



Revista Mexicana de Fitopatología

ISSN: 0185-3309

mrlegarreta@prodigy.net.mx

Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C.

México

Valenzuela-Herrera, Víctor; Aguilar-Rincón, Víctor Heber; García-De los Santos, Gabino; Trethowan, Richard; Fuentes-Dávila, Guillermo

Herencia de la Resistencia a *Tilletia indica* (Mitra) del Sintético Hexaploide Ruff (*Triticum turgidum* L.)/*T. tauschii* (Coss.) Schmalh. x *Triticum aestivum* L.

Revista Mexicana de Fitopatología, vol. 24, núm. 2, julio-diciembre, 2006, pp. 122-128

Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C.

Texcoco, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61224206>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Herencia de la Resistencia a *Tilletia indica* (Mitra) del Sintético Hexaploide Ruff (*Triticum turgidum* L.)/*T. tauschii* (Coss.) Schmalh. x *Triticum aestivum* L.

**Víctor Valenzuela-Herrera, Víctor Heber Aguilar-Rincón, Gabino García-De los Santos**, Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, km 36.5 Carr. México-Texcoco, Montecillo, Edo. de México CP 56230; **Richard Trethowan**, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, km 45 Carr. México-Veracruz, El Batán, Texcoco, Edo. de México CP 56130; y **Guillermo Fuentes-Dávila**, INIFAP, Campo Experimental Valle del Yaqui, Apdo. Postal 515, km 12 Norman E. Bourlaug, entre 800 y 900 Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora, México CP 85000. Correspondencia: vicvalenzuela@mexico.com

(Recibido: Marzo 6, 2006    Aceptado: Junio 6, 2006)

Valenzuela-Herrera, V., Aguilar-Rincón, V.H., García-De los Santos, G., Trethowan, R. y Fuentes-Dávila, G. 2006. Herencia de la resistencia a *Tilletia indica* (Mitra) del sintético hexaploide ruff (*Triticum turgidum* L.)/*T. tauschii* (Coss.) Schmalh. x *Triticum aestivum* L. *Revista Mexicana de Fitopatología* 24:122-128.

**Resumen.** Se estudió la herencia de la resistencia al carbón parcial (*Tilletia indica*) en dos poblaciones de líneas haploides dobles de trigo. Las poblaciones se obtuvieron del programa de cruza amplia del CIMMYT, México, utilizando la técnica de polinización con maíz y rescate de pro-embryos. El sintético hexaploide Ruff/*T. tauschii* se utilizó como progenitor resistente y las variedades Opata M-85 y Ciano T-79 como progenitores susceptibles. Las poblaciones constaron de 146 líneas de la primera población y 104 de la segunda, las cuales fueron sembradas e inoculadas durante dos años de manera artificial en campo. Se realizaron dos fechas de siembra en el ciclo de cultivo 2003-2004 y tres en el 2004-2005. En cada ensayo se incluyeron los progenitores, así como el testigo susceptible WL-711. Las diferencias en los niveles de incidencia al carbón parcial entre líneas haploides dobles fueron altamente significativas y al menos cuatro de ellas mostraron 0% de infección en los dos ciclos de cultivo en las dos poblaciones. La variedad Opata M-85 mostró ser más resistente que la variedad Ciano T-79. La segregación de haploides dobles en resistentes y susceptibles indicó al menos dos genes de resistencia en la primera población y en la segunda de tres a cinco genes.

Palabras clave adicionales: Carbón parcial, carbón karnal, haploides dobles (HDs).

**Abstract.** Inheritance conferring resistance to partial bunt (*Tilletia indica*) was studied in two doubled-haploid

populations of wheat. These populations were produced by the wheat wide crossing program in CIMMYT, Mexico, using maize pollination and rescue of proembryos. The synthetic hexaploid Ruff/*T. tauschii* was used as a resistant parent and cultivars Opata M-85 and Ciano T-79 as susceptible ones. The first population consisted of 146 lines and the second 104; each population was planted and artificially inoculated in the field during two crop cycles. There were two planting dates in 2003-2004 and three in 2004-2005. Parents and the susceptible check WL-711 were included in each trial. Infection levels of karnal bunt were highly significantly different among the doubled-haploids, and at least four showed no infection across planting dates and years. Cultivar Opata M-85 was more resistant to karnal bunt than cv. Ciano T-79. Segregation of doubled-haploids into resistant and susceptible in population one indicated the presence of at least two genes for resistance, whereas population two indicated three to five.

Additional keywords: Partial bunt, karnal bunt, doubled-haploids (DHs).

El carbón parcial del trigo es una enfermedad causada por el hongo *Tilletia indica* [sin. *Neovossia indica* (Mitra) Mundkur], el cual afecta al grano generalmente en forma parcial. Esta enfermedad constituye un serio problema en algunas partes del mundo como en el noroeste de la India, Pakistán y el noroeste de México. Consecuentemente se han adoptado medidas cuarentenarias, las cuales afectan no sólo la producción sino también el mercado internacional (Brennan *et al.*, 1990) limitando el movimiento de germoplasma (Fuentes-Dávila, 1997). Debido a que el carbón parcial se disemina por semilla y a que se tiene cero tolerancia en niveles de infección, el control químico de la enfermedad con fungicidas durante

la floración en la producción de semilla resulta comercialmente impráctico (Fuentes-Dávila y Rajaram, 1994). Las teliosporas que se encuentran confinadas en la semilla, se liberan durante el proceso de la cosecha y trilla, pudiendo ser depositadas en el suelo, o adheridas a los granos sanos como contaminante externo. Las teliosporas recién formadas generalmente presentan bajos porcentajes de germinación (Bansal *et al.*, 1983; Smilanick *et al.*, 1985), y se considera que tienen un período de dormancia de varios meses; aunque también se ha reportado que las teliosporas en soros intactos y a varias profundidades en el suelo, se pueden mantener viables durante 27 a 45 meses (Krishna y Singh, 1982). Alta humedad relativa, temperaturas moderadas y lluvia durante la floración, favorecen el desarrollo de la enfermedad (Aujla *et al.*, 1977; Mundkur, 1943; Singh y Prasad, 1978). El desarrollo de variedades resistentes parece ser la mejor alternativa para el control de la enfermedad (Fuentes-Dávila, 1997; Singh *et al.*, 1993). Altos niveles de resistencia al carbón parcial se han reportado en trigo duro (Fuentes-Dávila *et al.*, 1992, 1993; Fuentes-Dávila y Ammar, 2006a), triticale (Fuentes-Dávila *et al.*, 1992, 1993; Fuentes-Dávila y Ammar, 2006b) y la especie silvestre *Triticum tauschii* (Coss.) Schmalh. (*Aegilops squarrosa* L.,  $2n = 2x = 14DD$ ) atribuido al cromosoma 6D (Gill *et al.*, 1981; Villarreal *et al.*, 1994). La variabilidad que presenta esta última especie ha sido utilizada a través de la producción de trigos sintéticos hexaploides (*Triticum turgidum* L. X *Triticum tauschii*) reconocidos como resistentes a la enfermedad (Mujeeb-Kazi y Hettel, 1995; Mujeeb-Kazi *et al.*, 2001b). La herencia de la resistencia al carbón parcial fue investigada en cruza de tres trigos sintéticos hexaploides Altar C84/*T. tauschii* (219), Chen/*T. tauschii* (224) y Duergand/*T. tauschii* (214) con dos trigos harineros susceptibles Seri M-82 y Opata M-85, postulándose que en conjunto existe un mínimo de tres genes presentes que confieren la resistencia (Villarreal *et al.*, 1995). La producción de líneas haploides dobles es un método rápido para obtener genotipos homocigotos en una sola generación a partir de heterocigotos de una cruce realizada (Steffenson *et al.*, 1995). Estos materiales pueden ser producidos utilizando varias técnicas biotecnológicas, como el cultivo de embriones inmaduros, cultivo de anteras, cruza interespecíficas, aplicación de reguladores de crecimiento y colchicina (Mujeeb-Kazi, 2000; Mujeeb-Kazi y Hettel, 1995; Snape, 1989). Poblaciones de haploides dobles de trigo y cebada (*Hordeum vulgare* L.) han sido utilizadas para estudios genéticos de resistencia a royas y carbones (Brammer *et al.*, 2004; Knox *et al.*, 1998; Steffenson *et al.*, 1995). En estudios de herencia de resistencia utilizando familias  $F_2$  ó  $F_3$ , la evaluación se dificulta por la diferente segregación que presentan, lo que complica la clasificación genotípica y la interpretación de resultados (Knox *et al.*, 1999). En el uso de líneas individuales, como haploides dobles o de descendencia uniseminal, las plantas son homocigóticas y pueden usarse de tal modo que la clasificación estará relacionada al mismo genotipo y así se puede probar mejor la reacción a las enfermedades, medir la

variabilidad y análisis genético (Mitchell *et al.*, 1992; Snape, 1988; Winzeler *et al.*, 1987). Trigos sintéticos hexaploides producidos en el programa de cruza amplias del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) han mostrado ser resistentes a diversos fitopatógenos como *Helminthosporium sativum* Pamm., King y Bakke, *Fusarium graminearum* Schwabe y *Tilletia indica* (Mujeeb-Kazi y Hettel, 1995). Dentro de los sintéticos producidos en CIMMYT, el hexaploide Ruff/*T. tauschii* ha mostrado resistencia al carbón parcial bajo inoculación artificial, por lo que el objetivo de este estudio fue determinar la herencia de la resistencia del sintético hexaploide Ruff/*T. tauschii* al carbón parcial a través de la formación de haploides dobles, derivados de la cruce del mismo sintético con dos trigos harineros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Germoplasma.** El sintético hexaploide resistente fue derivado de la cruce de la variedad cultivada de alto rendimiento Ruff y la accesión CW125760 de *T. tauschii* seleccionada del banco de germoplasma del CIMMYT. Como progenitores susceptibles se utilizaron las variedades Opata M-85 y Ciano T-79. La primera es una variedad de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) de gluten medio y de hábito de crecimiento primaveral, que se originó de la selección de poblaciones segregantes de la cruce TZPP/PL///7C/Jupateco. La segunda es una variedad de trigo harinero de gluten tenaz y de hábito de crecimiento primaveral, que se originó de poblaciones segregantes de la cruce BY/MAYA "S"/4/BB/HD832.5.5/ON/3/CON/PJ. Se utilizaron un total de 146 líneas haploides dobles (HDs) que fueron producidas por polinización con maíz y cultivo de embriones inmaduros a partir de la cruce del sintético hexaploide Ruff/*T. tauschii* por la variedad comercial susceptible Opata M-85 [Opata M85//Ruff/*Triticum tauschii*/3/maíz ( $2n = 6x = 42$ ; AABBDD)] designándose a la población como DHO/RAS CIGM92.770-0Y-0B, mientras que con la variedad comercial susceptible Ciano T-79 se produjeron 104 [Ciano T-79//Ruff/*Triticum tauschii*/3/maíz ( $2n = 6x = 42$ ; AABBDD)] designándose a la población como DHC/RAS CIGM92.676-0Y-0B. Estos materiales HDs fueron obtenidos en el programa de cruza amplias del CIMMYT siguiendo el protocolo de Kisana *et al.* (1993) con modificaciones hechas por Mujeeb-Kazi *et al.* (2001a) (Fig. 1). La variedad WL-711, altamente susceptible al carbón parcial se utilizó como testigo.

**Inoculación y evaluación de la enfermedad.** Las líneas HDs, progenitores y testigo susceptible se sembraron en surcos de 1 m a doble hilera con una separación entre surcos de 80 cm. Se realizaron dos fechas de siembra (14 de noviembre y 5 de diciembre) durante el ciclo de cultivo otoño-invierno 2003-2004 y tres fechas de siembra (12 y 22 de noviembre y 7 de diciembre) durante el ciclo de cultivo otoño-invierno 2004-2005 en el Campo Experimental Valle del Yaqui, INIFAP-CIMMYT, Sonora, México. Para la inoculación artificial se utilizó una suspensión de esporidios alantoides a una concentración de 10,000/mL, los cuales se obtuvieron de

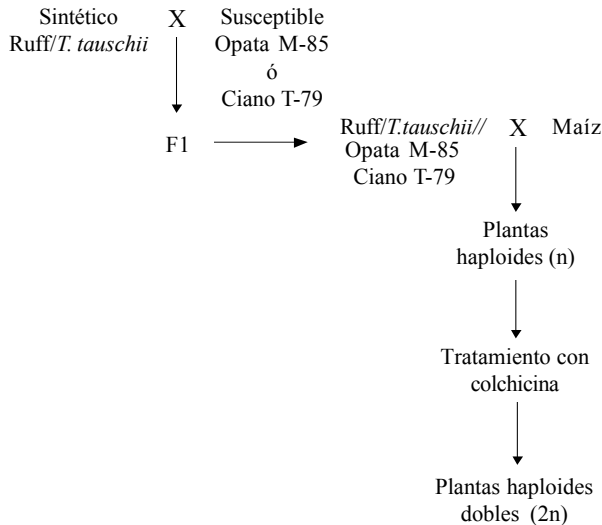


Fig. 1. Esquema para la obtención de haploides dobles (HDs) de trigo de las cruces Opata M-85//Ruff/*Triticum tauschii*/3/maíz y Ciano T-79//Ruff/*Triticum tauschii*/3/maíz.

teliosporas de una colecta de granos infectados del programa de fitopatología en trigo del INIFAP-CIMMYT en Cd. Obregón, Sonora, germinadas en agar-agua (1.5%) y cultivadas en papa-dextrosa-agar. Se inoculó 1 mL de la suspensión antes mencionada a 10 espigas por entrada siguiendo el método de inyección de Chona *et al.* (1961), modificado por Fuentes-Dávila *et al.* (2001) en la etapa de embuche (estado 49) de acuerdo a la escala de Zadoks *et al.* (1974). Las inoculaciones se realizaron durante los meses de enero, febrero y marzo de cada ciclo de cultivo conforme las líneas alcanzaban su etapa de embuche. Las espigas seleccionadas se marcaron con una etiqueta roja para identificarlas y registrar su fecha de inoculación. Se mantuvo una humedad relativa óptima utilizando un sistema de aspersión para proveer una ligera brisa y facilitar el desarrollo de la enfermedad. Al momento de la madurez, estado 94 (Zadoks *et al.*, 1974), las espigas inoculadas de cada línea, progenitores y del testigo fueron cosechadas por separado de manera manual. Se calculó el porcentaje de infección de cada línea contando el número de semillas sanas e infectadas de forma visual (Fuentes-Dávila *et al.*, 1995).

**Análisis estadístico.** En cada ensayo, los datos número de semillas infectadas, número de semillas sanas y total de semillas de cada línea se sometieron a un análisis de varianza en forma binomial para estimar las diferencias entre HDs utilizando el procedimiento LOGISTIC GENMOD ANOVA del programa SAS (Litell *et al.*, 2002). Con el fin de explicar las diferencias en incidencia de una misma línea entre las fechas de siembra se aplicó el modelo de Jhorar *et al.* (1992) a los datos de humedad relativa diaria y temperatura máxima de la estación meteorológica Block 910 CIANO, para determinar el índice de riesgo de incidencia en los días que se efectuó la

inoculación artificial. Para la determinación del número de genes de resistencia, las líneas HDs se agruparon en susceptibles (líneas con valor de incidencia igual o mayor al progenitor susceptible) y resistentes (líneas con valor de incidencia menor al progenitor susceptible) en cada fecha de siembra para formar dos grupos: uno de la clase homocigoto susceptible y otro homocigoto resistente en cada población. Se realizó un análisis cuantitativo a través de la prueba de  $X^2$  para comparar las distribuciones esperadas y observadas entre los dos grupos anteriores de cada población.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El nivel de incidencia del carbón parcial en el sintético hexaploide resistente utilizado en este estudio en los dos ciclos de evaluación fue de 0 a 4.09%; en otros trabajos como el de Multani *et al.* (1988), donde se utilizó un sintético con igual genotipo tetraploide (Ruff/*T. tauschii* 3745), se registró un nivel de 0%, pero sólo a partir en ocho espigas de una sola fecha de siembra y un sólo año. En el presente estudio, un decremento en los niveles de infección de todos los genotipos se produjo en la segunda fecha de siembra del 2004, sobre todo en Ciano T-79, lo que causó que la clasificación disminuyera ligeramente en la proporción de resistentes (Fig. 2). La variedad Opata M-85 utilizada como susceptible en la población DHO/RAS en este estudio, mostró diferencias en los niveles de infección en las dos fechas de siembra del ciclo 2003-2004; de la misma manera, líneas inoculadas el mismo día de la segunda fecha de siembra tuvieron por lo general una reducción en los niveles de infección comparadas con las inoculaciones correspondientes a la primera fecha de siembra (Cuadro 1). De acuerdo con Singh *et al.* (1993), lo anterior se puede explicar debido a que el carbón parcial es una enfermedad errática en las áreas de incidencia, que depende en gran medida de las condiciones ambientales prevalecientes en la etapa de espigamiento-floración. Ejemplo de esto es la diferencia en incidencia que se presentó en los ciclos de cultivo 1984-1985 y 1986-1987 en el Valle del Yaqui, donde 70% de los muestreos de cosecha resultaron positivos en el primer ciclo, mientras que en el segundo sólo 0.35% tuvieron granos con algún grado de infección (Fuentes-Dávila y Hettel, 1991). Las diferencias antes mencionadas en el presente estudio de la segunda fecha de siembra, podrían atribuirse principalmente a las temperaturas que se presentaron al momento de la inoculación, ya que según Figueroa-López (2004), para el Valle del Yaqui, Sonora, días con clima seco y cálido a las 4:00 pm durante febrero y marzo no son favorables para el desarrollo de la enfermedad; durante las inoculaciones llevadas a cabo en la segunda fecha de siembra, un notable incremento de las temperaturas máximas fue registrado del 16 al 19 de febrero del 2004 fluctuando entre los 28.9 y 33°C, lo que podría explicar las diferencias de incidencia de la enfermedad dentro de una misma línea. El análisis de varianza de la reacción a la enfermedad de las líneas haploides dobles y sus progenitores en las dos poblaciones mostraron diferencias significativas ( $P < 0.001$ ),

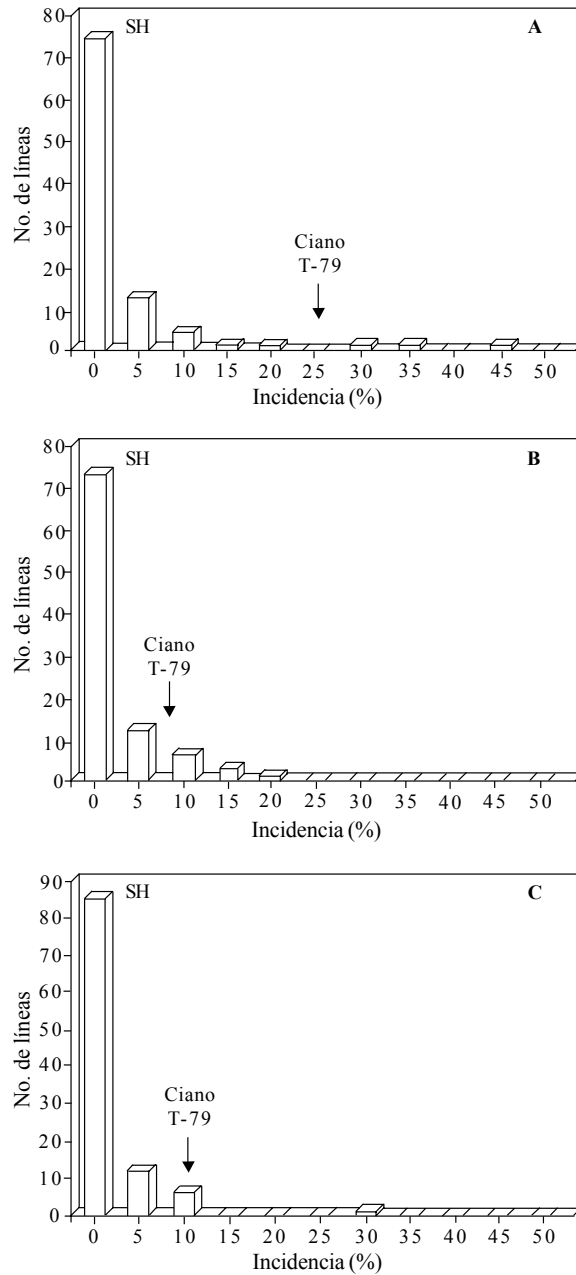


Fig. 2. Distribución de la incidencia del carbón parcial (*Tilletia indica*) en líneas haploides dobles de Ciano T-79 x sintético hexaploide (SH) Ciano//Ruff/*Triticum tauschii* (DHC/RAS). A. Primera fecha de siembra del ciclo de cultivo 2003-2004. B. Segunda fecha de siembra del ciclo de cultivo 2003-2004. C. Primera fecha de siembra del del ciclo de cultivo 2004-2005.

expresando un mayor efecto en las dos primeras fechas de siembra de cada ciclo. Con el fin de apreciar la separación entre HDs homocigotos resistentes y homocigotos susceptibles de las dos poblaciones, se formó una distribución de frecuencia con clases de amplitud del 5% de

Cuadro 1. Incidencia de carbón parcial (*Tilletia indica*) en seis líneas de la población de haploides dobles DHO/RAS con mismo día de inoculación en ambas fechas de siembra del ciclo 2003-2004.

Entrada	1 <sup>a</sup> . fecha de siembra		2 <sup>a</sup> . fecha de siembra	
	Infección (%)	FI <sup>x</sup>	Infección (%)	FI <sup>x</sup>
2	9.06	26-Ene-04	4.1	16-Feb-04
8	3.34	26-Ene-04	0	16-Feb-04
78	7.12	28-Ene-04	2.89	16-Feb-04
82	10.28	19-Ene-04	2.81	16-Feb-04
104	1.84	19-Ene-04	0	16-Feb-04
126	6.87	26-Ene-04	0.36	16-Feb-04
Opata <sup>y</sup>	5.18	26-Ene-04	0	16-Feb-04
WL-711 <sup>z</sup>	22.25	26-Ene-04	0.41	16-Feb-04

<sup>x</sup>Fecha de inoculación.

<sup>y</sup>Progenitor susceptible.

<sup>z</sup>Testigo.

incidencia (Figs. 2 y 3). Los resultados en fechas donde el progenitor susceptible tuvo niveles de infección bajos, ocasionaron que no fuera posible separar los haploides dobles en resistentes y susceptibles debido a probables escapes a la enfermedad. El análisis de X<sup>2</sup> en las líneas de la población DHO/RAS mostró, un tipo de segregación que se ajusta a una relación de 3:1 ó 5:3 resistente:susceptible indicando en el primer caso dos genes de resistencia y en el segundo tres genes con dos en forma complementaria (Cuadro 2). Una proporción 3 resistentes (heterocigotos y homocigotos resistentes): 1 susceptible (homocigotos susceptibles) fue obtenida por Villarreal *et al.* (1995) cuando utilizó durante un solo ciclo de cultivo los promedios de granos infectados en líneas F<sub>3</sub> de la cruce del sintético hexaploide Chen/*T. tauschii*(205) y Chen/*T. tauschii*(224) por la variedad susceptible Opata M-85 postulando un gen de resistencia; sin embargo, al cruzar el sintético Duerland/*T. tauschii* (219) con la misma variedad, obtuvo una relación de 9 resistente: 3 susceptible postulando para una población F<sub>3</sub>, la existencia de un gen independiente y dos genes complementarios para la resistencia. Con relación al estudio de la población DHC/RAS, los segregantes estuvieron distribuidos en proporciones de 7:1 y 31:1 resistente:susceptible, mismas que suponen la posible segregación de tres genes para la primera y de cinco genes para la segunda (Cuadro 3). El progenitor susceptible Ciano T-79 tuvo un nivel de incidencia máximo de 26.16%; aún si éste hubiese tenido una reducción de la tercera parte en el porcentaje de infección, toda la población se ajustaría a una proporción 7:1, tal como sucedió en la segunda fecha de siembra del 2004. Las variaciones en las proporciones dentro de una misma población ya han sido reportadas de diferente forma en trabajos anteriores; Knox *et al.* (1998) por ejemplo, analizaron repetidamente una población de líneas de haploides dobles para la resistencia al carbón apestoso [*Tilletia caries* (DC.) Tul. y C. Tul.] en una cámara de crecimiento y en condiciones de campo, obteniendo las proporciones 1:1 y 1:3 entre resistentes: susceptibles, respectivamente, atribuyendo la variación a las diferentes condiciones que se presentan en

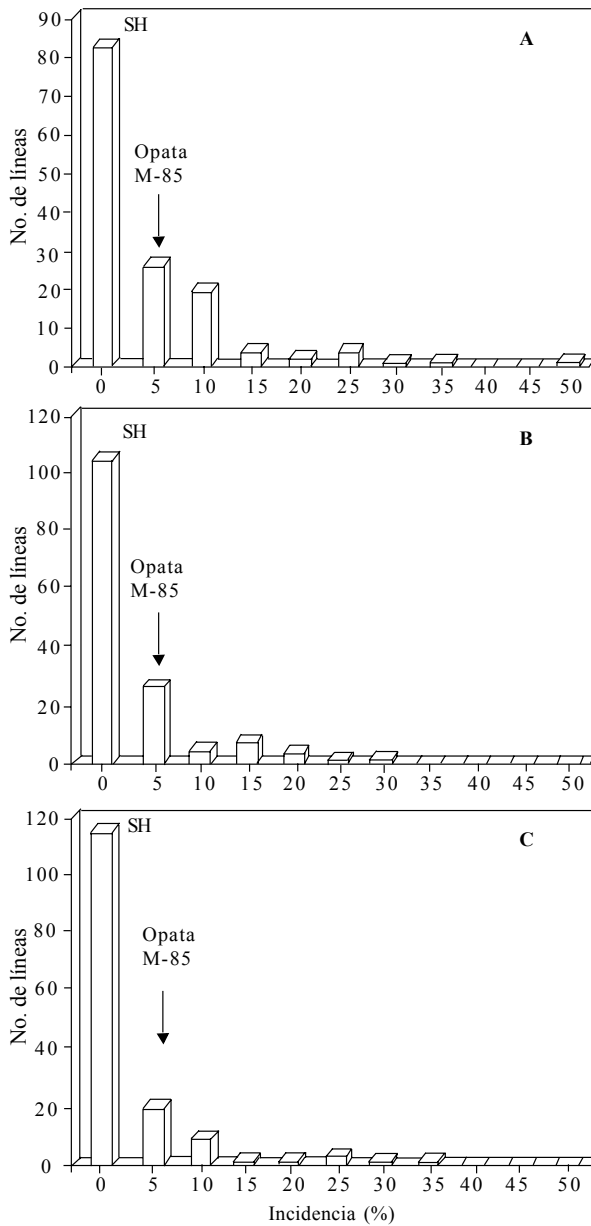


Fig. 3. Distribución de la incidencia del carbón parcial (*Tilletia indica*) en líneas haploides dobles de Opata x sintético hexaploide (SH) OpataM85//Ruff/*Triticum tauschii* (DHO/RAS). A. Primera fecha de siembra del ciclo de cultivo 2003-2004. B. Primera fecha de siembra del ciclo de cultivo 2004-2005. C. Segunda fecha de siembra del ciclo de cultivo 2004-2005.

campo. Con relación a lo anterior, las proporciones en el presente estudio podrían variar por clasificaciones erróneas debido a que por lo errático de la enfermedad pueden presentarse escapes; sin embargo, es de resaltar que de las diferentes formas analizadas algunas proporciones se repiten de manera constante. Las poblaciones de HDs producidas

Cuadro 2. Segregación de líneas haploides dobles divididas en resistentes y susceptibles al carbón parcial (*Tilletia indica*) de la población DHO/RAS.

Población	No. de líneas		Proporción esperada	X <sup>2</sup>	Probabilidad
	Resist.	Suscept.			
DHO/RAS	85	59	5:3	0.739	0.38
1ª Fecha de siembra ciclo 2003-2004					
DHO/RAS	112	34	3:1	0.228	0.63
1ª Fecha de siembra ciclo 2004-2005					
DHO/RAS	119	26	3:1	3.86	0.049
2ª Fecha de siembra ciclo 2004-2005					

por cultivo de anteras podrían tener la limitante de mostrar las frecuencias génicas alteradas por variación somaclonal o especificidad genotípica (Picard, 1989). No obstante, Laurie y shape (1990) encontraron que el desarrollo de HDs utilizando polen de maíz y rescate de embriones, tal como se obtuvieron los materiales empleados en este estudio, no causan las anomalías antes mencionadas, de aquí que Knox *et al.* (1998) recomiendan este método como una forma de minimizar los problemas que se tienen al hacer la clasificación errónea entre resistentes y susceptibles. El número de haploides dobles obtenidos entre susceptibles y resistentes en estudios genéticos no necesariamente tienen que ser grandes, pero sí de un tamaño suficientemente apropiado para distinguir la acción de uno o más genes. Debido a la ausencia de heterocigosis, la raíz cuadrada de una población convencional F<sub>2</sub>, (v1024) es equivalente a utilizar 32 haploides dobles para identificar un mínimo de cinco genes (Brammer *et al.*, 2004), por lo que el número de HDs en este estudio podría considerarse aceptable. En las dos poblaciones analizadas en este trabajo, es evidente que parte de las líneas de HDs clasificadas presentan valores que sobrepasan a sus progenitores, tanto de carácter resistente como susceptible siendo más notorio en la proporción correspondiente a la población DHO/RAS, lo que podría deberse a una

Cuadro 3. Segregación de líneas haploides dobles divididas en resistentes y susceptibles al carbón parcial (*Tilletia indica*) de la población DHC/RAS.

Población	No. de líneas		Proporción esperada	X <sup>2</sup>	Probabilidad
	Resist.	Suscept.			
DHC/RAS	94	2	31:1	0.343	0.55
1ª fecha de siembra ciclo 2003-2004					
DHC/RAS	85	9	7:1	0.735	0.39
2ª fecha de siembra ciclo 2003-2004					
DHC/RAS	98	5	31:1	1.0156	0.31
1ª fecha de siembra ciclo 2004-2005					

segregación transgresiva o a que como lo indican Nelson *et al.* (1998) y Singh *et al.* (1995), a genes suprimidos en el sintético hexaploide. En este último caso, el número de genes de resistencia determinados en este estudio podría variar por los genes supresores y/o por una clasificación diferente en las proporciones entre HDs resistentes y susceptibles. Es conocido que existen genes de resistencia provenientes de *T. tauschii* a factores bióticos como el carbón parcial en trigos sintéticos hexaploides (Mujeeb-Kazi y Hettel, 1995); así mismo, los trigos duros o cristalinos presentan un alto grado de resistencia a la enfermedad (Fuentes-Dávila *et al.*, 1992; 1993); por lo que *T. tauschii* y *T. turgidum* podrían estar contribuyendo a la resistencia. Los resultados basados en la segregación de las líneas HDs indican en este estudio que podrían postularse un mínimo de dos genes de resistencia presentes en el trigo sintético hexaploide Ruff/*T. tauschii*.

**Acknowledgements.** This work was supported by the Grains Research and Development Corporation, Australia. The authors also express their thanks to Dr. Abdul Mujeeb-Kazi for providing the two double haploid populations.

#### LITERATURACITADA

- Aujla, S.S., Sharma, Y. R., Chand, K., and Sawney, S.S. 1977. Influence of weather factors on the incidence and epidemiology of Karnal bunt disease of wheat in the Punjab. *Indian Journal of Ecology* 4:71-74.
- Bansal, R., Singh, D.V., and Joshi, L.M. 1983. Germination of teliospores of Karnal bunt of wheat. *Seed Research* 11:258-261.
- Brammer, S.P., Moraes-Fernandes, M.I.B., Barcillos, A.L., and Milach, S.C.K. 2004. Genetic analysis of adult-plant resistance to leaf rust in a doubled haploid wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell) population. *Genetics and Molecular Biology* 27:432-436.
- Brennan, J.P., Warham, E.J., Hernandez, J., Byerlee, D., and Coronel, F. 1990. Economic Losses from Karnal bunt of wheat in Mexico. CIMMYT Economic Working Paper 90/02.
- Chona, B.L., Munjal, R.L., and Adlhaka, K.L. 1961. A method for screening wheat plants for resistance to *Neovossia indica*. *Indian Phytopathology* 14:99-101.
- Figueroa-López, P. 2004. Pronóstico de la incidencia del carbón parcial del trigo en el Valle del Yaqui para los años 2003 y 2004. pp. 81-82. Memoria Día del Agricultor 2004. Publicación Especial No. 11. Abril 2004. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle del Yaqui. Cd. Obregón, Sonora, México. 92 p.
- Fuentes-Dávila, G. 1997. Carbón Parcial del trigo: Situación actual y perspectivas. pp. 105-118. En: Primer Simposio Internacional del Trigo. Cd. Obregón, Sonora, México. 203 p.
- Fuentes-Dávila, G., and Ammar, K. 2006a. Evaluation of elite durum wheat genotypes for resistance to karnal bunt under artificial field inoculation in the Yaqui valley, Sonora, Mexico, during the crop cycle 2004-2005. *Annual Wheat Newsletter* 52:85-87.
- Fuentes-Dávila, G., and Ammar, K. 2006b. Evaluation of elite triticale (*X Triticosecale*) genotypes for resistance to karnal bunt under artificial field inoculation in the Yaqui valley, Sonora, Mexico, during the crop cycle 2004-2005. *Annual Wheat Newsletter* 52:89-91.
- Fuentes-Dávila, G. y Hettel, G.P. 1991. Estado actual de la investigación sobre el carbón parcial en México. Reporte especial de trigo No. 7. CIMMYT, México. 41 p.
- Fuentes-Dávila, G., and Rajaram, S. 1994. Sources of resistance to *Tilletia indica* in wheat. *Crop protection* 13:20-24.
- Fuentes-Dávila G., Rajaram S., Pfeiffer W.H., and Abdalla O. 1992. Results of artificial inoculation of the 4th Karnal Bunt Screening Nursery (KBSN). *Annual Wheat Newsletter* 38:157-162.
- Fuentes-Dávila, G., Rajaram, S., Pfeiffer, W.H., Abdalla, O., Van-Ginkel, M., Mujeeb-Kazi, A. y Rodríguez, R. 1993. Resultados de inoculaciones artificiales del 5° vivero de selección para resistencia a *Tilletia indica* Mitra. *Revista Mexicana de Micología* 9:57-65.
- Fuentes-Dávila, G., Rajaram, S., and Singh, G. 1995. Inheritance of resistance to karnal bunt (*Tilletia indica* Mitra) in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Breeding* 114:250-252.
- Fuentes-Dávila, G., Rajaram, S. y Van-Ginkel, M. 2001. La inoculación artificial: una herramienta eficiente para la selección de germoplasma resistente a carbón parcial. *Memorias del XXVIII Congreso Nacional de Fitopatología. Sociedad Mexicana de Fitopatología. Querétaro, Querétaro, México. Resumen, F-2.*
- Gill, K.S., Randhawa, A.S., Aujla, S.S., Dhalilwal, H.S., Grewal, A.S., and Sharma, I. 1981. Breeding wheat varieties resistant to karnal bunt. *Crop Improvement* 8:73-80.
- Jhorar, O.P., Mavi, H.S., Sharma, I., Mahi, G.S., Mathauda, S.S., and Singh, G. 1992. A biometeorological model for forecasting karnal bunt disease of wheat. *Plant Disease Research* 7:204-209.
- Kisana, N.S., Nkongolo, K.K., Quick, J.S., and Jonson, D.L. 1993. Production of doubled haploids by anther culture and wheat x maize method in a wheat breeding programme. *Plant Breeding* 110:96-102.
- Knox, R.E., Fernandez, M.R., Bru'lé-Babel, A.L., and De Pauw, R.M. 1998. Inheritance of common bunt resistance in androgenetically derived doubled haploid and random inbred populations of wheat. *Crop science* 38:1119-1124.
- Knox, R.E., Fernandez, M.R., Bru'lé-Babel, A.L., and De Pauw, R.M. 1999. Inheritance of loose smut (*Ustilago tritici*) resistance in two hexaploid wheat (*Triticum aestivum*) lines. *Canadian Journal of Plant Pathology* 21:174-180.
- Krishna, A., and Singh, R.A. 1982. Investigation on the disease cycle of karnal bunt of wheat. *Indian Journal of Mycology and Plant Pathology* 12:124.
- Laurie, D.A., and Snape, J.W. 1990. The agronomic

- performance of wheat doubled haploid lines derived from wheat x Maize crosses. *Theoretical Applied Genetics* 79:813-816.
- Littell, R.C., Stroup, W.W., and Freud, R.J. 2002. SAS® for linear Models. Fourth Edition. Carv. NC. SAS Institute Inc. 466 p.
- Mitchell, M.J., Busch, R.H., and Rines, H.W. 1992. Comparison of lines derived by anther culture and single-seed descent in a spring wheat cross. *Crop science* 32:1446-1451.
- Mujeeb-kazi, A. 2000. Analysis of the use of haploid in wheat improvement. pp. 33-48. In: M.M. Kohli, and M. Francis (eds). *Application of Biotechnologies to Wheat Breeding*. CIMMYT-INIA. La Estanzuela Uruguay. 175 p.
- Mujeeb-kazi, A., Cano, S., Rosas, V., Delgado, R., Sanchez, J., and Juarez, L. 2001a. Maize mediated haploid production in bread wheat: Current status, constraints, and modifications. *Annual Wheat Newsletter* 467:116-117.
- Mujeeb-kazi, A., Fuentes-Dávila, G., Villarreal, R.L., Cortes, A., Rosas, V., and Delgado, R. 2001b. Registration of 10 synthetic hexaploide wheat and six bread wheat germplasms resistant to karnal bunt. *Crop science* 41:1652-1653.
- Mujeeb-kazi, A., and Hettel, G.P. 1995. Utilizing wild grass biodiversity in wheat improvement: 15 years of wide cross research at CIMMYT. CIMMYT Research Report No. 2. Mexico, D.F. CIMMYT. 140 p.
- Multani, D.S., Dhaliwal, H.S., Sing., P., and Gill, K.S. 1988. Synthetic amphiploids of wheat as a source of resistance to karnal bunt (*Neovossia indica*). *Plant Breeding* 101:122-125.
- Mundkur, B.B. 1943. Karnal bunt, an air-borne disease. *Current Science* 12:230-231.
- Nelson, J.C., Autrique, J.E., Fuentes-Dávila, G., and Sorrells, M.E. Chromosomal location of genes for resistance to karnal bunt in wheat. 1998. *Crop Science* 38:231-236.
- Picard, E. 1989. The male gamete as a tool in the genetic improvement of cereals. *Genome* 31:1005-1013.
- Singh, A., and Prasad, R. 1978. Date of sowing and meteorological factors in relation to occurrence of Karnal bunt of wheat in U.P. Tarai. *Indian Journal of Mycology and Plant Pathology* 8:2.
- Singh, G.K., Sharma, I., and Aujla, S.S. 1993. *Karnal Bunt and Wheat Production*. Punjab Agricultural University. Ludhiana, Punjab, India. 153 p.
- Singh, G., Rajaram, S., Montoya, J., and Fuentes-Dávila, G. 1995. Genetic analysis of karnal bunt and wheat genotypes. *Plant Breeding* 114:439-441.
- Smilanick, J.L., Hoffmann, J.A., and Royer, M.H. 1985. Effect of temperature, pH, light, and desiccation on teliospore germination of *Tilletia indica*. *Phytopathology* 75:1428-1431.
- Snape, J.W. 1988. The detection and estimation of linkage using doubled haploid or single seed descent populations. *Theoretical Applied Genetics* 76:125-128.
- Snape, J.W. 1989. Doubled haploid breeding: Theoretical basis and practical applications. pp-19-30. In: A. Mujeeb-Kazi, and L.A. Sitch (eds.). *Review of Advances in Plant Biotechnology, 1985-88*. CIMMYT/IRRI, Mexico, D.F., Mexico, Manila, Philippines. 328 p.
- Steffenson, B.J., Jin, Y., Rosnagel, B.G., Rasmussen, J.B., and Kao, K. 1995. Genetics of multiple disease resistance in a doubled haploid population of barley. *Plant Breeding* 114:50-54.
- Villarreal, R.L., Fuentes-Dávila, G., Mujeeb-kazi, A., and Rajaram, S. 1995. Inheritance of resistance to *Tilletia indica* (Mitra) in synthetic hexaploid wheat x *Triticum aestivum* crosses. *Plant Breeding* 114:547-548.
- Villarreal, R.L., Mujeeb-kazi, A., Fuentes-Dávila, G., Rajaram, S., and Del Toro, E. 1994. Resistant to karnal bunt (*Tilletia indica* Mitra) in synthetic hexaploids wheat derived from *Triticum turgidum* x *T. tauschii*. *Plant Breeding* 112:63-69.
- Winzler, H.J., Schmid, and Fried, P.M. 1987. Field performance of androgenetic doubled haploid spring wheat lines in comparison with lines selected by the pedigree system. *Plant Breeding* 99:41-48.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., and Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14:415-421.