peso seco y la longitud de coleóptilo, y de plántula resultó positiva y significativa (0.74^{**}); asimismo, se tuvo una correlación positiva y significativa entre LCLP y LPTA (0.86^{**}).

En la representación (BIPLLOT) de los efectos de interacción genotipo x ambiente (IGA) los genotipos más cercanos al origen mostraron menor magnitud de interacción, por lo tanto, son los más estables, mientras que al alejarse de éste, su comportamiento fue más variable (Yan *et al.*, 2000). En la presente investigación hubo significancia a $p \leq 0.01$ en las variables VE, LCLP, LPTA, PSPTA para ambiente y genotipo, y en su interacción. Así mismo, cinco de los seis componentes principales (CP) construidos por el análisis explicaron la

variabilidad mayor de cero para las cuatro variables en estudio (Cuadro 2).

Los componentes principales 1 y 2 en las cuatro variables capturaron más de 75% de la suma de cuadrados acumulados de la IGA, suficiente para considerar una interpretación confiable sobre el comportamiento de la interacción, ya que corresponde a un valor aceptable ($>75\%$); únicamente el CP1 tuvo una alta significancia para las cuatro variables (Cuadro 2).

Las correlaciones lineales obtenidas entre los efectos de la interacción genotipo x ambiente y los dos primeros componentes para la variable VE indican que el componente CP1 tuvo una asociación alta y positiva con la variedad Rebeca F2000 y el ambiente P3T2, pero fue de mayor magnitud y negativa con Kambara 1 y el ambiente P1T2 (Figura 3). Para la variable PSPTA el CP1 tuvo una asociación positiva con Sokoll y el ambiente P3T2, mientras que fue alta y negativa con Weebill 1 y el ambiente P1T2. Así mismo, para LCLP las asociaciones altas y positivas en el CP1 fueron con Weebill y el ambiente P1T2, mientras que las asociaciones negativas fueron con Tlaxcala F2000 y el ambiente P2T1. Por

Cuadro 2. Resultados de la prueba de Gollob del análisis AMMI y sus componentes principales para la velocidad de emergencia, longitud de coleóptilo, longitud de plántula y peso seco de plántula, en 10 genotipos de trigo harinero.

Componente principal	VE	Porcentaje acumulado	LCLP	Porcentaje acumulado	LPTA	Porcentaje acumulado	PSPTA	Porcentaje acumulado
CP1	45.1**	62.5	2.7**	68.8	37.8**	61.8	0.018**	73.4
CP2	16.1	84.7	0.51	81.7	10.64	79.2	0.005	93.2
CP3	7.2	94.7	0.39	91.8	8.18	92.5	0.001	97.9
CP4	2.9	98.7	0.26	98.3	3.12	97.6	0.0004	99.9
CP5	0.9	100.0	0.07	100.0	1.47	100.0	0.00002	100.0
CP6	0.0	100.0	0.00	100.0	0.00	100.0	0.000	100.0

VE= Velocidad de emergencia; LCLP= Longitud de coleóptilo; LPTA= Longitud de plántula; PSPTA= Peso seco de plántula; CP1-CP6= Componente principal del 1 al 6; ** Significancia a $p \leq 0.01$

último, para LPTA las asociaciones altas y positivas del CP1 se tuvieron con Tlaxcala F2000 y el ambiente P3T1 y en forma negativa con Rebeca F2000 y el ambiente P1T2.

En la representación de los efectos de la interacción (Figura 3), para VE la variedad Tlaxcala F2000 fue la más estable seguida de Sokoll, Berkut y Romoga F96, en tanto que Juchi F2000, Náhuatl F2000, Rebeca F2000, Temporalera M87, Kambara 1 y Weebill 1 fueron las que presentaron efectos mayores en la interacción genotipo x ambiente. La ubicación de las variedades coincide con las correlaciones obtenidas con respecto a los componentes principales, de tal forma que Rebeca F2000 y Kambara 1 se encuentran en posición opuesta con relación al CP1, mientras que Juchi F2000 y Temporalera M87 tuvieron un comportamiento similar con respecto al CP2. Para la variable PSPTA, Romoga F96 y Sokoll presentaron una posición opuesta al CP1, en tanto que Kambara 1 y Weebill 1 ocuparon ésta posición con respecto al CP2.

Para la variable LCLP la variedad más estable fue Temporalera M87, seguida de Romoga F96, Rebeca F2000 y Sokoll; en tanto que Berkut, Weebill 1, Tlaxcala F2000, Juchi F2000 y Náhuatl F2000 presentaron los mayores efectos de IGA; nuevamente la ubicación de las variables vuelve a coincidir con las correlaciones obtenidas con respecto a los componentes principales, de tal forma que Juchi F2000 y Weebill 1 se encuentran en posición opuesta con relación al CP1, mientras que Berkut y Kambara 1 tuvieron un comportamiento similar con respecto al CP2. En cuanto a LPTA la estabilidad de las variedades fue más notoria que en PSPTA, ya que las variedades

Berkut, Sokoll, Kambara 1, Juchi F2000 y Romoga F96 fueron más estables, en cambio las que tuvieron mayor efecto de interacción fueron Tlaxcala F2000, Náhuatl F2000, Temporalera M87, Rebeca F2000 y Weebill 1. Así mismo, las variedades Sokoll y Náhuatl F2000 mostraron una posición opuesta con respecto al CP1, en tanto que Tlaxcala F2000 y Weebill 1 tuvieron un comportamiento similar con respecto al CP2.

Discusión

En la evaluación de la calidad física de la semilla la significancia obtenida indica que la variedad Kambara 1 fue la que registró mayor peso de semilla (Figura 1); no obstante, el PHL no es un parámetro indicativo del PMS, ya que genotipos con bajo peso hectolítrico tuvieron pesos altos de mil semillas (Berkut y Sokoll). En cuanto a la calidad fisiológica de la semilla, los genotipos evaluados mostraron buen vigor y, en general, alta calidad fisiológica ya que los valores de VE y PN fueron superiores a 90%, lo cual concuerda con las recomendaciones de la International seed Testing association (ISTA), de que los lotes de semilla para ser considerados de buena calidad deben tener un valor superior a 85%; al respecto, la ISTA (1999) menciona que el vigor de la semilla es la sumatoria de atributos de la misma durante la germinación y la emergencia de plántulas, por lo que en este sentido los resultados obtenidos son similares a los de Ferguson (1995), quien señala que aspectos como la tasa y uniformidad de germinación de semillas y el buen crecimiento de plántulas normales están asociados con el vigor de la semilla que permite establecer nuevos individuos en el campo.

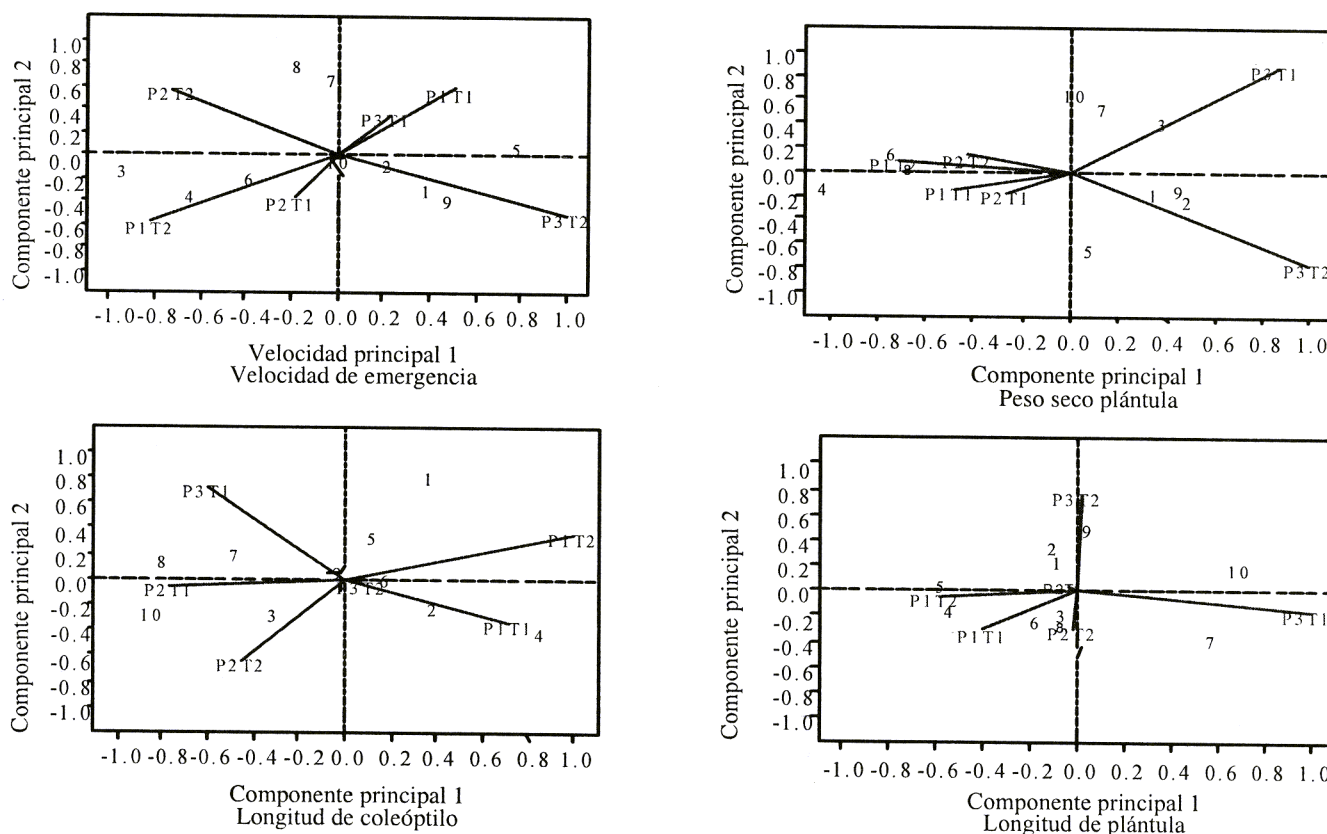


Figura 3. Representación de los componentes principales de 10 variedades de trigo harinero y seis ambientes de estudio con el análisis AMMI en las variables velocidad de emergencia, peso seco de plántula, longitud de coleóptilo y longitud de plántula.

En la calidad fisiológica el tamaño de semilla fue un factor significativo para longitud del coleóptilo y la acumulación de materia seca de la parte aérea y de la raíz, en las primeras etapas de desarrollo de las plántulas. Mientras que el vigor fue más notorio al constatar que el tamaño grande de semilla (Figura 1) tuvo un efecto superior en la respuesta de las variables LCOL, PSPA y PSR con respecto al tamaño chico de semilla que produjo valores más bajos. Estos resultados coinciden con los reportados por Chastian *et al.* (1995), Baalbaki y Copeland (1997) y Trethowan *et al.* (2001) quienes mencionan que existe una correlación positiva entre el tamaño de la semilla y el vigor de la plántula, y con el crecimiento inicial de ésta. Así mismo, las variedades con mayor peso de semilla (Berkut, Sokoll y Kambara 1) tuvieron una mayor longitud de plántula y de coleóptilo, y por consiguiente, una mayor acumulación de materia seca de la parte aérea y de la raíz. Sobre este particular, el tamaño grande de semilla puede considerarse como un criterio primordial en la selección

o identificación de variedades con longitudes mayores de coleóptilo, las cuales podrían sembrarse a profundidades mayores de 10 cm (Botwright *et al.*, 2001; Rebetzke *et al.*, 2004). Por otra parte, la correlación negativa entre la longitud de planta y de coleóptilo se debe a que en las etapas iniciales de desarrollo las plantas gastan más energía en la acumulación de materia seca para tener un buen establecimiento en campo que en la elongación de las células del parénquima, aunque puede haber influencia de las temperaturas del suelo.

En la evaluación en microtúnel el tamaño de la semilla resultó significativo, lo que confirma que el vigor está fuertemente influenciado y correlacionado con el tamaño de la semilla, y que las variables de respuesta como la materia seca, longitud del coleóptilo y longitud de plántula son factores determinantes para la selección de líneas avanzadas o de variedades liberadas; en pruebas de laboratorio e invernadero, dentro de los programas de

mejoramiento genético, de validación y de transferencia de tecnología. Otro factor que es fuertemente confiable para poder evaluar y descartar líneas por medio del vigor de las semillas es la profundidad de siembra, que para el presente estudio tuvo una significancia a $p \leq 0.01$ para las variables VE, LCLP, LPTA y PSPTA. De esta forma, cuando la profundidad de siembra se incrementa, la velocidad de emergencia disminuye, debido al mayor gasto de energía que tienen las semillas para vencer la barrera física (suelo) a la que se someten en siembras profundas (Figura 2).

De lo antes mencionado puede decirse que a mayores profundidades se tendrá una mayor acumulación de materia seca, debido a una mayor longitud de plántula y una mayor longitud del coleóptilo, parámetros que siguen siendo confiables en la selección de líneas de trigo con alto vigor de semilla para su siembra a profundidades mayores y lograr un buen desarrollo y adaptación en terrenos de agricultores en condiciones de temporal (estrés hídrico). A este respecto, nuevamente Berkut, Sokoll y Kambara 1, en siembra profunda, fueron las variedades con mayor tamaño de semilla y mayor acumulación de materia seca.

El análisis AMMI, como herramienta estadística, permitió tener una visión amplia del comportamiento de los genotipos evaluados con respecto a los ambientes de prueba, y que a través de sus variables respuesta, permitieron tener una idea más precisa de cómo emplear mejor las variedades que se han venido desarrollando en los programas de mejoramiento genético, dentro de los cuales se busca obtener variedades rendidoras y sanas pero también con buena calidad física, fisiológica y sanitaria de las semillas.

Es importante destacar la significancia de la interacción genotipo x ambiente que resultó en las variables VE, LCLP, LPTA y PSPTA evaluadas en esta investigación, ya que el efecto de la interacción fue muy marcado (Figura 3), esto es, se observó que para la velocidad de emergencia las variedades Tlaxcala F2000 y Sokoll tuvieron un mejor comportamiento a una mayor profundidad de siembra con un tamaño chico de semilla (P3T2), así mismo, las que recibieron más influencia del ambiente fueron Rebeca F2000, Temporalera F2000 y Berkut. La mayor estabilidad

observada en la variedad Tlaxcala F2000 pudo deberse a su mayor longitud del coleóptilo (6.8 cm), lo que le permitió emerger con facilidad y vencer así la barrera física del suelo. Por otra parte, en la acumulación de materia seca las variedades Berkut, Sokoll y Temporalera F2000 respondieron mejor al ambiente P3T2, mientras que Kambara 1 lo hizo en el ambiente P3T1, reafirmando su vigor de semilla expresado por su mayor peso de semilla, en comparación con Weebill 1 que fue una de las variedades con menor peso de semilla, la cual tuvo un comportamiento más inestable al ubicarse lejos del origen de los ambientes.

En la longitud del coleóptilo el comportamiento de las variedades Temporalera F2000 y Romoga F2000, con respecto a su ambiente P3T2, fue muy favorable debido a su cercanía al origen (Figura 3). Por otra parte, para el ambiente P1T1 las variedades que respondieron mejor fueron Sokoll y Weebill 1, en tanto que para el ambiente P2T1 fueron Náhuatl F2000 y Juchi F2000. Esto demuestra una gran diversidad en cuanto a la capacidad de la semilla expresada como vigor, ya que mientras unos genotipos prosperaron mejor a profundidades mayores de siembra con semilla chica, otros lo hicieron en ambientes menos profundos con semilla grande, lo que se confirma con los resultados de Shie y McDonald (1982), quienes mencionan que el tamaño chico de semilla, en ambientes críticos de humedad, puede tener una mejor respuesta así como germinación y adaptación más rápida en campo, debido a que la cantidad de agua que requiere para germinar es menor. Por último, la adaptación de las variedades Kambara 1 y Juchi F2000 fue favorecida por el ambiente P2T2, mientras que las más inestables en el ambiente P3T1 fueron Tlaxcala F2000 y Náhuatl F2000.

CONCLUSIONES

El peso de mil semillas es parámetro fundamental para seleccionar variedades con buena calidad física y fisiológica, no así el peso hectolítrico.

Variedades con mayor peso y tamaño de semilla tienden a acumular mayor cantidad de materia seca en las primeras etapas de desarrollo de la planta, mientras que

variedades con menor peso de mil semillas tienden a presentar menor longitud de coleóptilo y mayor velocidad de emergencia.

Las variedades Tlaxcala F2000, Sokoll y Berkut fueron las más estables en cuanto a la velocidad de emergencia; Temporalera M87, Rebeca F2000 y Weebill 1 lo fueron para longitud de coleóptilo y Berkut, Sokoll, Kambara 1 y Juchi F2000 fueron para longitud de plántula.

En los efectos de la interacción genotipo x ambiente, las variedades Temporalera M87, Rebeca F2000, Kambara 1 y Weebill 1 a profundidad de siembra de 9 y 3 cm con un tamaño chico de semilla fueron las que presentaron mayor interacción para velocidad de emergencia, mientras que para peso seco de plántula lo fue el ambiente profundidad de siembra a 3 cm con tamaño chico de semilla en las variedades Weebill 1, Romoga F96 y Juchi F2000; y en la variable longitud de plántula, la mayor interacción se dio con el ambiente siembra a 9 cm con tamaño grande de semilla y con las variedades Náhuatl F2000 y Tlaxcala F2000 y el más estable fue el ambiente profundidad a 6 cm con tamaño grande con la variedad Kambara 1.

LITERATURA CITADA

- Amthor, J. S. and McCree, K. J. 1990. Carbon balance of stressed plants a conceptual model for integrating research results. *In*: Alscher, R. G. and Cumming, R. J. (eds.). The Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms. Wiley-Liss. New York, NY, USA. p. 1-15.
- Artola, A.; Carrillo C., G. and Garcia de los Santos, G. 2002. Hydropriming: strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. *Seed Sci. Technol.* 31:455-463.
- Baalbaki, R. Z. and Copeland, L. O. 1997. Seed size, density and protein content effects on field performance of wheat. *Seed Sci. Technol.* 25:511-521.
- Bai, G. H.; Das, M. K.; Carver, B. F.; Xu, X. Y. and Krenzer, E. G. 2004. Covariation for microsatellite marker alleles associated with *Rht8* and coleoptile length in winter wheat. *Crop Sci.* 44(4):1187-1194.
- Botwright, T. L.; Rebetzke, G. J.; Condon, A. G. and Richards, R. A. 2001. Influence of variety, seed position and seed source on screening for coleoptile length in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 119(3):349-356.
- Chastain, T. G.; Ward, K. J. and Wysocki, D. J. 1995. Stand establishment responses of soft white winter wheat to seedbed residue and seed size. *Crop Sci.* 35:213-218.
- Dios, C. de; Puig, R. y Robutti J., L. 1992. Tipificación de maíces por algunos caracteres de sus granos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. República Argentina. 12 p. (Informe Técnico No. 265).
- Ferguson, J. 1995. An introduction to seed vigor testing. *In*: Seed vigor testing seminar. Zurich: International Seed Testing Association. Copenhagen Denmark. p. 1-9.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1999. International rules for seed testing. *Seed Sci. Technol.* 27 suplement. 288 p.
- Khan, M. A. H.; Islam, M. A. and Sarker, M. Y. 2002. Effect of sowing method and depth of sowing on the yield and yield component of wheat. *Bangladesh J. Train. Develop.* 15(1/2):157-162.
- Mandal, A. K. de and Basu, R. N. 2003. Seed invigoration treatment on different seed size of wheat (*Triticum aestivum* L.) for improved storability and field performance. *Seed Sci. Technol.* 31:379-388.
- Moreno M., E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. México, D.F., México. 383 p.
- Poehlman, J. M. 1987. Mejoramiento de las cosechas. Ediciones Ciencia y Técnica. México, D.F., México. p. 71.
- Rebetzke, G. J.; Appels, R.; Morrison, A. D.; Richards, R. A.; McDonald, G.; Ellis, M. H.; Spielmeyer, W. and Bonnett, D. G. 2001. Quantitative trait loci on chromosome 4B for coleoptile length and early vigor in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Aust. J. Agric. Res.* 52(11/12):1221-1234.
- Rebetzke, G. J.; Richards, R. A.; Sirault, X. R. and Morrison, A. D. 2004. Genetic analysis of coleoptile length and diameter in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 55(7):733-743.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2004. Anuario estadístico de producción y comercialización de trigo. [En línea].

- Disponble en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comfichados.html. (Revisado el 28 diciembre de 2004).
- Shie, W. J. and McDonald, M. B. 1982. The influence of seed size, shape and treatment on inbred seed corn quality. *Seed Sci. Technol.* 10:307-313.
- Statistic Analysis Systems Institute (SAS Institute). 1996. SAS user's guide: Statistics. Version 6.12. SAS Institute. Cary, NC., USA.
- Trethowan, R. M.; Singh, R. P.; Huerta E., J.; Crossa, J. and Ginkel, M. van 2001. Coleoptile length variation of near-isogenic *Rht* lines of modern CIMMYT bread and durum wheat's. *Field Crop Res.* 70:167-176.
- Vargas H., M. y Crossa, J. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del biplot en SAS. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Unidad de Biometría. México, D.F. [En línea]. Disponible en: <http://www.cimmyt.cgiar.org/biometrics>. (Revisado el 13 julio de 2003).
- Yan, W.; Hunt, L. A.; Sheng, Q. and Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 3:597-605.