

Comportamiento de Genotipos de Trigo a la Fusariosis de la Espiga en el Departamento de Nariño, Colombia

Wheat Genotypes Behavior to Fusarium Head Blight in Nariño Department, Colombia

Martín Esteban Reyes Caicedo¹; Carlos Alberto Rosero Delgado² y Carlos Betancourth García³

Resumen. La Fusariosis de la espiga del trigo (FET) causada por el hongo *Fusarium* spp., se registra como una de las enfermedades más limitantes en el departamento de Nariño, Colombia, debido a la alta prevalencia y a la ausencia de técnicas de manejo eficientes. Este trabajo se planteó con el fin de evaluar el comportamiento de diferentes genotipos de trigo respecto a la incidencia del patógeno y su efecto sobre los componentes de rendimiento. Se estudiaron 45 genotipos, 13 provenientes de la colección de CORPOICA y 32 cedidos por la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño. Se realizó la purificación y multiplicación del hongo a partir de espigas afectadas. La inoculación en el campo se hizo con bomba manual de 20 litros, en espigamiento del cultivo. El ensayo constó de 45 tratamientos en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se analizaron la incidencia de la enfermedad en espiga y grano, las macollas efectivas, el número de granos por espiga, el peso de 1000 granos y el rendimiento en kg/ha. Se identificaron 10 genotipos con resistencia a FET y dos de ellos con buen comportamiento agronómico. Particularmente el genotipo L23 presentó una reacción altamente resistente (AR) y resistente (R) en la evaluación de incidencia en espiga y grano respectivamente. Se destaca que los genotipos que mostraron resistencia a la enfermedad tienen como progenitor la variedad ICA YACUANQUER que se registra con moderada resistencia a la FET.

Palabras claves: genotipos, resistencia, incidencia.

Abstract. The Fusarium seed blight of wheat caused by *Fusarium* spp. is registered in the Nariño Department (Colombia), like one of most limiting diseases, due to the high prevalence and the poor management techniques. This research was carried out in order to evaluate the reaction of different wheat genotypes inoculated with the pathogen, and the effect on yield components. 45 genotypes were evaluated, 13 of them proceeding from CORPOICA Collection, and 32 giving by the Agricultural Science School (University of Nariño). The *Fusarium* spp was isolated at the laboratory from spike that presented the characteristic disease symptoms like pink color grains due to micelium growth. The field inoculation was realized during heading state with a hand pump (20 L). A randomized block design with four replications was used, and 45 treatments were compared. The pathogen incidence on spike and grain was analyzed. Yield components such as effective tiller, spike grain number, grain 1000 weight and yield also were considered. The results indicated the 10 genotypes had high resistance (HR), and two of them were resistance (R) to *Fusarium* spp; L23 genotype, was the best. It was found that the genotypes that presented resistance have ICA YACUANQUER variety as parent, this wheat material is recognized by its moderate resistance to the disease.

Key words: genotypes, resistance, incidence.

El trigo *Triticum aestivum* L. en Colombia ha incrementado el área de producción con respecto a la década del noventa, con 23.619 ha, que producen 54.324 toneladas, de las cuales Nariño aporta 69% (Diario La República, 2006) y se cultiva en los municipios de Imués, Pasto Yacuanquer, Tangua, Guaitarilla y Ospina (Gobernación de Nariño, 2006).

La fusariosis de espiga en trigo (FET) es una enfermedad devastadora en países como Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Es causada por una o más especies del hongo *Fusarium* (Villar de Galich, 1987; Liddell, 2003; Sutton, 1982). La especie más frecuente en trigo es *Fusarium graminearum* y es capaz de producir toxinas tales como: deoxinivalenol (DON) y zearalenona (ZEA) (Díaz *et al.*, 2002; Xu, 2003). También se ha identificado a esta especie

como prevalente en cultivos de trigo en Nariño (Germán, 1986; Sañudo y Campuzano, 1995).

Los síntomas son fácilmente diagnosticados mediante la observación del blanqueamiento de espigas y espiguillas, y por la formación de una masa rosada salmón (micelio y macroconidias) sobre las estructuras florales. Los daños se manifiestan por reducción del rendimiento, disminución del peso hectolítrico, del tenor proteico, menor poder germinativo y del vigor de las semillas (Wiese, 1987).

La FET causa pérdida de viabilidad de diferentes variedades en Nariño (Rivadeneira y Yama, 1994; Gómez y Molina, 1986) y se presenta en condiciones de alta humedad relativa en estados fenológicos de espigamiento y antesis, ocasionando pudrición de espiguillas y granos, reduciendo la producción y

¹ Profesor. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. San Juan de Pasto, Colombia. <saynomoredoctrina@hotmail.com>

² Profesor. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. San Juan de Pasto, Colombia. <neupactus@hotmail.com>

³ Profesor. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. San Juan de Pasto, Colombia. <cbet70@yahoo.com>

afectando negativamente la calidad de la semilla (Gómez y Molina, 1986).

El manejo de la FET se realiza mediante uso de fungicidas, con resultados parcialmente satisfactorios, pero la estrategia más recomendable es el mejoramiento genético, por lo que es necesario avanzar en investigaciones sobre evaluación de resistencia, que permitan el desarrollo de genotipos promisorios para Nariño (Sañudo y Castro, 1985).

La Universidad de Nariño, a través de la Facultad de Ciencias Agrícolas, ha realizado ensayos de investigación y fomento del cultivo de trigo (Cifuentes y Castro, 1996; Bolaños, 2004), evaluando genotipos obtenidos por entidades como CORPOICA y la misma Universidad, con el fin de conocer el comportamiento agronómico de los materiales (Arévalo y Valverde, 1997; Benavides y Paredes, 2004). Con estos antecedentes se planteó el presente trabajo con el objetivo de evaluar el comportamiento de 45 genotipos de trigo a la resistencia a fusariosis de la espiga y sus componentes de rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo se realizó en el municipio de Pasto, corregimiento de Mapachico, a una altura de 2.750 msnm, con temperatura media anual de 13 °C y precipitación promedio anual de 1.000 mm.

Diseño y material experimental. Se evaluaron 45 genotipos procedentes de CORPOICA y la Facultad de Ciencias Agrícolas (FACIA) de la Universidad de Nariño (Tabla 1), en parcelas de 1 x 1,6 m con separación de 0,6 m y una unidad de muestreo de 0,8 m x 0,8 m (0,64 m²), bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones.

Obtención del inóculo. En un cultivo de trigo de la variedad Obonuco Obando 98, se colectaron espigas afectadas por la FET, con síntomas como: espiguillas de color paja pálido, en contraste con el color verde normal de las sanas, blanqueamiento de la base de las espigas, presencia de coloraciones rosadas o salmón de los granos, glumas y lemas; éstas son características registradas por otros autores en zonas productoras de trigo en el mundo (Wiese, 1987; Díaz *et al.*, 2002; Zillinsky, 1984).

Aislamiento y multiplicación del inóculo. Se realizó en el laboratorio de microbiología de la Universidad de Nariño; siguiendo la metodología descrita por Ávila (2003). Se cortaron trozos pequeños de espiguillas y se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 0,5% durante un minuto, luego se enjuagaron en agua destilada un minuto y se secaron en papel filtro. Se cortaron trozos de 5 mm de lado y se transfirieron a diez cajas Petri esterilizadas, que contenían el medio de cultivo APG (agar papa glucosado 2%). En cada caja Petri se ubicaron cuatro trozos y se incubaron a 20 °C. Las colonias que presentaron aspecto algodonoso blanquecino y tinte rosado o naranja en el envés, se repicaron en el mismo medio para su posterior identificación.

Para esta labor se montaron placas con las estructuras del hongo agregando lactofenol más azul de algodón para su tinción. Se observaron al microscopio tomando como criterios taxonómicos los propuestos por Alexopoulos *et al.* (1996); Booth (1977) así como Sañudo y Campuzano (1995).

Inoculación en el campo. El inóculo se obtuvo por lavado micelial del hongo, homogenizando el contenido de dos cajas Petri (correspondientes a dos tipos de colonias) en 200 mL de agua destilada, filtrando posteriormente a través de una gasa para una solución de fácil aspersión. Se trabajó con una concentración de 1×10^6 esporas / mL, calibrada en cámara de Neubauer. Se inoculó por aspersión en espigamiento (inicio de anthesis) con una bomba manual de 20 L.

Variables evaluadas

Incidencia de FET en planta. Después de 20 días de la inoculación, se evaluaron 10 plantas tomadas al azar por cada repetición. Se registró el porcentaje de incidencia como el número de plantas con presencia de síntomas de FET (en cualquiera de sus espigas) sobre el total de plantas seleccionadas. La reacción de los genotipos se determinó utilizando la escala propuesta por Kohli (1987) (Tabla 2).

Incidencia de FET en granos. En estado fenológico de madurez se tomaron 10 plantas al azar por cada repetición, se desgranaron 10 espigas para detectar la presencia de *Fusarium* spp. y se calculó la incidencia en grano como el porcentaje de granos enfermos sobre el total de granos por espiga y se realizó la clasificación según la escala propuesta por Kohli (1987) (Tabla 2).

Tabla 1. Genotipos de trigo evaluados, genealogía y origen, en relación a su tolerancia a la fusariosis de la espiga.

	Genotipo	Genealogía	Origen
1	CL 3	ICA YACUANQUER/TOTA 63 II-64892-5N-4N-2N-0N	CORPOICA
2	CL 16	CHIL"S"/NING 8319 II-64897-4N-1N-1N-0N	CORPOICA
3	CL 17	KVZ/3/TOB//CTFN/BB/4/BLO"S"/5/BOW"S" CH-67984-7Y-2M-3Y1M-1Y-OB	CORPOICA
4	CL 19	EMU"S"/4/CN0"S"/TOB"S"/NPO/3/GB/NOR67/5/OPATA"S" II-64841-5N-0N	CORPOICA
5	CL 20	ICA YACUANQUER 90	CORPOICA
6	CL 27	K-342/NAPO63 11-64899-11N-3N-2N-0N	CORPOICA
7	CL 31	KEA"S"/GN"S"/ICA YACUANQUER 90 II-64819-1N-2N-1N-1N-0N	CORPOICA
8	CL 34	ALD"S"/2/*BM1146//SERI/3/FONG CHAN#/TRT"S"/VEE#9 11-64814-3N-1N-0N	CORPOICA
9	CL 35	OBONUCO SEQUIA 96	CORPOICA
10	CL 42	ICA YACUANQUER 90/MILAN II-64956-9N-3N-1N-0N	CORPOICA
11	CL 45	ICA YACUANQUER 90	CORPOICA
12	CL 48	ICA YACUANQUER 90/3/FONG CHANG#3/TRT"S"/VEE#9 II-64957-6N-1N-2N-0N	CORPOICA
13	CL 50	OBONUCO OBANDO 98	CORPOICA
14	L1		
15	L3		
16	L4		
17	L5		
18	L6	SELECCIONES EN LA GENERACION F6 DEL DEL CRUZAMIENTO (SEQUIA 96 X CRESPO) X GUALMATAN	FACIA-UN
19	L7		
20	L8		
21	L9		
22	L11		
23	L12		
24	L14	SELECCIONES DE LA GENERACION F6 DEL CRUZAMIENTO (F623 X SEQUIA 96) X GUALMATAN.	FACIA-UN
25	L17	F623 es una selección individual obtenida en ICA YACUANQUER 90	
26	L18		
27	L19		
28	L20		
29	L21		
30	L22	SELECCIONES F6 DEL CRUZAMIENTO (L9 X C6) X F623	
31	L23		
32	L24	L9 es un material regional sembrado en Ospina y Túquerres	FACIA-UN
33	L25	mientras que C6 es el resultado del cruzamiento (YACUANQUER 90 X TIBA) X BOLA	
34	L27		
35	L28		
36	L29		
37	L30	SELECCIONES INDIVIDUALES EN GENERACION F6 DEL CRUZAMIENTO (YACUANQUER 90 X MILAN) X SUGAMUXI	FACIA-UN
38	L31		
39	L1F4		
40	L3F4	POBLACIONES DE SELECCIONES INDIVIDUALES EN ICA YACUANQUER 90	
41	L5F4		
42	L7F4	SEMBRADA EN EPOCA DE INVIERNO Y ALTA INCIDENCIA DE <i>Fusarium</i> spp	FACIA-UN
43	L9F4		
44	L11F4		
45	OBONUCO OBANDO 98	TESTIGO	FACIA-UN

Tabla 2. Escala de calificación de la reacción de los genotipos de trigo respecto a la fusariosis de la espiga.

Clasificación	Síntomas	Reacción
1	- Incidencia 0 - 5 %	- Altamente resistente (AR)
2	- Incidencia 5 - 15 %	- Resistente(R)
3	- Incidencia del 15 – 25 %	-Moderadamente resistente (MR)
4	- Incidencia del 25 – 50 %	-Moderadamente susceptible(MS)
5	- Incidencia Mayor del 50%	-Susceptible (S)

Escala válida para plantas, espigas y espiguillas.

Número de macollas efectivas. En la época de madurez de cosecha se registró el número de macollas efectivas sobre 10 plantas tomadas al azar por cada repetición.

Número de granos por espiga. En 10 plantas tomadas al azar se desgranó una espiga por planta, dando así, 10 espigas por repetición de cada genotipo. Se realizó el conteo de granos, promediándolos por espiga.

Peso de 1.000 granos. De cada unidad experimental se contaron 1.000 granos y se pesaron en una balanza electrónica.

Rendimiento. Se cosechó el total del área de la parcela útil de cada repetición por genotipo, realizando trilla, limpieza y pesaje respectivos. Se determinó la humedad del grano para el posterior ajuste de rendimiento del área sembrada a kilogramos por hectárea mediante la fórmula descrita por Benavides y Paredes (2004):

$$\text{kg/ha} = \frac{100 - \text{humedad actual}}{100 - \text{humedad deseada } 14\%} * \frac{\text{peso de la parcela} * 10.000 \text{ m}^2}{\text{área de la parcela}}$$

Análisis Estadístico. Los datos de componentes de rendimiento se evaluaron con análisis de varianza y las medias se compararon con prueba de Tukey, haciendo uso del programa informático INFOSTAT.

RESULTADOS Y DISCUSION

Obtención de inóculo. Se obtuvieron dos tipos de colonias del hongo *Fusarium* spp., las cuales se describen a continuación al igual que sus estructuras.

La primera presentó un crecimiento micelial rápido, de color violáceo intenso y rosado, esporulado y con presencia de micelio aéreo café rojizo. Además,

macroconidias hialinas, falcadas, rectas o ligeramente curvadas, con 3 a 7 septas y con una dimensión de 2,5 x 25 a 50 μ , con la celda apical puntuda y la basal en forma de pie. Características similares han sido descritas por otros autores para la especie *Fusarium graminearum* Swabe (Booth, 1977; Zillinsky, 1984; Sañudo y Castro, 1985; German, 1986; Kohli, 1987; Sañudo y Campuzano, 1995).

La segunda creció lentamente, con micelio de color rosado y tonalidades naranja. Sus macroconidias hialinas largas y curvadas con 50 a 80 μ de largo por 2,5 a 4 μ de ancho y con 3 a 6 septas, con celdas apicales y basales puntiagudas. Además, se presentaron clamidosporas hialinas, ovoides, unicelulares, de 9 – 12 x 10 – 14 μ , intercaladas en las hifas. Descripciones similares han reportado otros autores para la especie *F. culmorum* (W.G.Smith) Sacc (Zillinsky, 1984; Sañudo y Campuzano, 1995).

No obstante, en la actualidad la identificación de especies de *Fusarium* spp. asociadas a pudrición de espiga, son cada vez más precisas y sensibles, como es el caso de las técnicas moleculares con el uso de primers y sondas específicos (Zezza *et al.*, 2006; Niessen y Vogel, 1997).

Incidenia de FET en espiga. Los genotipos con calificación AR y R mostraron síntomas leves, sobresaliendo la línea L23 que presentó palidez de algunos granos y del raquis, en la época de madurez. Además, teniendo en cuenta el bajo porcentaje de incidencia en los genotipos AR, se puede afirmar que esta respuesta puede deberse a un mecanismo de resistencia pasiva, debido a características morfológicas como altura de planta, presencia de aristas, anteras retenidas y espigas compactas que dificulten el inicio de la enfermedad, tal como ocurre en otro tipo de interacciones patógeno-hospedante (Hammond y Jones, 1996; Ribichich y Vegetti, 2001; Agrios, 2005; López, 2007).

Lo anterior es descrito por Ribichich y Vegetti (2001); los cuales encontraron en ensayos realizados en La Plata (Argentina) que la variedad resistente SUMAI 3 de origen chino y la variedad susceptible PROINTA OASIS, difirieron en el período de incubación, a pesar de ser inoculadas el mismo día. Presentando la variedad PROINTA, las expresiones más severas de fusariosis, mientras que SUMAI 3 presentó síntomas leves en estado avanzado del cultivo impidiendo el desarrollo de la enfermedad.

Por otra parte, ninguno de los genotipos AR y R mostraron reacción de hipersensibilidad, lo cual indica que no hay genes de resistencia vertical, y sí la posibilidad de presentarse escape a la enfermedad por condiciones de tipo ambiental que resultan no conductivas para el desarrollo del patógeno en la planta (Agrios, 2005; López, 2007; Sañudo y Betancourth, 2005), lo cual implica la necesidad de realizar otras evaluaciones en diferentes regiones y condiciones ambientales para confirmar los resultados.

Tabla 3. Calificación de genotipos de trigo según la incidencia de la fusariosis en la espiga.

AR	R	MR	MS	S
L 23	CL20, L20, L18, L31, CL27, CL34, CL 42	L24, CL48, L1, L14, L7, L4, L28	CL17, L7F4, L11F4, L5	CL16, L8, L6, L3, L30, OBANDO, CL45, L22, L19, CL31, CL19, L9, CL3, CL50, CL35, L11, L29, L17, L5F4, L1F4, L12, L21, L9F4, L27, L25, L3F4

Se observa una relación parental entre los genotipos que presentaron resistencia a la fusariosis (Tabla 1), puesto que tienen en común el progenitor ICA YACUANQUER 90, que como lo afirma Bolaños (2004), presenta moderada resistencia a pudriciones de raíz y de espiga y a manchas foliares.

Lo anterior permite deducir con base en lo expuesto por Kohli (1987) y teniendo en cuenta la incidencia de la enfermedad, que en el ensayo existieron materiales con grados diferenciales de

resistencia, que puede ser dada por la capacidad del genotipo de dificultar o retardar la entrada y posteriormente el desarrollo de *Fusarium* spp.

Incidencia de FET en granos. En la (Tabla 4), se puede observar nuevamente los mismos genotipos con reacción AR y R, con baja incidencia de fusariosis en granos. Según Kohli (1987), es lógico esperar que aquellos genotipos que presentan la menor incidencia de la enfermedad en la espiga, mantengan bajos porcentajes de afección en los granos.

Tabla 4. Calificación de genotipos de trigo según la incidencia de la fusariosis en el grano.

Altamente resistente (AR)	Resistente (R)	Moderadamente resistente (MR)	Moderadamente susceptible (MS)	Susceptible (S)
L23	CL20, L20, L18, L31, CL42, CL34, CL27	L24, L14, L7, L4, L1, CL48, L7F4, CL17, L11F4, L28	L5, L6	CL 16, L3, L8, CL45, CL31 CL19, CL3, CL50, L9, OBANDO, CL35, L1F4, L19, L11, L12, L29, L17, L9F4, L21 L27, L5F4, L25, L22, L3F4, L30

Aunque en trigo no se conoce ningún genotipo inmune a la fusariosis (Villar de Galich, 2002), es importante resaltar que en esta especie existe variabilidad genética que posibilita encontrar materiales con resistencia a la penetración e invasión

del patógeno, y algunos con resistencia bioquímica o inducida, que promueve la degradación de la toxina deoxinivalenol (DON) (Jang-Yong, 2001; Villar de Galich, 2002; López, 2007; Dixon *et al.*, 1994; Dangl y Jones, 2001).

Por otra parte, consistentemente se observó una relación parental entre los genotipos AR y R, debido a que como se mencionó anteriormente, todos tienen como progenitor a ICA YACUANQUER 90.

Los genotipos de calificación MS y S presentaron síntomas como secamiento de los bordes de las glumas de color pajizo, que avanzó hasta secar las espiguillas y en algunas plantas con necrosis del raquis y los granos formados se arrugaban y los cubrían un micelio de color rosado. Descripciones similares sobre el desarrollo de la enfermedad en materiales susceptibles han sido hechas por diferentes autores (Gómez y Molina, 1986; Villar de Galich, 1987; Sañudo y Castro, 1985; Sañudo y Campuzano, 1995). Además, las diferencias de susceptibilidad entre cultivares es muy marcada cuando la presión de la enfermedad es de moderada a alta (Formento y de Souza, 2002; De Souza y Formento, 2003).

Según Karimi y Siddique (1991), el rendimiento de trigo está asociado con el número de granos por espiga y el peso de los granos. Los síntomas descritos anteriormente afectan la calidad del grano, tanto en su viabilidad (Rivadeneira y Yama, 1994; Gómez y Molina, 1986) como en la presencia de micotoxinas (Díaz *et al.*, 2002), haciendo de la FET una limitante importante para el cultivo. Aunque como lo afirma Kohli (1987), las diferencias entre genotipos pueden ser valoradas más por la incidencia que por la severidad de la enfermedad.

Número de macollas efectivas. Para esta variable se presentaron diferencias significativas entre el genotipo L1 y 25 materiales ($P < 0,0001$; CV: 12,45 y R^2 : 0,82), la comparación de promedios de Tukey, agrupó 20 genotipos sin diferencias significativas, con valores que oscilaron entre 1,78 a 2,75 macollas efectivas. En contraste se encontró un grupo de cuatro genotipos con los más bajos promedios con valores de 0,75 a 1 macolla efectiva, los cuales difieren del grupo mencionado anteriormente.

Es importante resaltar que genotipos con reacciones AR, R y MR a FET (Tablas 2 y 3) como: L1, CL48, L14, L23, L18, L20, y CL27 se encuentran entre los de mayor promedio de macollas efectivas. Sobre este particular, Bolaños (2004), afirma que genotipos resistentes pueden desarrollar mejor macollamiento efectivo y por ende mayor rendimiento.

Por otra parte, el grupo de genotipos con menor promedio de macollas efectivas son susceptibles a

la enfermedad, excepto CL34 y L31, coincidiendo con datos publicados por Sartory (1987). Además, es importante destacar que los genotipos Obando, L 19, L 17, L 21 y L 22, a pesar de ser susceptibles no presentaron diferencias con los de mayor promedio. En este caso, la enfermedad no alteró el proceso de formación de macollas, resultados similares describen Ribichich y Vegetti (2001); al evaluar distintos genotipos de trigo a FET modifican mucho en su reacción, debido a la variación en la virulencia, agresividad y grupos de compatibilidad vegetativa del patógeno.

Número de granos por espiga. Se presentaron diferencias significativas entre el genotipo L23 y 39 materiales ($P < 0,0001$; CV: 6,13 y R^2 : 0,97), pero sin diferencia con los genotipos L31, CL20, L20, L18 y CL27 con los mayores promedios que oscilaron entre 47,8 y 53,68 granos por espiga, los cuales además presentaron diferencias significativas con 24 genotipos, como lo indica la prueba de Tukey. Por el contrario, se encontró un grupo de nueve genotipos con los más bajos promedios con valores de 16,1 a 21,85 granos por espiga.

Como en la variable anterior, los genotipos de mayor promedio son aquellos que mostraron reacción AR (L23) y R (CL20, L20, L18, L31 y CL27), los cuales presentaron granos sanos, con escasa o nula presencia del patógeno y sin arrugamiento. Resultados similares obtuvo Mellado (2000); tras evaluar trigos harineros en la Zona Centro Sur de Chile, en su reacción a *Fusarium graminearum* Schw., las variedades resistentes obtuvieron mayor número de granos por espiga que las variables susceptibles.

Teniendo en cuenta que los genotipos se sometieron a las mismas condiciones edafoclimáticas en el desarrollo del experimento, el número de granos por espigas puede estar además, directamente relacionado con aspectos genéticos de cada genotipo (Sañudo y Castro, 1985; Sañudo y Betancourth, 2005).

Peso de 1.000 granos. Según el análisis de varianza ($P < 0,0001$; CV: 2,55 y R^2 : 0,97) existen diferencias significativas entre genotipos. Conforme con la comparación de promedio de Tukey se presentó un grupo de ocho genotipos con los mayores promedios y sin diferencias significativas entre ellos, con valores que oscilaron entre 51,59 y 54,94 g.

En contraste se encontró un grupo de seis genotipos con los promedios más bajos con valores de 33,67

a 40,77 g, siendo el genotipo CL31 el de menor promedio y diferente estadísticamente a los cinco genotipos restantes.

Para esta variable se encontraron en el grupo de mayor promedio genotipos de calificación R, MR, y

S; sobre este particular Mesterházy (1997), afirma que la variable de peso de 1.000 granos difiere en los ensayos de resistencia a enfermedades, ya que es un indicador inconstante de resistencia a propagación del patógeno y es un carácter que depende en alto grado del genotipo.

Tabla 5. Prueba de Tukey (α : 0,05; DMS 0,5862; Error 0,0436 y gl 132) para macollas efectivas de 45 genotipos de trigo en el municipio de San Juan de Pasto, corregimiento de Mapachico, Colombia.

Genotipo	Medias	n	
L1	2,35	4	A
CL 48	2,33	4	AB
L14	2,2	4	ABC
OBANDO	2,18	4	ABC
L24	2,1	4	ABCD
L7	2,1	4	ABCD
L20	2,08	4	ABCDE
L23	2,05	4	ABCDEF
L19	2,05	4	ABCDEF
L18	2,03	4	ABCDEFG
L17	1,98	4	ABCDEFGH
CL27	1,95	4	ABCDEFGHI
L22	1,95	4	ABCDEFGHI
L31	1,9	4	ABCDEFGHIJ
L1F4	1,85	4	ABCDEFGHIJK
CL19	1,85	4	ABCDEFGHIJK
L28	1,85	4	ABCDEFGHIJK
L12	1,85	4	ABCDEFGHIJK
L29	1,8	4	ABCDEFGHIJKL
L21	1,78	4	ABCDEFGHIJKLM
CL17	1,75	4	BCDEFGHIJKLM
L11F4	1,75	4	BCDEFGHIJKLM
L27	1,7	4	CDEFGHIJKLM
L30	1,7	4	CDEFGHIJKLM
L3	1,68	4	CDEFGHIJKLM
CL20	1,68	4	CDEFGHIJKLM
L3F4	1,65	4	CDEFGHIJKLM
L4	1,63	4	CDEFGHIJKLM
CL3	1,63	4	CDEFGHIJKLM
L6	1,58	4	DEFGHIJKLMN
CL16	1,58	4	DEFGHIJKLMN
CL42	1,5	4	EFGHIJKLMNO
L5	1,48	4	FGHIJKLMNO
L5F4	1,45	4	GHIJKLMNO
L7F4	1,4	4	HIJKLMNO
L9	1,38	4	IJKLMNO
CL31	1,33	4	JKLMNOP
L9F4	1,3	4	KLMNOP
L25	1,25	4	LMNOP
L11	1,23	4	LMNOP
L8	1,2	4	MNOP
CL34	1	4	NOP
CL50	0,93	4	OP
CL35	0,78	4	P
CL45	0,75	4	P

Letras distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0,05$).

Tabla 6. Prueba de Tukey (α : 0,05; DMS: 6,38033; Error: 5,1647 y gl: 132) LFA para número de granos por espiga de 45 genotipos de trigo en el municipio de San Juan de Pasto, corregimiento de Mapachico, Colombia.

Genotipo	Medias	n	
L23	53,68	4	A
L31	53,48	4	AB
CL20	52,93	4	ABC
L20	52	4	ABCD
L18	51,38	4	ABCDE
CL27	47,8	4	ABCDEF
L22	47,13	4	BCDEFG
L1	46,75	4	CDEFG
L5F4	46,6	4	CDEFG
L9F4	46,38	4	DEFGH
L24	46,28	4	DEFGH
L21	46,25	4	DEFGHI
CL42	45,78	4	DEFGHI
L4	45,63	4	DEFGHI
L14	45,6	4	EFGHI
CL48	44,35	4	FGHI
L9	44,08	4	FGHIJ
CL17	43,88	4	FGHIJ
L3F4	43,08	4	FGHIJ
L11	42,53	4	FGHIJK
OBANDO	41,05	4	GHIJKL
L25	40,15	4	HIJKL
L7	39,63	4	IJKLM
L28	37,75	4	JKLMN
L8	37,75	4	JKLMN
L11F4	36,28	4	KLMN
L7F4	36,25	4	KLMN
CL34	35,18	4	LMNO
L27	33,58	4	MNO
L6	33,5	4	MNO
L17	33,48	4	MNO
L5	33,43	4	MNO
L29	32,05	4	NO
L1F4	29,6	4	OP
L30	24,55	4	PQ
L3	22,58	4	QR
CL16	21,9	4	QRS
CL19	21,85	4	QRS
L12	21,58	4	QRS
L19	20,8	4	QRS
CL45	20,6	4	QRS
CL50	19,33	4	QRS
CL3	18,23	4	QRS
CL31	16,38	4	RS
CL35	16,1	4	S

Letras distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0,05$).

Ribichich y Veguetti (2001), opinan diferente, al afirman que la variedad SUMAI 3 resistente a *Fusarium graminearum* presenta buen peso de granos (50-55 g)

por 1.000 granos debido a dicha condición. Selecciones recurrentes de genotipos resistentes al patógeno, también incrementaron el peso de mil granos (Trottet, 1988).

Tabla 7. Prueba de Tukey (α : 0,05; DMS: 3,353; Error: 1,4264 y gl: 132) para peso de 1.000 granos de 45 genotipos de trigo en el municipio de San Juan de Pasto, corregimiento de Mapachico, Colombia.

Genotipo	Medias	n	
CL3	54,94	4	A
L31	54,16	4	AB
OBANDO	53,82	4	ABC
CL34	53,04	4	ABCD
CL48	52,42	4	ABCDE
L14	52,17	4	ABCDEF
L28	52,1	4	ABCDEF
CL27	51,59	4	ABCDEF
L12	51,36	4	ABCDEF
L4	50,8	4	BCDEFGH
L6	50,4	4	CDEFGHI
L1F4	50,32	4	DEFGHI
L29	50,2	4	DEFGHI
CL42	50,11	4	DEFGHI
L30	50,05	4	DEFGHI
L5F4	49,52	4	EFGHIJ
L3F4	49,28	4	EFGHIJ
L18	49,02	4	FGHIJK
L7F4	48,27	4	GHIJKL
CL45	48,08	4	HIJKL
L7	48,04	4	HIJKL
CL16	47,78	4	IJKL
L3	46,68	4	JKLM
L11	46,27	4	JKLMN
L21	46,27	4	JKLMN
CL19	45,92	4	JKLMN
CL50	45,91	4	JKLMN
L23	45,81	4	JKLMN
L27	45,29	4	LMN
L1	45,22	4	LMN
CL17	45,17	4	LMN
L5	45,1	4	LMN
L24	45,02	4	LMN
L9F4	45,01	4	LMN
L17	43,93	4	MNO
L25	43,91	4	MNO
L8	42,98	4	NOP
L11F4	41,56	4	OPQ
CL35	41,25	4	OPQ
CL20	40,77	4	OPQR
L20	40,6	4	OPQR
L19	39,79	4	PQR
L22	38,54	4	QR
L9	37,44	4	R
CL31	33,67	4	S

Letras distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0,05$).

Rendimiento. Para esta variable, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre genotipos ($P < 0,0001$; CV: 6,61 y R^2 : 0,97), sobresaliendo de acuerdo a la prueba de comparación

de medias, el genotipo L31 ($3,23 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), el cual supera estadísticamente a 43 de los genotipos evaluados. Además, se destacó un grupo de 11 genotipos que obtuvieron los más altos promedios de rendimiento

sin presentar diferencias estadísticas significativas entre ellos; exceptuando el genotipo L31, sus valores oscilaron entre 2,35 y 3,23 toneladas por hectárea.

Tabla 8. Prueba de Tukey (Alfa: 0,05; DMS: 0,35; Error: 0,0155 y gl: 132) para Rendimiento de 45 genotipos de trigo en el municipio de San Juan de Pasto, corregimiento de Mapachico, Colombia.

Genotipo	Medias	n	
L31	3,23	4	A
CL27	2,9	4	AB
L18	2,8	4	BC
CL48	2,66	4	BCD
L4	2,65	4	BCD
L14	2,63	4	BCD
L21	2,47	4	CDE
L5F4	2,4	4	DEF
CL42	2,35	4	DEF
L1	2,35	4	DEF
L23	2,35	4	DEF
L24	2,27	4	EFG
L20	2,26	4	EFGH
L9F4	2,22	4	EFGHI
CL20	2,22	4	EFGHI
L3F4	2,21	4	EFGHIJ
L22	2,2	4	EFGHIJ
L11	2,19	4	EFGHIJK
CL17	2,12	4	EFGHIJK
CL34	2,08	4	FGHIJKL
L7	2,07	4	FGHIJKL
L28	1,98	4	GHIJKLM
OBANDO	1,92	4	GHIJKLMN
L25	1,92	4	HIJKLMN
L7F4	1,88	4	IJKLMN
L6	1,87	4	JKLMN
L8	1,84	4	KLMN
L29	1,77	4	LMN
L9	1,76	4	LMN
L11F4	1,72	4	MN
L17	1,66	4	MN
L5	1,65	4	MNO
L1F4	1,64	4	MNO
L27	1,61	4	NO
L30	1,31	4	OP
CL16	1,16	4	PQ
CL19	1,16	4	PQ
L12	1,14	4	PQ
CL3	1,1	4	PQ
CL45	1,06	4	PQR
L3	1,03	4	PQR
L19	0,9	4	QRS
CL50	0,87	4	QRS
CL35	0,72	4	RS
CL31	0,64	4	S

Letras distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0,05$).

El 76,6% de los genotipos evaluados presentaron rendimientos inferiores al grupo anteriormente mencionado, los cuales oscilaron entre 0,64 a 2,27 toneladas por hectárea.

Teniendo en cuenta la producción promedio departamental 2 ton·ha⁻¹ (Sañudo *et al.*, 2005), encontraron que los genotipos L23 y L18, L31, CL27, CL42, L24 y L14, los cuales se califican como (R) y (MR) respectivamente, superaron este promedio. Este comportamiento puede explicarse como un efecto positivo de la resistencia a la enfermedad sobre el rendimiento. Huang y Deng (1998), luego de estabilizar la resistencia en trigo a *Fusarium graminearum* lograron incrementar el promedio de rendimiento en un 38%.

Por el contrario el grupo de menores promedios presentaron susceptibilidad al patógeno, corroborando lo afirmado por Miller, *et al.* (1989), quienes argumentan que la alta incidencia de FET afecta el rendimiento e incluso compromete el mismo dadas las características toxicológicas del patógeno.

CONCLUSIONES

De los genotipos evaluados diez presentaron resistencia a fusariosis en espiga de trigo (FET), destacándose el genotipo L23 que presentó calificación Altamente Resistente (AR) en la evaluación de incidencia en espiga y Resistente (R) en la evaluación de incidencia en grano y rendimiento (2,35 ton·ha⁻¹) superior al promedio departamental.

En relación al rendimiento, los genotipos L31 (3,23 t/ha) y CL27 (2,9 ton·ha⁻¹), tuvieron el mejor comportamiento, superando a 43 y 39 genotipos respectivamente y presentando reacción de resistencia R a la enfermedad.

En términos generales, en aquellos genotipos con reacción AR, R y MR se pudo determinar un efecto positivo de la resistencia a la enfermedad sobre el rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

Agrios, G. 2005. Plant pathology. Fifth edition. Elsevier, Academic Press, New York. 922 p.

Alexopoulos, C.J., C.W. Mims and M. Blackwell. 1996. Introductory micology. Fourth Edition. Wiley & Sons, New York. 378 p.

Arévalo, A. y E. Valverde. 1997. Evaluación y selección de germoplasma de trigo por resistencia a pudrición de espigas por (*Fusarium graminearum*). Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 170 p.

Ávila, M.C. 2003. Manual de Laboratorio de Fitopatología. Grupo Imprenta y Publicaciones. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 135 p.

Benavides, C. y G. Paredes. 2004. Evaluación de líneas promisorias de trigo (*Triticum aestivum*) en la zona cerealista de Nariño. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 76 p.

Bolaños, A. 2004. Importancia del trigo en Nariño y el aporte institucional en su desarrollo. pp. 26-32. En: Compilación. CORPOICA. Pasto.

Booth, C. 1977. Fusarium. Laboratory Guide to the Identification of the Major Species. Commonwealth Mycological Institute. Kew, England Surrey. 57 p.

Cifuentes, A. y J. Castro. 1996. Control químico de dos enfermedades fungosas del trigo variedad ICA-Achalay y su efecto sobre los componentes de rendimiento en el Municipio de Pasto. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 148 p.

Dangl, J.L. and J.D. Jones. 2001. Plant pathogens and integrated defence responses to infection. Nature 411: 826–833.

De Souza, J. y N. Formento. 2003. Estudios de anthesis en trigo y su relación con la Fusariosis (*Fusarium graminearum* y *Fusarium* spp.). En: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-INTA. http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/trigo/otros_documentos/49.pdf. 2 p.; consulta: mayo 2009.

Diario La Republica. 2005. Acuerdo con Mercosur no afecta a los trigueros: Mincomercio. En: http://www.larepublica.com.co/noticia.php?id_notiweb=47432&id_subseccion=1&template=noticia&fecha=2005-12-05. 2 p.; consulta: noviembre 2006.

Díaz, M., S. Pereyra, S. Stewart y J. Mieres. 2002. Fusariosis de la espiga en trigo y cebada. Hoja de divulgación No. 79. INIA, Uruguay.

- Dixon, R.A., M.J. Harrison and C.J. Lamb. 1994. Early events in the activation of plant defense responses. *Annual Review of Phytopathology* (32): 479–501.
- Formento, N. y J. De Souza. 2002. Estimación de la "fusariosis de la espiga" (*Fusarium graminearum* y *Fusarium* spp.) del trigo en la provincia de Entre Ríos-Año 2002. Área de Investigación en Producción Vegetal. Patología Vegetal. Bolsa de Cereales de Entre Ríos. Proyecto SIBER INTA-EEA. Paraná. 230 p.
- German, C. 1986. Agentes patógenos de cosecha y postcosecha en cuatro variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el departamento de Nariño. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 32 p.
- Gobernación de Nariño. 2006. Consolidado agrícola, acuícola y pesquero-Nariño 2006. En: http://www.gobernar.gov.co/secretarias/agricymedam_documentos/copiadetransitorios3030.pdf; consulta: abril 2007.
- Gómez, C.A. y L.A. Molina. 1986. Agentes patógenos de cosecha y post-cosecha en cuatro variedades de trigo *Triticum aestivum* L. en el Departamento de Nariño. 232 p. En: Memorias. Curso seminario sobre aspectos fitosanitarios de trigo, cebada y frijol. Universidad de Nariño. Pasto.
- Hammond-kosack, K. and J. Jones. 1996. Resistance gene-dependent plant defense responses. *Plant Cell* 8(10): 1773-1791.
- Huang, Y. and J. Deng. 1998. Preliminary analices of the effectiveness of utilization of Taigu genetics male sterile wheat in recurrent selection and complex crossing. pp. 1105-1108. In: Proc. Seventh Intnatl Wheat Genetics Symp. Cambridge, U.K.
- Karimi, M.M. and K.H.M. Siddique. 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research* 42(1): 13-20.
- Kohli, M. 1987. Taller sobre la fusariosis de la espiga en América del Sur. CIMMYT. México. 144 p.
- Liddell, C.M. 2003. Systematics of *Fusarium* species and allies associated with *Fusarium* head blight. pp. 35-43. In: Leonard, K. and W. Bushnell (eds.). *Fusarium* Head Blight of wheat and barley. APS Press, USA.
- López, C. 2007. Fitopatología molecular. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. 145 p.
- Mellado, Z.M. 2000. Mejoramiento de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) en la zona centro sur de Chile. II. Análisis del rendimiento y variables asociadas en trigos de primavera. *Agricultura Técnica* 60(1): 32-42.
- Mesterházy, A. 1997. Methodology of resistance testing and breeding against *Fusarium* head blight in wheat and results of the selection. *Cereal Research Communications* 25(3): 631-637.
- Miller, J., J. Young and R. Sampson. 1989. Biochemical nature of micotoxins and host tolerance. pp. 22. Workshop on *Fusarium* head blight and related mycotoxins. CIMMYT. Ciudad Obregon, México.
- Niessen, M.L. and R.F. Vogel. 1997. Specific identification of *Fusarium graminearum* by PCR with gaoA targeted primers. *Systematic and Applied Microbiology* 20(1): 111-123.
- Ribichich, K. and A. Vegetti. 2001. Fusariosis de la espiga de trigo: evaluación de caracteres exomorfológicos asociados a la resistencia. *Revista Facultad de Agronomía-La Plata* 104(2): 121-127.
- Rivadeneira, C. y S. Yama. 1994. Identificación de microorganismos que afectan la viabilidad de semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) variedad Tota 63. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto. 130 p.
- Sañudo, B. y C. Betancourth. 2005. Fundamentos de fitomejoramiento. Editorial Universidad de Nariño, Pasto. 150 p.
- Sañudo, B., G. Meneses, C. Betancourth, J. Zambrano y J. Burbano. 2005. Alternativas para un manejo sustentable de los cereales en la región Andina de Nariño. Editorial Universidad de Nariño. Pasto. 95 p.
- Sañudo, B. y L. Castro. 1985. Principales enfermedades que afectan al trigo. En: Cursos de actualización en cereales menores para ingenieros agrónomos en Boyacá. FENALCE, Tunja. 34 p.

- Sañudo, B. y F. Campuzano. 1995. Especies de *Fusarium* causantes de la pudrición de espigas del trigo en el departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas* 13(1-2): 36-46.
- Sartory, J. 1987. Evaluación de resistencia de la fusariosis del trigo en condiciones controladas y en campo. pp. 71-75. En: Coolí, M.M. (ed.). Taller sobre la Fusariosis de la espiga en América del Sur: México. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT, México. 144 p.
- Sutton, J. 1982. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 4:195-209.
- Trottet, M. 1998. Use of genio male sterility for breeding wheat lines resistant to *Leptosphaeria nodorum* and *Fusarium graminearum*. Results on a first cycle and prospect. pp. 1199-1202. In: Proceedings Seventh International Wheat Genetics Symposium. Cambridge.
- Villar de Galich, M. 2002. Capítulo 11: Fusariosis de la espiga de trigo. pp. 50-57. En: Franchina, J., A. Saavedra y L. Segura. Trigo. Actualización 2002. INTA.
- Villar de Galich, M.T. 1987. Importancia y difusión de la Fusariosis del trigo en Argentina. pp. 7-17. En: Memorias. Taller sobre la fusariosis de la espiga en América del Sur. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT. Encarnación, Paraguay.
- Wiese, M.V. 1987. Compendio de enfermedades en trigo. Primera edición. Editorial Hemisferio Sur. Méjico. 106 p.
- Xu, X. 2003. Effects of environmental conditions on the development of *Fusarium* ear blight. *European Journal of Plant Pathology* 109(7): 683-689.
- Jang-Yong, Lee. 2001. Innovaciones en el mejoramiento de trigo para obtener resistencia a las enfermedades. En: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT, http://www.cimmyt.org/whatisimmyt/AR99_2000Spa/futuro/innovaciones/innovaciones.htm.
- Zeza, F., M. Pascale, G. Mulé and A. Visconti. 2006. Detection of *Fusarium culmorum* in wheat by surface plasmon resonance-based DNA sensor. *Journal of Microbiological Methods* 66: 529-537.
- Zillinsky, F.J. 1984. Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Méjico. 142 p.