

Fusariosis de la espiga de trigo: evaluación de caracteres exomorfológicos asociados a la resistencia

K.F. RIBICHICH & A. C. VEGETTI

Facultad de Ciencias Agrarias, UNL, Kreder 2805 (3080) Esperanza, Santa Fe

RIBICHICH, K. F. & A. C. VEGETTI. 2000/2001. Fusariosis de la espiga de trigo: evaluación de caracteres exomorfológicos asociados a la resistencia. Rev. Fac. Agron., La Plata 104(2): 121-127.

El agente causal de la fusariosis de la espiga de trigo aislado más frecuentemente en la Argentina es *Fusarium graminearum* Schwabe. El patógeno ingresa principalmente por las anteras, o bien por penetración directa o por estomas, expandiéndose luego al raquis y a otras espiguillas. Los mecanismos de resistencia principales son: a la penetración (Tipo I), y a la propagación (Tipo II).

En estudios previos, se han postulado características exomorfológicas asociadas con la resistencia Tipo I. En este estudio se proponen cuatro caracteres exomorfológicos que pueden considerarse asociados a susceptibilidad o resistencia: ángulo mayor de apertura de antecios, ángulo entre lemma1 y gluma1, longitud de raquilla y de raquis.

Se inocularon espigas en espigazón y floración del cultivar susceptible PROINTA Oasis y del resistente Sumai 3, y a diferentes tiempos post-inoculación se midieron los caracteres mencionados. Se determinaron las diferencias para cada variedad y entre variedades para cada caracter y se compararon con los valores de severidad de la enfermedad.

En ambas variedades los caracteres se mantuvieron constantes en función del tiempo. Una apertura mayor de antecios durante la floración en relación con la espigazón podría relacionarse con una mayor severidad en la variedad resistente y una superficie menor de lemma expuesta para ambas variedades, podría señalar la entrada al patógeno durante la espigazón. Por el contrario, las longitudes de raquilla y de raquis fueron mayores en la variedad resistente que en la susceptible mientras que fue menor la severidad de la enfermedad, lo cual apoya la existencia de una forma de resistencia Tipo II en Sumai 3.

Palabras clave: trigo, fusariosis de la espiga, resistencia, caracteres exomorfológicos.

RIBICHICH, K. F. & A. C. VEGETTI. 2000/2001. Fusarium head blight of wheat: evaluation of morphological characters associated with disease resistance. Rev. Fac. Agron., La Plata 104(2): 121-127.

The most frequent pathogenic species producing head blight of wheat (*Triticum aestivum* L.) isolated in Argentina is *Fusarium graminearum* Schwabe. The fungus invades anthers, or may penetrate directly or by natural openings. Then, colonizes the rachis and the other spikelets. The main resistance mechanisms described are: to penetration (Type I), and to the spread (Type II).

Previous studies have proposed morphological characteristics as associated with resistance Type I. We propose four morphological characters as associated to resistance or susceptibility.

Spikes at heading and flowering stages of the susceptible cultivar PROINTA Oasis and the resistant Sumai 3, were inoculated and assessed at six times post inoculation. Disease severity was calculated, and the following morphological characters were measured: opening angle of anthesis, angle between lemma 1 and glume 1, rachilla and rachis lengths. Differences among these characters in each cultivar and between cultivars were evaluated, and were compared with the severity values.

In both cultivars, the characters were constants over the time. The opening angle of anthesis was

bigger at flowering than at heading and could be related with the increased severity in the resistant at that stage compared with the susceptible cultivar. The exposed lemma area was smaller at heading than at flowering in both cultivars which could represent the entry for the pathogen at the first stage. On the other hand, the rachilla and the rachis lengths were bigger in the resistant than the susceptible cultivar, and the severity was the opposite, which support the existence of a kind of resistance type II in the resistant cultivar.

Keywords: wheat, *Fusarium* head blight, resistance, morphological characters.

INTRODUCCIÓN

La fusariosis de la espiga es una enfermedad que afecta al cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en todo el mundo (Mielke, 1988; Bai & Shaner, 1994). La enfermedad es frecuente en áreas trigueras húmedas y templadas (Sutton, 1982; Bai & Shaner, 1994).

El agente causal de la fusariosis de la espiga de trigo aislado con mayor frecuencia en la Argentina es *Fusarium graminearum* Schwabe (teleomorfo: *Gibberella zeae* (Schwein.) Petch) (Díaz de Ackermann & Kohli, 1996; Galich, 1996; Gilchrist *et al.*, 1996). El patógeno ingresa principalmente por las anteras en el estadio de floración (Strange & Smith, 1978), pero puede infectar por penetración directa o por estomas de la gluma, lemma, pálea o raquilla según Bennett (1931), Nisikado (1958) e Ireta-Moreno & Bekele (1989), aunque estos últimos no encontraron el punto de penetración. Luego coloniza el raquis y otras espiguillas.

La enfermedad puede provocar esterilidad de flores y la formación de granos poco desarrollados, arrugados y de bajo peso, en el caso en que este llegue a formarse, afectando los rendimientos y comprometiendo la utilización del mismo dadas las características toxicogénicas del patógeno (Kohli *et al.*; Fadel *et al.*, 1993; Miller, 1989).

Los mecanismos de resistencia principales son: a la penetración (Tipo I), y a la propagación del micelio en la espiga (Tipo II) (Schroeder & Christensen, 1963). El primer tipo de resistencia involucra varias caracte-

rísticas, algunas de las cuales tienen relación con la morfología de la espiga y de la espiguilla de los cultivares (Nisikado, 1958; Takegami, 1957; Miller *et al.*, 1985). Las especulaciones respecto a la resistencia Tipo I incluyen el tiempo en que las anteras permanecen turgentes con altas concentraciones de colina y betaína, cuando la infección ocurre durante la floración. Algunos de los mecanismos de este tipo se consideran más de escape que de resistencia "per se" (Miller, 1989). Algunos caracteres morfológicos han sido evaluados en relación con la resistencia a la fusariosis de la espiga (particularmente la del Tipo I), usando cultivares con menor grado de resistencia que Sumai 3 (Nakagawa, 1960; Nisikado, 1958); ambos estudios compararon caracteres diferentes con resultados disímiles. Por otra parte, Liu & Wang (1991) postularon caracteres para ser tomados en cuenta en las evaluaciones de resistencia. El Tipo II, está relacionado con la estructura físico-química de la planta (Spendley & Ride, 1984; Miller *et al.*, 1985; Miller, 1989; Ride & Barber, 1987; Bai & Shaner, 1994; Ribichich *et al.*, 2000).

Nosotros postulamos que determinados caracteres exomorfológicos del cultivar pueden favorecer o perjudicar la invasión y la expansión del patógeno en la espiga. En este trabajo, se evaluaron cuatro características exomorfológicas en una variedad susceptible y otra resistente: ángulo mayor de apertura de antecios, ángulo entre lemma₁ y gluma₁, longitud de raquilla y de raquis. La elección del primer carácter, responde a la hipótesis de que cuanto más abiertos estén los ante-

cios (y por lo tanto más expuestas estén las anteras), mayor será el número de conidios del patógeno que puedan fijarse y germinar; el segundo carácter es representativo de la superficie de lemma expuesta a los conidios, y su elección se debe a la mención de que el hongo podría iniciar la infección sobre la superficie de la espiga (Bennett, 1931; Ireta-Moreno, 1987; Ireta-Moreno y Bekele, 1989; Nisikado, 1958), en particular sobre las lemmas (Ribichich *et al.*, 2000); el tercer y cuarto caracteres se escogieron sobre la base de que cuanto mayor sea la distancia entre antecios y entre espiguillas, respectivamente, menor será la propagación del patógeno en la espiga, debido al mayor tiempo que tiene la planta para la producción de defensas, o bien, por el retraso que estas características puede generar en el avance del patógeno. Se determinó la progresión de la enfermedad y las mediciones se hicieron a lo largo de este tiempo. Se discuten luego la relación entre estos caracteres y los mecanismos de resistencia Tipo I y Tipo II.

MATERIALES y MÉTODOS

Descripción general

El ensayo se llevó a cabo en un invernadero entre los meses de julio y octubre, coincidiendo con la siembra de trigo a campo. La temperatura y la humedad fueron registradas durante el período de toma de muestras. Se utilizaron la variedad resistente Sumai 3, de origen chino, y la variedad susceptible PROINTA Oasis, de origen argentino.

Diseño

Se sembraron semillas de las dos variedades en parcelas tomadas al azar de 1,40m x 0,60 m, divididas en 4 líneas separadas por 15 cm cada una. La inoculación se realizó para cada variedad en las fases de espigazón y de floración.

Inoculación

Se inocularon grupos de entre 20 y 25 espigas mediante pulverizador manual, con 4ml de una suspensión de $4,5 \times 10^4$ macroconidios/ml de agua destilada estéril reservando un grupo como control. Después del tratamiento, las espigas se cubrieron con dos bolsas (una de papel y otra de polietileno, blancas (Teich & Michelutti, 1993), durante 66 h, para asegurar una humedad superior al 90%, necesaria en los comienzos de la enfermedad.

Toma de muestras

A intervalos de distinta duración y durante el desarrollo de la enfermedad, se cosecharon de 6 a 14 espigas correspondientes a cada combinación posible de tratamientos. Dada la diferencia entre las variedades en los tiempos de la aparición de los síntomas, se siguieron dos esquemas de toma de muestras diferentes:

para PROINTA Oasis: 18 h, 30 h (para análisis de penetración y comienzo de colonización), 6 días, 7,5 días, 9 días y 10,5 días (post-inoculación - p.i.- a partir de la aparición de los síntomas y hasta máxima expresión de severidad de la enfermedad); para Sumai 3: 18 h, 30 h (para análisis de penetración y comienzo de colonización), 11 días, 14 días y 20 días (post-inoculación -p.i.- a partir de la aparición de los síntomas y hasta máxima expresión de severidad de la enfermedad).

Sobre las espigas cosechadas se determinó la severidad de la enfermedad (Wong *et al.*, 1992), considerando:

$S = \frac{N^\circ \text{ de espiguillas infectadas por espiga}}{N^\circ \text{ de espiguillas totales en la espiga}}$,

y se realizaron las siguientes mediciones de los caracteres exomorfológicos mencionados. Las mediciones de los caracteres exomorfológicos se realizaron sobre tres espiguillas medias por cada espiga, y en 4 a 7 espigas por tiempo de muestreo.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

El aspecto externo de dos espiguillas de ambos cultivares se muestra en la figura 1. En la imagen se observan diferencias particularmente en el tamaño del raquis.

Relación entre caracteres exomorfológicos y penetración del patógeno en la espiguilla

El ángulo de apertura de los antecios fue significativamente mayor en floración que en

espigazón mientras que se obtuvo un resultado inverso al considerar el ángulo entre la gluma 1 y la lemma 2 (entendido como expresión de la superficie de la lemma expuesta) (Tablas I y II).

La diferencia encontrada entre estadios fenológicos se presentó en ambas variedades, entre las que, por el contrario, no hubo diferencias significativas, ni en las horas posteriores a la inoculación con el patógeno. Por lo tanto, los antecios de ambos cultivares están más expuestos a la entrada del patógeno en

Tabla I: Comparación entre cultivares (PROINTA Oasis y Sumai 3), estadios fenológicos (espigazón y floración) y tiempos postinoculación (en horas) del ángulo de mayor apertura de los antecios en una espiguilla. Los números representan el promedio de tres espiguillas medias por espiga de un total de cinco a seis espigas. Símbolos y letras iguales para una misma categoría indican diferencias no significativas. Total_{ec} = Total por estadio fenológico por cultivar; Total_e = Total por estadio fenológico.

Cultivar	Estadio fenológico							
	Espigazón				Floración			
	18 h	30 h	Total _c	Total _e	18 h	30 h	Total _c	Total _e
PROINTA Oasis	3,98 !	3,75 !	3,86 ´	3,80 a	4,03 !	4,43 !	4,23 ´	4,32 b
Sumai 3	3,33 !	4,15 !	3,74 ´		4,38 !	4,42 !	4,40 ´	

Tabla II: Comparación entre cultivares, estadios fenológicos y tiempos postinoculación del ángulo entre la gluma 1 y la lemma 1 en una espiguilla (como medida de la superficie expuesta de la lemma). Los números representan el promedio de tres espiguillas medias por espiga de un total de cinco espigas. Símbolos y letras iguales para una misma categoría indican diferencias no significativas. Total_c = Total de estadio fenológico por cultivar; Total_e = Total por estadio fenológico.

Cultivar	Estadio fenológico							
	Espigazón				Floración			
	18 h	30 h	Total _{ec}	Total _e	18 h	30 h	Total _c	Total _e
PROINTA Oasis	2,72 !	2,20 !	2,46 ´	2,29 a	1,77 !	1,77 !	1,77 ´	1,72 b
Sumai 3	1,82 !	2,42 !	2,12 ´		1,70 !	1,67 !	1,68 ´	

floración respecto de la espigazón a través de un mayor ángulo de apertura. La similitud entre variedades está de acuerdo con lo encontrado por Nisikado (1958) pero se contraponen con lo señalado por Takegami (1957). Por otra parte, las variedades exponen una mayor superficie de lemma durante la espigazón, lo cual concuerda con la mayor invasión encontrada a través de la lemma respecto de la gluma (Nisikado, 1958).

La variedad susceptible, PROINTA Oasis, presentó un elevado nivel de severidad de la enfermedad con posterioridad a la inoculación en ambos estadios fenológicos ($F=3,5871$, $GL=1$, $p>0,025$). En la variedad resistente, Sumai 3, los niveles de severidad fueron mayores cuando la inoculación se realizó en el estadio de floración ($F_{EF}=6,0704$, $GL=1$, $p<0,025$).

Aún así, la severidad de la enfermedad fue significativamente mayor en la variedad susceptible que en la resistente, con un gran adelanto en el tiempo en la aparición de los síntomas ($F=30,9164$, $GL=1$, $p<0,025$), coincidente con Takegami (1957). Ambas variedades son susceptibles al ingreso del patógeno, pero PROINTA Oasis es altamente susceptible en ambos estadios fenológicos y Sumai 3 tiene baja susceptibilidad aunque ésta es significativamente mayor en floración que en espigazón.

La mayor apertura de los antecios no parece ser un carácter de susceptibilidad en PROINTA Oasis que es invadida por el patógeno tanto en espigazón como en floración, aunque parece tener influencia en la variedad resistente Sumai 3. Ésta, aunque menos afectada, es invadida en mayor medida durante la floración. La lemma expuesta puede ser una puerta de entrada durante la espigazón.

Relación entre caracteres exomorfológicos y propagación del patógeno en la espiga

Las espigas de Sumai 3 tienen raquillas y raquis de espiguillas medias más largos que

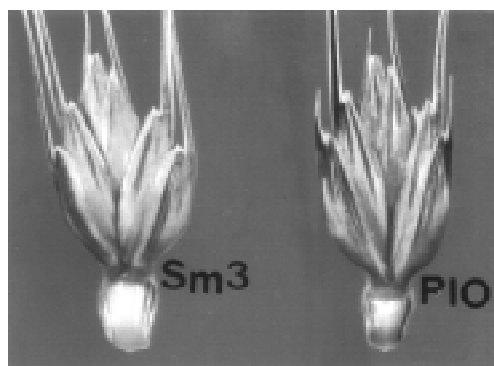


Figura 1: Vista de la cara abaxial de dos espiguillas de a) Sumai 3 (Sm3) y b) PROINTA Oasis.

las de PROINTA Oasis. Sumai 3, a su vez, presenta una diferencia en la longitud del raquis entre ambos estadios fenológicos, lo cual podría deberse a que las espigas en espigazón se encontrasen en una fase temprana del estadio (Tablas III y IV).

En la variedad resistente cada antecio y cada espiguilla de la porción media de la espiga están más distantes unos de otros que en la variedad susceptible.

En la variedad susceptible (PROINTA Oasis), hubo un progresivo aumento de la severidad de la enfermedad, medida a través del tiempo posterior a la inoculación ($F=9,6355$; $GL=3$; $p<0,01$). En la variedad resistente (Sumai 3), los niveles de severidad se mantuvieron constantes en el tiempo, y con infección en ambos estadios fenológicos ($F=0,8940$; $GL=2$; $p>0,025$).

Por lo tanto, PROINTA Oasis fue particularmente susceptible a la propagación en la espiga a diferencia de Sumai 3 que fue resistente a la misma.

Las longitudes de la raquilla y del raquis son características que no han recibido mayor atención y podrían ser indicadores de resistencia a la propagación del patógeno y de

Tabla III: Comparación entre estadios fenológicos y tiempos postinoculación para cada cultivar (a, b) y entre cultivares (c) de la longitud de la raquilla, a) PROINTA Oasis, b) Sumai 3 y, c) PROINTA Oasis vs. Sumai 3. Los números representan el promedio de tres espiguillas medias por espiga de un total de cuatro espigas en a) y b) y 24 espigas en c). Símbolos y letras iguales para una misma categoría indican diferencias no significativas. Total_e = Total por estadio fenológico, Total_c = Total por cultivar.

a)

Estadio fenológico									
Espigazón					Floración				
6d	7,5d	9d	10,5d	Total _e	6d	7,5d	9d	10,5d	Total _e
8,03 !	9,52 !	9,58 !	9,06 !	9,05 [†]	9,25 !	8,96 !	8,13 !	8,81 !	8,79 [†]

b)

Estadio fenológico								
Espigazón				Floración				
11d	14d	20d	Total _e	11d	14d	20d	Total _e	
9,98 !	8,52 !	10,56 !	9,69 [†]	10,79 !	10,48 !	10,19 !	10,49 [†]	

c)

Cultivar	Total _c
PROINTA Oasis	10,09 a
Sumai 3	8,92 b

Tabla IV: Comparación entre estadios fenológicos y tiempos postinoculación para cada cultivar (a, b) y entre cultivares (c) de la longitud del raquis, a) PROINTA Oasis, b) Sumai 3 y, c) PROINTA Oasis vs. Sumai 3. Los números representan el promedio de tres espiguillas medias por espiga de un total de cuatro espigas en a) y b) y 24 espigas en c). Letras iguales indican diferencias no significativas. Total_e = Total por estadio fenológico, Total_c = Total por cultivar.

a)

Estadio fenológico									
Espigazón					Floración				
6d	7,5d	9d	10,5d	Total _e	6d	7,5d	9d	10,5d	Total _e
3,60 !	4,21 !	4,12 !	5,50 !	4,36 [†]	4,56 !	4,35 !	3,77 !	4,13 !	4,20 [†]

b)

Estadio fenológico								
Espigazón				Floración				
11d	14d	20d	Total _e	11d	14d	20d	Total _e	
4,98 !	4,79 !	5,08 !	4,95 [†]	5,83 !	5,46 !	5,67 !	5,65 [“]	

c)

PROINTA Oasis	Sumai 3	PROINTA Oasis + Sumai 3	
Espigazón + Floración		Espigazón	Floración
5,30 a		4,28 b	4,69 !
			4,90 !

la enfermedad en la espiga, al determinar la distancia entre antecios y entre espiguillas, respectivamente. Este tipo de resistencia (Tipo II) es el que habitualmente se evalúa en los programas de mejoramiento genético.

BIBLIOGRAFÍA

- Bai, G. & G. Shaner.** 1994. Scab of Wheat: Prospects for control. *Plant Disease* 78: 760-766.
- Bennett, F.T.** 1931. *Gibberella saubinetii* (Mont) Sacc. On British cereals. II. Physiological and pathological studies. *Ann. Appl. Biol.* 18:158-177.
- Chungu, C. & D. E. Mather.** 1996. Comparison of techniques for inoculating maize silk, kernel, and cob tissues with *Fusarium graminearum*. *Plant Dis.* 80: 81-84.
- Díaz de Ackermann, M. & M. M. Kohli.** 1997. Research on *Fusarium* head blight of wheat in Uruguay. In: Dubin, H. J., L. Gilchrist, J. Reeves and A. Mc Nab, eds. *Fusarium Head Scab: Global Status and Future Prospects*, México D. F., CIMMYT. pp. 13-18
- Fadel, F. & G. Wenzel.** 1993. In vitro selection for tolerance to *Fusarium* in F1 Microspore Populations of Wheat. *Plant Breeding* 110: 89-95.
- Galich, M. T. V. de.** 1997. *Fusarium* head blight in Argentina. In: Dubin, H. J., L. Gilchrist, J. Reeves and A. Mc Nab, eds. *Fusarium Head Scab: Global Status and Future Prospects*, México D. F., CIMMYT. pp. 19-28.
- Gilchrist, L., M. Kazi, S. Rajaram, H. Vivar & M. van Ginkel.** 1997. CIMMYT scab *Fusarium* program. In: Dubin, H. J., L. Gilchrist, J. Reeves and A. Mc Nab, eds. *Fusarium Head Scab: Global Status and Future Prospects*, México D. F., CIMMYT. pp. 7-12.
- Ireta-Moreno, J.** 1987. Estudio histopatológico de la espiga del trigo durante la penetración de *F. graminearum* in: Estimaciones de pérdidas de trigo (*Triticum sp. L.*) causadas por la roña (*Fusarium graminearum* Schw.). Tesis de Post-Grado, Chapingo, México, pp. 50-57.
- Ireta-Moreno, J. & G. T. Bekele.** 1989. Histopatología de la penetración de *Fusarium graminearum* Schw en trigo (85-89). En: Kohli, M. M., ed. Taller sobre la Fusariosis de la Espiga en America del Sur, Encarnación del Paraguay, CIMMYT. pp. 85-88.
- Kohli, M. M., J. G. Annone & M. T. V. Galich.** 1996. Fusariosis de la espiga y su manejo. En: Kohli et al., eds., *Las enfermedades del trigo en el Cono Sur. Curso de manejo de enfermedades de trigo.* Buenos Aires, CIMMYT – Centro Internacional de Capacitación “Dr. Norman E. Bourlag”- EEA INTA Pergamino, pp. 164-189.
- Liu Z. Z. & Z. Y. Wang.** 1991. Improved scab resistance in China: Sources of resistance and problems. In: D. A. Saunders, ed. *Wheat for the non traditional warm areas.* CIMMYT, México, D. F. pp. 178-188.
- Mielke, H.** 1988. Untersuchungen ueber *Fusarium culmorum* (W. G. Sm.) Sacc. als Fuss- und AEhrenkrankheitserreger beim Weizen. *Mitt. Biolog. Bundesanst. Berlin-Dahlem* 238: 1-101.
- Miller, J. D., J. C. Young & D. R. Sampson.** 1985. Deoxynivalenol and *Fusarium* Head Blight resistance in Spring Cereals. *Phytopath. Z.* 113: 359-367.
- Miller, J. D., J. C. Young & D. R. Sampson.** 1989. Biochemical nature of micotoxins and host tolerance. Workshop on *Fusarium* Head Blight and related mycotoxins. March 30-31, Ciudad Obregon, Sonora, México, CIMMYT. 22 pp.
- Nisikado, Y.** 1958. Studies on the wheat scab caused by *Gibberella zeae* (Schw.) Petch., and its control. Ohara Institute of Agriculture Biology, Okayama University, Japan.
- Ribichich, K. F., S. E. López & A. C. Vegetti.** 2000. Histopathological spikelet changes produced by *Fusarium graminearum* in susceptible and resistance wheat cultivars. *Plant Disease* 84 (7): 794-802.
- Ride, J. P. & M. S. Barber.** 1987. The effect of various treatments on induced lignification and the resistance of wheat to fungi. *Physiol. Mol. Plant Path.* 31: 349-360.
- Schroeder, H. W. & J. J. Christensen.** 1963. Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* 53: 831-838.
- Spendley, P. J. & J. P. Ride.** 1984. Fungitoxic effects of two alak-2,4-dienals, x- and B- triticene, isolated from wheat. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 82: 283-288.
- Strange, R. N. & H. Smith.** 1978. Specificity if Choline and Betaine as stimulants of *Fusarium graminearum*. *Trans. Br. mycol. Soc.* 70 (2): 187-192.
- Takegami, S.** 1957. Studies on the resistance of wheat varieties to *Gibberella zeae* (Schw.) Petch (head blight) and its mechanism. Science Reports of Agriculture. Okayama University, Japan.
- Teich, A. H. & R. Michelutti.** 1993. Determining resistance to wheat scab by covering field-inoculated heads with plastic bags. *Cereal Res. Communications* 21: 69-73.
- Wong, L. S. L., A. Tekauz, D. Leisle, D. Abramson & R.I.H. McKenzie.** 1992. Prevalence, distribution, and importance of fusarium head blight in wheat in Manitoba. *Can. J. Plant Pathol.* 14: 233-238.