

GENÉTICA DE LA RESISTENCIA A ROYA DE LA HOJA (*Puccinia triticina* E.) EN LÍNEAS ELITE DE TRIGO DURO

GENETICS OF LEAF RUST RESISTENCE (*Puccinia triticina* E.) IN ELITE DURUM WHEAT LINES

Luis Antonio Mariscal Amaro¹, Santos G. Leyva Mir^{1*},
Julio Huerta Espino² y Eduardo Villaseñor Mir²

¹ Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Carr. México-Texcoco, Km. 38.5. 56230, Chapingo, Edo. de México. Tel: 01 (595) 952-1500 Ext. 6179. ² Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Apdo. Postal 10. 56230, Chapingo, Edo. de México.

*Autor para correspondencia (santos1@taurus.com)

RESUMEN

Para determinar la genética de la resistencia en tres genotipos de trigo duro (*Triticum turgidum* var. *durum*) resistentes a la raza BBG/BN de roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.), se hicieron cruces de genotipos susceptible x resistentes y resistentes x resistentes, al usar como susceptible a 'Atil C2000'. La segregación de las progenies en la generación F₃ indicó que los genotipos resistentes 'Syria 1740' y 'CMH82A.1062' poseen dos genes dominantes complementarios (1:8:7) que condicionan la resistencia. La segregación de una familia resistente, dos familias segregantes, una familia susceptible (1:2:1) en el cultivar 'Creso' indicó que la resistencia fue conferida por un gen dominante. En las cruces resistentes x resistentes se observó que en 'Syria 1740' x 'Creso' y 'Creso' x 'CMH82A.1062', las proporciones de cada cruce se ajustaron a la proporción fenotípica 63:1, que indica que la resistencia está condicionada por tres genes dominantes independientes en ambos casos, lo que sugiere que los genes de ambos progenitores segregaron independientemente en cada cruce. Tanto 'Syria 1740' como 'CMH82A.1062' al ser cruzados con 'Atil C2000' exhibieron dos genes dominantes complementarios que condicionan la resistencia. Por la ausencia de familias homocigóticas susceptibles en la cruce de 'Syria 1740' x 'CMH82A.1062', se infiere que los genes que poseen ambos progenitores son los mismos.

Palabras clave: *Triticum turgidum* var. *durum*, *Puccinia triticina* E., resistencia en planta adulta, genes dominantes complementarios.

SUMMARY

Crosses between susceptible x resistant and resistant x resistant genotypes were carried out. the genetic resistance in three durum wheat (*Triticum turgidum* var. *durum*) genotypes resistant to BBG/BN leaf rust strain (*Puccinia triticina* E.), 'Atil C2000' was used as a susceptible genotype. The segregation of the F₃ generation indicated that 'Syria 1740' and 'CMH82A.1062' resistant genotypes possess two complementary dominant genes (a ratio of one resistant family to eight segregant families to seven susceptible families). The segregation

of one resistant family (1:2:1) to two segregant families to one susceptible family in the 'Creso' cultivar indicated that the resistance was conferred by a single dominant gene. In the resistant x resistant 'Syria 1740 x Creso' and 'Creso x CMH82A.1062' crosses, the proportions of each one fit the phenotypic ratio of 63:1 thus indicating that the resistance was conditioned by three independent dominant genes in both cases. It was concluded that the genes of both parents segregated independently in each cross. In the 'Syria 1740 x CMH82A.1062' cross, susceptible homozygous families were not observed in the field. When 'Syria 1740' and 'CMH82A.1062' were crossed with 'Atil C2000', both exhibited two dominant complementary genes that conditioned the resistance, the lack of susceptible families in this cross suggested that the resistance genes carried by both progenitors are the same.

Index words: *Triticum turgidum* var. *durum*, *Puccinia triticina* E., adult plant resistance, complementary dominant genes.

INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum* spp.) es el cultivo más importante de los Estados Unidos y Canadá y crece en extensas zonas en casi todos los países de América Latina, Europa y Asia. Se estima que se ha cultivado desde hace más de 9 000 años, cuando surgió en el Valle del río Nilo, y que el trigo invernal entró a América cuando inmigrantes rusos lo trajeron a Kansas en 1873 (Curtis *et al.*, 2002).

La producción de trigo duro (*T. turgidum* var. *durum*) se concentra en el Medio Oriente y África del Norte, Estados Unidos, Canadá, Unión Soviética, Continente Asiático y Europa (Mediterráneo) (Cantrell, 1985). Ocupa casi 22 millones de hectáreas a nivel mundial y representa 10 % del área total sembrada con trigo (Bechere *et al.*, 2000).

En el Noroeste de México se cultiva en condiciones de riego, específicamente en los Valles del Yaqui y del Mayo en el Estado de Sonora, y en los Valles del Carrizo y del Fuerte en el Estado de Sinaloa (Singh *et al.*, 2004). En el ciclo agrícola 2003-2004 estas regiones produjeron 121 260 t de trigo duro, de las cuales 30 % se destinó para la industria, 47.5 % a exportación y 22.4 % a uso pecuario (AOASS, 2004).

En México, la roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.) es la enfermedad del trigo de mayor importancia económica e histórica, porque es la más distribuida e importante del Noroeste y Valles Altos y es común en las siembras de trigo en condiciones de temporal o secano, en las que causa pérdidas significativas que varían de 30 a 60 % según la variedad y las condiciones climáticas (Villaseñor *et al.*, 2003). En México el trigo duro permaneció altamente resistente a la roya de la hoja hasta 2001, cuando una nueva raza, designada como BBG/BN, fue detectada. Más de 80 % de toda la colección de trigos duros del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el cultivar mexicano más popular, ‘Altar C84’, que había permanecido resistente por más de 20 años, resultaron susceptibles a la nueva raza. Las epidemias por roya en trigos duros causadas por la raza BBG/BN durante 2001, 2002 y 2003 resultaron en pérdidas estimadas en 32 millones de dólares para los agricultores mexicanos (Singh *et al.*, 2004; Herrera *et al.*, 2005).

Desde el punto de vista económico y ambiental, la formación de variedades resistentes es la tecnología más efectiva para el control de roya de la hoja (Villaseñor *et al.*, 2003). Es importante el conocimiento de las bases genéticas de la resistencia contra la nueva raza de roya BBG/BN para mejorar la diversidad genética de la resistencia en el germoplasma de trigos duros del CIMMYT y en futuros cultivares de esta especie (Herrera *et al.*, 2005).

El objetivo de esta investigación fue determinar la herencia de la resistencia en planta adulta a la enfermedad causada por la roya de la hoja *P. triticina* E., raza BBG/BN, en líneas élite de trigos duros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se hicieron cruzamientos de materiales de trigo resistentes y susceptibles a la raza BBG/BN de roya de la hoja, durante el ciclo Otoño - Invierno 2004 en el Campo Agrícola Experimental Valle de México (CEVAMEX), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Chapingo, México 19° 29’ LN y 99° 53’ LO, a una altitud de 2250 m (García, 1981).

Material genético

Varietades. Todos los genotipos utilizados en el experimento, con excepción de ‘Atil C2000’, fueron seleccionados de entre 20 000 líneas aproximadamente, que por su origen poseen características de interés e importancia como nuevas fuentes de resistencia para los mejoradores de trigo duro (Cuadro 1). ‘Atil C2000’ se considera susceptible a la roya de la hoja con una severidad es de 100 % (Camacho *et al.*, 2000). ‘Syria 1740’, ‘Creso’ y ‘CMH82A.1062’ son genotipos resistentes a la raza BBG/BN de roya de la hoja.

Cuadro 1. Cruza e historia de selección de los progenitores de las cuatro variedades de trigo duro utilizadas en el estudio.

Cruza y genealogía	
‘Atil C2000’	ALTAR 84/SRN_2/3/ALTAR 84/CMH82A.1062//RISSA
‘Syria 1740’	HORDEIFORME-5866/UNKNOWN(VSGL,ODESSA)
‘Creso’	MARINGA/Zenati//CPB144
‘CMH82A.1062’	CMH79A.1147/HUI/3/CMH79A.1147//T.TURA/CMH74 A.370

Raza del patógeno. La fórmula de avirulencia/virulencia de la raza BBG/BN es: Lr1, 2a, 2b, 2c, 3, 3bg, 3ka, 9, 12, 13, 14a, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 27+31, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37/10, 11, 14b, 20, 23, 33 (Singh *et al.*, 2004).

Cruza de progenitores. La siembra de la variedad susceptible de trigo duro ‘Atil C2000’ y de las tres variedades resistentes se hizo en 2004, en dos fechas de siembra (10 y 20 de abril) con la finalidad de que coincidieran las floraciones y poder realizar el plan de cruzamientos. Se hicieron seis cruza de las cuales tres fueron cruza, susceptible x resistente. Las tres cruza restantes fueron resistente x resistente (Cuadro 2). Los cruzamientos se llevaron a cabo en junio del 2004, en los invernaderos del Campo Agrícola Experimental Valle de México (CEVAMEX-INIFAP) ubicado en Chapingo, México.

Cuadro 2. Programa de cruza para determinar la genética de la resistencia en tres genotipos de trigo duro.

Progenitores	
Susceptible x resistente	
1	‘Atil C2000 x Syria 1740’
2	‘Atil C2000 x Creso’
3	‘Atil C2000 x CMH82A.1062’
Resistente x resistente	
4	‘Syria 1740 x Creso’
5	‘Syria 1740 x CMH82A.1062’
6	‘Creso x CMH82A.1062’

Obtención de F₁, F₂ y Familias F₃. Las semillas F₁, provenientes de dos espigas de cada cruza, se sembraron en invernadero en cuatro macetas, cada una con tres semillas por cruza, durante el mes de agosto del 2004 en el CEVAMEX-INIFAP. De cada cruza se cosecharon tres

plantas con el fin de obtener 150 semillas, las cuales dieron origen a la generación F₂ (Huerta y Singh, 2000). En enero de 2005 se sembraron en el campo experimental las seis poblaciones F₂ en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Cada población se sembró en tres surcos (50 semillas por surco) de 4 m de longitud, con una separación de 8 cm entre plantas. Para la obtención de las familias F₃, se cosecharon individualmente todas las plantas F₂ de cada cruce. En algunas cruces sólo se desarrollaron 130 plantas para la obtención de familias F₃.

Evaluación de familias F₃. Los progenitores y las 130 familias F₃ de cada cruce se sembraron el 28 de junio del 2005 en surcos dobles de 1 m de largo por 80 cm de separación, en el campo del CEVAMEX - INIFAP. Alrededor del experimento y entre las calles se sembraron semillas de la variedad susceptible 'Atil C2000', la cual actuó como fuente de inóculo de la roya de la hoja y dispersante del mismo. Se indujo una epidemia artificial 25 d después de la siembra con el fin de asegurar que el hongo se estableciera a tiempo, que se logró mediante la inoculación de esporas frescas (de la raza de roya BBG/BN) en una concentración de 1x10⁶ esporas/mL de aceite mineral en los bordos y en las calles del experimento ocupadas con el material susceptible ('Atil C2000'), y se roció totalmente a las hojas de la planta. A la segunda y tercera semanas después de esta inoculación, nuevamente se inocularon todas las familias del experimento para asegurar el establecimiento de la enfermedad.

Clasificación de las familias F₃. La toma de datos se hizo dos meses después de la última inoculación, cuando el progenitor susceptible ('Atil C2000') ya presentaba alta infección de sus hojas, hasta de 100 % en la hoja bandera, que es en la que se hicieron las lecturas de incidencia de la enfermedad. Las familias de cada cruce se clasificaron de acuerdo con una escala arbitraria según la severidad:

1. Familias resistentes. Familias homocigóticas con una respuesta similar al progenitor resistente, con 1 a 5 % de daño al follaje y sin pústulas del hongo.

2. Familias segregantes. Familias heterocigóticas que incluyen: a) Plantas con resistencia semejante al progenitor resistente, b) Plantas con resistencia intermedia (10 a 15 % de daño); y c) Plantas tan susceptibles como el progenitor susceptible, con más del 40 % de daño en el follaje.

3. Familias susceptibles. Familias homocigóticas con una respuesta similar al progenitor susceptible, con más de 40 % de daño, con pústulas en la hoja bandera.

Frecuencias esperadas. Las frecuencias esperadas de las familias F₃ se calcularon bajo el supuesto de que la res-

sistencia en la planta está condicionada por 1 ó 2 genes mayores; tales frecuencias se utilizaron para determinar el número de genes involucrados en la resistencia, con base en que una proporción de 1:2:1 (Resistentes: Segregantes: Susceptibles) es para un gen dominante simple, y la proporción 1:8:7 es para dos genes dominantes complementarios. A medida que la resistencia es condicionada por mayor número de genes, se incrementa la presencia de familias segregantes (Gardner *et al.*, 1998)

Análisis genético. Las frecuencias observadas y esperadas se compararon mediante la prueba de χ^2 . El valor de tablas y la significancia fue determinado de acuerdo a la χ^2 que obtuvieron las proporciones de las familias de cada cruce. Para el valor de tablas se usaron n-1 grados de libertad, en donde n es el número de grupos de clasificación de familias F₃ (Infante y Zárate de Lara, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 3 se muestra la reacción de cada progenitor a la roya de la hoja raza BBG/BN. El progenitor 'Atil C2000' fue susceptible al ataque de la roya de la hoja, como también observó Rodríguez (2004; Com. personal)¹. Las variedades resistentes 'Syria 1740', 'Creso' y 'CMH82A.1062' mostraron bajos porcentajes de severidad de roya, con 0, 1 y 1 a 5 %, respectivamente.

Cuadro 3. Reacción en la hoja bandera en cuatro variedades de trigo al momento en que el testigo susceptible alcanzó 100 % de severidad.

Progenitor	Respuesta (% de severidad)
'Atil C2000'	100%
'Syria 1740'	0%
'Creso'	1%
'CMH82A.1062'	1 a 5%

La distribución, frecuencias relativas de las familias F₃, el número de genes que condicionan la resistencia y la prueba de χ^2 de las tres cruces susceptible x resistente, se muestran en el Cuadro 4. En la cruce 'Atil C2000 x Syria 1740' se observó una proporción 8:58:50 de familias resistentes, segregantes y susceptibles, que se ajustó a la proporción genotípica 1:8:7, e indica la presencia de dos genes dominantes complementarios. Es decir, la resistencia de planta adulta a la roya de la hoja en la variedad 'Syria 1740' está condicionada por dos genes dominantes complementarios.

¹Rodríguez C M E (2004) Genética de la resistencia a roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.) en trigos duros (*Triticum turgidum* var. *durum* L.). Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 61 p.

Cuadro 4. Distribución y frecuencias relativas de las familias F₃ de las cruzas entre el progenitor susceptible ('Atil C2000') y los progenitores resistentes ('Syria 1740', 'Creso' y 'CMH82A.1062').

Cruza	Total fam.	ResO	ResE	SegO	SegE	SusO	SusE	Rel. Fen.	χ^2	Prob.
'Atil C2000' x 'Syria 1740'	116	8	7.25	58	58	50	50.75	1:8:7	0.0886	0.97-0.95
'Atil C2000' x 'Creso'	130	26	32.5	67	65	37	32.5	1:2:1	1.9846	0.50-0.30
'Atil C2000' x 'CMH82A.1062'	128	6	8	66	64	56	56	1:8:7	0.5625	0.80-0.70

ResO = Resistentes observados; ResE = Resistentes esperados; SegO = Segregantes observados; SegE = Segregantes esperados; SusO = Susceptibles observados; SusE = Susceptibles esperados; Rel. Fen. = Relación fenotípica; Prob. = Probabilidad con 2 grados de libertad.

En la cruce de 'Atil C2000 x Creso' se observó una proporción 26:67:37 de familias resistentes, segregantes y susceptibles, la cual se ajusta a la proporción fenotípica 1:2:1 que indica la presencia de un gen dominante que confiere la resistencia en planta adulta a la variedad 'Creso'. En la cruce 'Atil C2000 x CMH82A.1062', la proporción 6:66:56 se ajustó a la proporción fenotípica 1:8:7, al igual que en la primera cruce, por lo que se determinó que la resistencia está condicionada por dos genes dominantes complementarios provenientes del progenitor 'CMH82A.1062'.

En la prueba de χ^2 de las cruces entre progenitores resistentes, las familias se agruparon en familias resistentes y segregantes (Cuadro 5), y se buscó una relación fenotípica adecuada que explicara el número de genes que condicionan la resistencia de cada cruce. En la cruce 'Syria 1740 x Creso' se observó una proporción 123:4 que se ajusta a la proporción fenotípica 63:1, la cual indica que la resistencia está condicionada por tres genes dominantes independientes. Debido a que 'Syria 1740' presentó dos genes dominantes complementarios que condicionaron resistencia en planta adulta y 'Creso' sólo uno, se puede concluir entonces que los genes de ambos progenitores segregaron independientemente.

En la cruce 'Syria 1740 x CMH82A.1062' no se presentaron familias homocigóticas susceptibles en campo. Puesto que 'Syria 1740' y 'CMH82A.1062' al ser cruzados con 'Atil C2000', exhibieron dos genes dominantes complementarios que condicionan la resistencia, la ausencia de familias susceptibles en la cruce 'Syria 1740 x CMH82A.1062' sugiere que los genes que poseen ambos progenitores son los mismos.

En la cruce 'Creso x CMH82A.1062' se observó una proporción 127:3 que corresponde a la proporción fenotípica 63:1 que indica que la resistencia en esta cruce está condicionada por tres genes dominantes independientes. La variedad 'Creso' cruzada con 'Atil C2000', exhibió un gen dominante que condicionó la resistencia, mientras que 'CMH82A.1062' exhibió dos genes dominantes comple-

mentarios. Se sugiere que estos dos progenitores resistentes segregan independientemente, de la misma forma que ocurrió en la cruce 'Syria 1740 x Creso'.

Según Singh (1992), en la cruce del progenitor resistente 'Jupateco 73R' con el susceptible 'Jupateco 73S', la distribución de las familias F₃ exhibieron una proporción 1:2:1 que corresponde a la segregación esperada para un gen. Herrera *et al.* (2005) reportaron la presencia de un solo gen de resistencia en las familias F₃ de las cruces con los progenitores 'Guayacan 2' y 'Guayacan INIA'. También Rajaram (1971) reportó que la proporción 1:2:1 es la segregación esperada para un solo gen de resistencia. Igualmente, Rodríguez (2004; *Opus cit.*), observó en plántulas que la segregación de tres resistentes por uno susceptible en los genotipos resistentes 'CWI52271' y 'CWI52274' se debió al efecto de un solo gen dominante, por lo concluyó que poseen un gen diferente.

Las cruces de 'Syria 1740' y 'CMH82A.1062' con el progenitor susceptible exhibieron la misma proporción fenotípica de 1:8:7 para dos genes dominantes complementarios. Herrera *et al.* (2005) obtuvieron la misma relación fenotípica en familias F₃ al cruzar a 'Júpateco C2001', 'Pohowera' y 'Hualita' con el progenitor susceptible 'Atil C2000'. Rodríguez (2004; *Opus cit.*), con base en la segregación de las progenies F₂ en plántula, consideró que los genotipos resistentes 'CWI52201' y 'CWI52274' poseen dos genes complementarios porque sus cruces con el progenitor susceptible se ajustaron a la proporción fenotípica 9:7.

Herrera *et al.* (2005) reportaron que al ser cruzado con 'Atil C2000', el cv. 'Pohowera' mostró dos genes complementarios de resistencia a la raza de roya de la hoja BBG/BN. Este cultivar tiene como progenitor a 'CMH82A.1062', que en esta investigación también mostró dos genes complementarios de resistencia, por lo que se deduciría que 'CMH82A.1062' heredó sus genes a 'Pohowera'. Estos mismos autores indicaron que el cv. 'Gatcher' que tiene los genes de resistencia *Lr27* y *Lr31*, mostró una respuesta similar a la de tres trigos duros, entre

Cuadro 5. Distribución y frecuencias relativas de las familias F_3 de las cruzas entre los progenitores resistentes ('Syria 1740', 'Creso' y 'CMH82A.1062').

Cruza	Total fam.	ResO + SegO	ResE + SegE	SusO	SusE	Rel. Fen.	χ^2	Prob.
'Syria 1740' x 'Creso'	127	123	125.01	4	1.98	63:1	2.09	0.50-0.30
Syria x 'CMH82A.1062'	129	129	-	0	-	-	-	-
'Creso' x 'CMH82A.1062'	130	127	127.97	3	2.03	63:1	0.49	0.80-0.70

ResO = Resistentes observados; ResE = Resistentes esperados; SegO = Segregantes observados; SegE = Segregantes esperados; SusO = Susceptibles observados; SusE = Susceptibles esperados; Rel. Fen. = Relación fenotípica; Prob. = Probabilidad con 2 grados de libertad.

ellos 'Pohowera', a la raza de roya BBG/BN, por lo que argumentan que la resistencia complementaria en estos trigos duros podría deberse a los mismos genes complementarios presentes en 'Gatcher'.

La relación 1:8:7 correspondería no solamente a la acción de dos genes complementarios dominantes, sino también a la presencia de dos genes dominantes y la presencia de un gen supresor. La presencia de genes supresores a la roya de la hoja se ha documentado en el caso de *Lr23* (Nelson *et al.*, 1997) y en varios sintéticos hexaploides (Villareal *et al.*, 1992). Poco se ha reportado respecto a la proporción fenotípica 63:1 para resistentes + segregantes y susceptibles. Según Singh y Huerta (1995), las poblaciones F_2 de las cruzas del progenitor susceptible 'Sonora 64' con los progenitores resistentes 'Ciano 79' y 'Papago 86' mostraron esta relación 63:1, que indica que hay tres genes de resistencia presentes en cada progenitor resistente.

Es posible que 'Atil C2000' posea un gen supresor, ya que en la cruce 'Syria 1740 x Creso', en la que no está presente este gen, en su generación F_3 se evidenciaron los tres genes. Es importante, sin embargo, mencionar la existencia de un exceso de familias resistentes, ya que fue difícil separar las familias segregantes de las resistentes, por lo que se optó por agrupar éstas en una sola clase.

De la presente investigación se deduce que los tres genotipos resistentes evaluados condicionan su resistencia a dos genes dominantes complementarios (provenientes de 'Syria 1740' y 'CMH82A.1062') y a un gen de dominancia completa (proveniente de 'Creso'). Será labor de los mejoradores determinar si estos tres genes son diferentes a los ya reconocidos como *Lr27* y *Lr31*, y si fuera así sería importante conjuntarlos mediante mejoramiento genético.

CONCLUSIONES

Los progenitores 'Syria 1740', 'Creso' y 'CMH82A.1062' podrían ser utilizados como fuentes de resistencia en programas de mejoramiento de trigo duro. La genética de la resistencia a la roya de la hoja en los diferentes genotipos evaluados es de herencia simple y está condicionada por uno a tres genes. El tipo de acción génica en todas las cruces fue dominante, de acuerdo con las

frecuencias obtenidas. La resistencia en la variedad 'Creso' fue determinada por la presencia de un gen dominante, mientras que en las variedades 'Syria 1740' y 'CMH82A.1062' se debió a la presencia de dos genes dominantes complementarios. Al parecer, los dos genes que poseen 'Syria 1740' y 'CMH82A.1062' son los mismos. En las cruces de 'Creso' con 'Syria 1740' y 'CMH82A.1062', la presencia de tres genes dominantes independientes se debió al efecto conjunto de los genes de cada progenitor.

BIBLIOGRAFÍA

- Asociación de Organismos de Agricultores del Sur de Sonora A o ASS (2004)** Comercialización de trigo y Reporte de siembras. www.aoass.com. (06/06/05).
- Bechere E, H Kebede, G Belay (2000)** Durum wheat in Ethiopia. Institute of Biodiversity Conservation and Research (IBCR). Addis Abeba, Ethiopia. 68 p.
- Camacho C M A, P L Figueroa, E J Huerta, S J J Martínez, V P Félix (2000)** Tarachi F2000 y 'Atil C2000', Nuevas Variedades de Trigo para el Noroeste de México. Folleto Técnico No. 43. CEVY - CIRNO - INIFAP. Ciudad Obregón, Sonora, México. 24 p.
- Cantrell R G (1985)** Breeding durum wheat for semi-arid conditions. *In*: Proc. Colloquium on Genetics and Breeding of Small Grains for Semi-Arid Conditions of the North American Great Plains and Morocco. July 11-12, University of Nebraska-Lincoln. pp: 57-64.
- Curtis B C, S Rajaram, H G Macpherson (2002)** Bread Wheat: Improvement and Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 230 p.
- García E (1981)** Modificaciones del Sistema de Clasificación Climática de Köpen (Adaptada a Condiciones de la República Mexicana). 3a ed. México, D. F. 86 p.
- Gardner E J, M J Simons, D P Snustad (1998)** Principios de Genética. Limusa Wiley. México, D. F. 149 p.
- Herrera F S A, R P Singh, E J J Huerta, J Yuen, A Djurle (2005)** New genes for resistance to leaf rust in CIMMYT durum wheats. *Plant Dis.* 89:809-814.
- Huerta E J, R P Singh (2000)** Las royas del trigo. *In*: El Trigo de Temporal en México. M H E Villaseñor, R E Espitia (eds). SAGAR, INIFAP. CIP-CENTRO y CEVAMEX, México. pp:231-251.
- Infante G S, G P Zárate de Lara (1990)** Métodos Estadísticos: un Enfoque Interdisciplinario. 2a ed. Trillas. México, D. F. 643 p.
- Nelson J C, R P Singh, J E Autrique, M E Sorrells (1997)** Mapping genes conferring and suppressing leaf rust resistance in wheat. *Crop Sci.* 37:1928-1936.
- Rajaram S (1971)** Adult plant leaf rust resistance in bread wheat. *Indian J. Gen. Plant Breed.* 31:507-509.
- Singh R P (1992)** Genetic association of leaf rust resistance gen *Lr34* with adult plant resistance to stripe rust in bread wheat. *Phytopathology* 82:835-838.

- Singh R P, E J Huerta (1995)** Inheritance of seeling and adult plant resistance to leaf rust in wheat cultivars Ciano 79 y Papago 86. *Plant Dis.* 79:35-38.
- Singh R P, E J Huerta, W Pfeiffer, L P Figueroa (2004)** Occurrence and impact of a new leaf rust race on durum wheat in the Northwestern Mexico during 2001-2003. *Plant Dis.* 88:703-708.
- Villareal R L, R P Singh, A Kazi-Mujeed (1992)** Expression of resistance to *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* in synthetic hexaploide wheats. *Votr. Planzenzucctg.* 24:253-255.
- Villaseñor E O M, E J Huerta, M S G Leyva, M E Villaseñor, R E Espitia (2003)** Análisis de virulencia de la roya de la hoja (*Puccinia triticina* Ericks.) del trigo (*Triticum aestivum* L.) en los Valles Altos de México. *Rev. Mex. Fitopat.* 21:56-62.