

EFFECTO DE LA MANCHA DE LA HOJA SOBRE LA DURACIÓN DEL ÁREA FOLIAR VERDE, DINÁMICA DEL N, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TRIGO

CASTRO, A.C.^{1,2}, GOLIK, S.I.² & SIMÓN, M.R.²

RESUMEN

La mancha de la hoja del trigo (*Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt, in Cohn, (anamorfo *Zymoseptoria tritici*) disminuye el rendimiento y la calidad de los granos. El objetivo fue analizar la duración del área verde, la acumulación y partición de nitrógeno (N) al grano bajo distintas concentraciones de *M. graminicola* y su efecto sobre el rendimiento y calidad. Se realizó un ensayo en parcela dividida con tres repeticiones, la parcela principal fue la concentración de inóculo: sin inóculo, baja y alta concentración de esporas y la subparcela siete cultivares de trigo. Se determinó severidad, área bajo la curva del progreso de la enfermedad, duración del área foliar verde, removilización-absorción de N, rendimiento y componentes, % proteína-gluten. Los tratamientos inoculados incrementaron el área bajo la curva de progreso de la enfermedad, disminuyeron la duración del área foliar verde afectando el rendimiento y sus componentes en forma diferencial entre cultivares, la removilización de N y, en menor medida, su acumulación post-antesis, provocando reducción en el contenido de N en grano. El % de proteína-gluten se incrementó por un efecto de concentración al disminuir el rendimiento. *Palabras claves:* *Mycosphaerella graminicola*, duración área foliar verde, removilización-acumulación N, rendimiento, trigo pan.

SUMMARY

Septoria Leaf Blotch (*Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt, in Cohn, (anamorfo *Zymoseptoria tritici*) reduce the grain yield and quality in wheat crops. The aim was to analyze the green leaf area duration, N (nitrogen) accumulation and remobilization on grain and quality in wheat cultivars under three different concentrations of *M. graminicola*. The experimental design was a split-plot design with three replications. The main plot was the inoculum concentration: without inoculum, low and high spores concentration, and the subplots were seven cultivars. Disease severity, area under disease progress curve, green leaf area duration, remobilization and N uptake, grain protein and gluten content were determined. The highest area under disease progress curve values were found in the ino

1.- CONICET

2.- Cerealicultura, Departamento de Tecnología Agropecuaria y Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. CC 31. (1900) La Plata, provincia de Buenos Aires. Email: ingeniera.anacastro@gmail.com
Manuscrito recibido el 27 de julio de 2015 y aceptado para su publicación el 11 de noviembre de 2015.

culated treatments. Green leaf area duration was reduced by inoculum concentration affecting grain yield and their components. Septoria Leaf Blotch reduced N remobilization, whereas post anthesis N uptake was less affected producing lower N grain content. Despite this, protein and gluten grain content increased by a concentration effect due to a decrease in grain yield in the diseased treatments. *Key words: Mycosphaerella graminicola, green leaf area duration, N remobilization- N accumulation, grain yield, wheat.*

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades constituyen los factores bióticos más importantes que afectan el cultivo de trigo en Argentina [2], generando disminuciones tanto en el rendimiento como en la calidad. Las pérdidas del área foliar debidas a enfermedades reducen la producción de fotoasimilados y producen una menor translocación de los mismos a la espiga y a los granos obteniéndose un menor número de granos por espiga y una caída en el peso de mil granos. Eyal *et al.* (1987) estimaron que a nivel mundial las pérdidas causadas por la mancha de la hoja ocasionada por *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Schroeter, in Cohn (teleomorfo); *Zymoseptoria tritici* Rob ex Desm (anamorfo) son del 31 al 54%. En Pergamino (Argentina), Annone (1987), determinó que con niveles de severidad del 40% en hoja bandera, el peso de los granos se reducía en un 7 a 8%. Galich *et al.* (1986), en Marcos Juárez, informaron disminuciones de rendimiento que variaron entre un 20 y 30 % en cultivares de ciclo intermedio y de 9 a 17 % en otros de ciclo corto y Simón *et al.* (1996, 2002, 2003) también reportaron pérdidas de rendimiento superiores al 30% y reducciones en el peso de mil granos en infecciones tardías entre 3 a 13%. Cortese *et al.* (1998), determinaron que el peso de mil granos y granos.m⁻² fueron los componentes del rendimiento que manifestaron

las mayores reducciones, variando su magnitud según la susceptibilidad del cultivar entre el 40 y el 60 % respecto al testigo sin enfermar.

El nitrógeno (N) es un elemento esencial para lograr altos rendimientos y calidad en trigo, su contenido en el grano proviene de dos fuentes: (1) N almacenado antes de anthesis y remobilizado al grano durante el llenado del grano, que en los cereales invernales, representa alrededor del 75- 80 % y (2) N absorbido durante el llenado del grano. Su absorción y partición se encuentra determinada en gran medida por la disponibilidad y demanda durante varios estados fenológicos del cultivo [6]. Si bien la removilización de N de las partes vegetativas constituye la mayor parte del N final en los granos [28], en condiciones de alta fertilidad del suelo la absorción post-anthesis resulta importante y está positivamente correlacionada con la proteína del grano y con el índice de cosecha de N ([22][29]). A su vez, Barbottin *et al.* (2005) encontraron que la removilización de N depende de la captación de N post-anthesis y de la presión de las enfermedades durante el período de llenado del grano. Se ha demostrado que las enfermedades foliares a menudo disminuyen la removilización de N al grano a través de la retención del N en las partes enfermas de las plantas ([5][17]), aunque esto puede variar con el tipo de patógeno involucrado. En los cereales, algunos au-

tores han demostrado que las enfermedades foliares reducen la absorción de N y su translocación, en el caso de epidemias que ocurren antes de la floración, sin embargo, raramente afectan la absorción de N en post-floración ([5][30]). Sin embargo Bancal *et al.*, 2008 determinaron que las enfermedades afectan más la absorción de N post-floración que la removilización de N, lo que puede depender del estadio en que se presente la enfermedad. En la bibliografía no existe información detallada sobre el efecto de los tipos de patógenos (biotrófos, hemibiotrófos y necrotrofos) inoculados separadamente sobre la removilización y absorción post-antesis del N. Dimmock y Gooding (2002), sostienen que cuando los patógenos involucrados son necrotrofos, éstos provocan una disminución del área foliar fotosintéticamente activa, reducen la fotosíntesis y la acumulación de carbohidratos principalmente. Dichos autores concluyen que estos patógenos afectan más el rendimiento que la acumulación de N, provocando un incremento en el porcentaje de proteína. Los organismos biotrofos, por el contrario, provocan mayor daño sobre la acumulación y partición del N en el grano que el que provocan sobre la acumulación y partición de la materia seca ([11][14]). Para el caso de los patógenos hemibiotrofos como el caso de *M. graminicola*, el comportamiento es variable. Hay pruebas que sugieren que *M. graminicola* regularmente disminuye el rendimiento de proteína en grano por unidad de superficie, reduciendo tanto la captación como partición de N al grano ([19][21]). Sin embargo, otros investigadores han encontrado una disminución del rendimiento e incrementos en el contenido de proteína debido a un proceso de concentración [11].

Considerando los antecedentes mencio-

nados, se plantea como hipótesis que la mancha de la hoja causada por *M. graminicola* afecta tanto el rendimiento como la calidad del grano de trigo, a través de una menor duración del área foliar, menor removilización y absorción post-antesis de N. El objetivo del presente trabajo fue analizar la duración del área foliar verde, la acumulación y partición de N al grano bajo distintas concentraciones de *M. graminicola* y su efecto sobre el rendimiento y sus componentes, el % de proteína y gluten en cultivares de trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del ensayo

Los ensayos se realizaron en la Estación Experimental Julio Hirschhorn, localizada en Los Hornos, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), sobre un suelo Argiudol típico con ligeras deficiencias de drenaje interno en 2010 y 2011. El diseño de los ensayos fue en parcelas divididas con tres repeticiones. La parcela principal correspondió a la concentración de inóculo para generar un gradiente de severidad y la subparcela a siete cultivares de trigo. Los tratamientos de inoculación consistieron en: testigo sin inóculo (SI), baja concentración (BC: 10^5 esporas. ml^{-1}) y alta concentración (AC: 5.10^6 esporas. ml^{-1}) de *M. graminicola*. Los cultivares seleccionados fueron: Klein Zorro (K. Zorro), Klein Chajá (K. Chajá), ACA 801, Klein Flecha (K. Flecha), R. Centinela (R. Centinela), Buck Brasil (B. Brasil) y Buck 75 Aniversario (B. 75 Aniversario). Entre cada parcela principal se sembró avena para disminuir la transferencia de inóculo.

La superficie de cada parcela fue de 7,70 m². Los ensayos se fertilizaron con 50 kg de P como fosfato diamónico y 100 kg de N como úrea a la siembra.

Preparación del inóculo de M. graminicola y su aplicación

El inóculo de *M. graminicola* se preparó a partir de una mezcla de aislados del patógeno (FALP24707, FALP20107, FALP20207 y FALP20507); los tres primeros provienen de la localidad de Nueve de Julio y el último a la localidad Pla de la provincia de Buenos Aires, región triguera II Sur. Los mismos se colocaron en cajas de Petri conteniendo agar malta y puestos a incubar en condiciones de 18-20°C de temperatura y alternancia de 12 h de luz y oscuridad. Luego de 6-7 días se preparó el inóculo raspando con un cepillo y agua destilada los conidios de las cajas de Petri. Luego se diluyó de manera de obtener las dos concentraciones ya mencionadas. La concentración de esporas fue medida con hemacitómetro Neubauer y a la suspensión se le agregó tensioactivo (1 ml de Tween 20 por litro). En cada año se realizaron dos inoculaciones en los estados de crecimiento (EC) 2-3 hojas (EC 12) y en pleno macollaje (EC 23) [31].

Evaluaciones y determinaciones de los factores evaluados en los ensayos

En el transcurso de los ensayos se realizaron tres cortes, en los estados de crecimiento EC 31 (primer nudo visible), EC 60 (antesis) y EC 82 (grano pastoso), cada una de estas muestras estuvo conformada por el total de plantas obtenidas en 1,5 m lineales, que posteriormente fueron secadas en estufa a 70°C durante 48 h. De cada muestra re-

colectada se tomó una sub-muestra de siete plantas sobre la que se evaluó por apreciación visual, la severidad de las enfermedades foliares manifestadas, expresándose ésta a través de un valor porcentual. La medición se llevó a cabo en las dos hojas verdes superiores desde la última desplegada y se promediaron los valores. Se calculó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) según fórmula de Shaner y Finney (1977). El área foliar fue medida con programa image J [16], sobre hojas con al menos 10% de superficie verde de 3-4 macollos de cada parcela. El material fue pegado sobre hojas de papel que luego fueron digitalizadas para su medición. Se determinó además la duración del área foliar verde (DAFV) de acuerdo a la fórmula trapezoidal $DAFV = \sum [IAFV_i + IAFV_{i+1}/2] \times (t_{i+1} - t_i)$ donde IAFV es el índice de área foliar verde y $(t_{i+1} - t_i)$ es el intervalo entre dos evaluaciones consecutivas.

Se evaluó, además, el % de N por el método de micro-Kjeldahl en antesis y madurez, previa división del material en paja y grana (que constituyen la parte vegetativa) y granos. A partir del % de N y la materia seca correspondiente, se determinó en floración (EC55-60) y en madurez (EC 82), el N total acumulado en g.m⁻². También se determinó la absorción de N post-floración como la diferencia entre el contenido de N de la planta total a madurez y a floración y el N removilizado de los órganos vegetativos como la diferencia entre el N de la parte vegetativa a floración y el N de la parte vegetativa a madurez ([3][11]). Se determinó el porcentaje de proteína del grano (% de N x 5.7) y gluten húmedo - seco (Glutomatic 2200).

También se determinaron los componentes del rendimiento: espigas.m⁻² (esp.m⁻²) por el conteo en tres fracciones de 1 m li-

neal en cada parcela, el número de granos. espiga⁻¹ (gran.esp⁻¹) por trilla de 30 espigas de cada parcela, peso de mil granos (PMG) contando y pesando los granos obtenidos de las 30 espigas. A partir de ello se calcularon los granos.m⁻² y por cosecha de la totalidad de la parcela se determinó el rendimiento (kg.ha⁻¹).

Análisis estadístico y datos meteorológicos

Los datos meteorológicos correspondientes a ambas campañas se obtuvieron de la Estación agrometeorológica Davis ubicada en la Estación Experimental de UNLP.

Se realizó un análisis de la varianza (ANAVA) conjunto para los dos años evaluados en un diseño de parcelas divididas con bloques al azar con programa estadístico Genstat 12 Ed [15]. Las medias se compararon por el test de LSD (p<0.05).

de 8% mayor en octubre de 2010 con respecto a octubre de 2011. El año 2011 tuvo valores de precipitación 39,8% superiores en comparación con 2010. En la siembra, en 2011, las precipitaciones superaron los valores habituales para la región. En antesis (octubre) y el llenado del grano (noviembre y diciembre) la precipitación fue 49,5% y 77,7% mayor, respectivamente, en 2011 que en 2010. La humedad fue muy alta para ambas temporadas en todos los meses (Tabla 1).

Severidad de la mancha de la hoja y duración del área foliar verde

Hubo diferencias estadísticamente significativas entre años (A) para la severidad en EC 31 y 55 indicando que la severidad resultó superior en 2011. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes concentraciones de inóculo (CI) (Tabla 2), en los tres estados de crecimiento, en ambos años evaluados, a mayor CI, mayor severidad. Los cultivares mostraron diferencias altamente significativas en EC 31 y EC 55. En EC 31 en 2010 K. Chajá obtuvo el valor más bajo y se diferenció del cultivar ACA 801 que fue el más afectado mientras que en 2011 los cultivares B. Brasil, K. Chajá, fueron los que presentaron menor severidad y se difere-

RESULTADOS

Variables ambientales

La temperatura media y la radiación total desde la siembra hasta la cosecha fueron similares para ambos años. La radiación fue

Tabla 1: Condiciones ambientales durante las campañas 2010–2011. Los Hornos, La Plata, Argentina.

Meses	Temperatura (°C) media mensual		Radiación media mensual (W.m ⁻²)		Precipitaciones mensuales (mm)		Humedad relativa mensual (%)	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Junio	10,6	10,1	1793	1758	54,6	129,8	78	77
Julio	9,4	8,9	1872	2031	105,6	98,7	79	73
Agosto	9,8	9,7	2513	2260	26,8	56,0	76	76
Septiembre	13,1	13,7	3171	3665	111,0	21,4	78	64
Octubre	14,8	15,2	4621	4239	40,4	60,4	73	73
Noviembre	18,0	20,3	5302	5586	28,0	81,8	70	64
Diciembre	22,6	20,4	6128	5852	51,0	58,6	58	68
Promedio	14,0	14,0	3628	3627	59,6	72,4	73	70

ron del resto con valores intermedios y de R. Centinela y K. Zorro que obtuvieron los valores mayores. La interacción A × CI fue significativa en EC 31 (Tabla 2), mostrando que la severidad fue superior en 2011. En EC 55 en ambos años, ACA 801 fue el cultivar con mayor severidad mientras que K. Flecha presentó la menor severidad. Entre los cultivares no se detectaron diferencias en EC 82. El análisis del ABCPE permitió observar la evolución de la enfermedad en el ciclo del cultivo y fue afectada por el año, la CI, el cultivar y la interacción A × CI en forma estadísticamente significativa. Se observó que en 2011 el ABCPE fue considerablemente mayor que 2010 y a mayor CI, el ABCPE se incrementó en ambos años (Tabla 3). En 2010 K. Flecha obtuvo

el menor valor de ABCPE y se diferenció de ACA 801 y B. Brasil que fueron los cultivares más afectados. En 2011 el cultivar B. 75 Aniversario fue el menos afectado seguido por K. Flecha, K. Zorro, K. Chajá y B. Brasil que se diferenciaron de ACA 801 y R. Centinela que presentaron mayor enfermedad. La DAFV también fue modificada estadísticamente por el año y la CI. En 2011 la DAFV fue mayor con respecto a 2010. A mayor CI la DAFV se redujo considerablemente habiendo diferencias entre los tres tratamientos de inoculación (Tabla 3). No se detectaron diferencias entre los cultivares.

Dentro de cada columna y cada factor, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas. ($P < 0.05$ - LSD test).

Tabla 2: Cuadrados medios del ANAVA de severidad (dos hojas superiores) en los estados EC 31, EC 55 y EC 82, ABCPE y DAFV, de siete cultivares de trigo bajo tres tratamientos de inoculación con *M. graminicola* en 2010 y 2011.

Concentración Inóculo (CI)	2	443,77 **	2823,9 *	6859,8 *	7605763 **	23509,7 **
A × CI	2	116,72 *	33,15	522,9	518187 *	794,40
Error b	8	13,810	44,26	644	98933	457,30
Cultivar (Cu)	6	68,07 **	356,01 **	280,2	486294 *	448,70
A × Cu	6	55,1 **	96,34	423,2	236494	755,00
CI × Cu	12	5,220	39,60	89,2	60593	431,70
A × CI × Cu	12	6,170	63,15	73,8	54,477	271,60
Error c	72	12,750	79,41	208,2	111770	452,80

*Significativo $P < 0.05$. **Altamente significativo $P < 0.01$.

Tabla 3: Medias de severidad (dos hojas superiores), área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) y duración del área foliar verde (DAFV), para siete cultivares de trigo, bajo tres tratamientos de inoculación con *M. graminicola* en 2010 y 2011.

Tratamiento	Severidad (EC 31)		Severidad (EC 55)		Severidad (EC 82)		ABCPE		DAFV	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Concentración inóculo (CI)										
SI.	3,65 a	9,64 a	11,6 c	14,11 a	24,2 a	52,0 a	758,5 a	1459,0 a	111,2 c	194,0 c
BC	5,93 b	13,31 b	19,5 b	22,84 b	38,8 a	65,5 ab	1156,5 b	1951,0 b	80,4 b	156,2 b
AC	6,96 b	18,98 c	26,2 a	31,36 c	50,1 a	78,9 b	1423,0 c	2449,5 c	66,5 a	139,5 a
Cultivar (Cu)										
K. Zorro	5,19 ab	16,38 cd	19,4 a	21,33 abcd	28,8 b	57,3 a	1178,9 ab	1844,3 a	80,4 a	172,3 a
K. Chajá	3,62 a	12,36 b	16,6 a	19,70 abc	39,9 ab	70,1 abc	1082,9 ab	1917,9 a	78,5 a	174,5 a
ACA 801	7,49 b	13,97 bc	22,2 a	37,04 e	36,1 ab	77,4 c	1254,3 b	2538,2 c	81,1 a	156,3 a
K. Flecha	6,76 ab	14,07 bc	15,3 a	18,59 ab	37,7 ab	65,1 abc	974,7 a	1841,6 a	69,1 a	159,0 a
R. Centinela	5,00 ab	18,52 d	20,3 a	26,69 bcd	34,0 ab	70,2 abc	1188,0 ab	2207,4 b	93,2 a	152,8 a
B. Brasil	4,86 ab	7,39 a	21,3 a	28,82 bcd	46,2 a	57,7 ab	1236,1 b	1932,0 a	75,5 a	152,8 a
B.75 Aniversario	5,67 ab	13,91 bc	18,6 a	20,46 abc	41,1 ab	59,7 ab	1167,4 ab	1815,8 a	77,6 a	170,9 a

Dentro de cada columna y cada factor, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas. ($P < 0.05$ - LSD test).

Rendimiento y sus componentes

La CI y los cultivares y las interacciones A x CI y A x Cu presentaron diferencias significativas en el rendimiento y Esp.m². El número de Granos.esp⁻¹ presentó diferencias significativas entre CI y cultivares. El PMG presentó diferencias significativas para CI, cultivar y la interacción A x Cu. (Tabla 4).

El rendimiento fue mayor en 2011 y disminuyó con el incremento de la CI en ambos años, habiendo diferencias entre los tres tratamientos de CI (Tabla 4). En 2010, el cultivar R. Centinela obtuvo los mayores rendimientos, siguiéndole K. Zorro, K. Chajá, B. 75 Aniversario y con menor rendimiento ACA 801, K. Flecha y B. Brasil. En tanto, en 2011 K. Chajá y B. 75 Aniversario fueron los cultivares que obtuvieron mayor rendimiento y ACA 801 y B. Brasil obtuvieron los menores valores de rendimiento (Tabla 5).

El análisis de los componentes del rendimiento indica que los mismos disminuyeron con la CI aplicada significativamente. En cuanto a los cultivares, en 2010 K. Chajá se destaca en la cantidad de esp.m² producidas y en 2011 B. 75 Aniversario. El cultivar más afectado fue K. Flecha mostrando el menor número de espigas.m² en ambas campañas. El número de granos.esp⁻¹ fue mayor para K. Flecha en 2010 y K. Chajá en 2011 y el PMG fue mayor para B. 75 Aniversario en 2010 y para K. Zorro en 2011 (Tabla 5).

Dentro de cada columna y cada factor, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas. (P<0.05- LSD test).

Removilización y absorción de Nitrógeno

Se registraron diferencias estadísticamente significativas entre años y CI para el N removilizado y entre CI y cultivares para

Tabla 4: Cuadrados medios del ANAVA del rendimiento y sus componentes: espigas por metro cuadrado (Esp.m²), Granos.esp⁻¹ (granos por espiga) y peso de mil granos (PMG), de siete cultivares de trigo bajo tres tratamientos de inoculación con *M. graminicola* en 2010 y 2011.

		Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Esp.m ²	Granos.esp ⁻¹	PMG
Fuente de variación	gl				
Año (A)	1	58957483 *	807709 *	262,51	760,84
Error a	2	1035723	13580	87,67	137,51
Concentración Inóculo (CI)	2	33258998 **	61434 **	143,8 *	113,37 **
A x CI	2	1214372 *	15800 *	27,63	20,74 *
Error b	8	215257	2641	14,71	4,54
Cultivar (Cu)	6	2359512 *	34745 **	66,39 *	32,07 *
A x Cu	6	2159323 *	29204 *	46,82	22,15
CI x Cu	12	276062	1501	5,06	3,23
A x CI x Cu	12	404730	2116	5,27	1,76
Error c	72	615302	6955	25,99	10,6

Tabla 5: Medias del rendimiento y sus componentes: espigas por metro cuadrado (Espigas.m²), granos por espiga (Granos.esp⁻¹) y peso de mil granos (PMG), de siete cultivares de trigo bajo tres tratamientos de inoculación con *M. graminicola* en 2010 y 2011.

Tratamiento	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)		Esp.m ²		Granos.esp ⁻¹		PMG	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Concentración inóculo (CI)								
SI	4152,0 c	5872,7 c	412,3 c	529,9 b	35,7 b	40,5 c	41,2 b	37,6 c
BC	3261,2 b	4602,6 b	336,1 b	505,2 ab	35,2 ab	37,6 b	40,1 ab	35,2 b
AC	2726,2 a	3768,3 a	299,3 a	492,9 a	33,6 a	35,2 a	39,3 a	32,9 a
Cultivar (Cu)								
K. Zorro	3565,6 ab	4497,3 a	358,8 a	511,9 b	35,6 b	39,7 b	41,0 bc	37,8 c
K. Chajá	3465,5 ab	5805,0 c	380,0 b	469,4 a	34,4 ab	40,2 b	39,0 ab	36,1 bc
ACA 801	3196,4 ab	4381,0 a	355,0 a	574,6 bc	33,3 ab	34,4 a	38,0 a	32,0 a
K. Flecha	3091,0 a	4921,5 b	284,4 a	433,1 a	37,4 b	39,9 b	41,3 c	34,3 b
R. Centinela	3801,4 b	4163,5 a	369,1 b	449,5 a	37,3 b	34,0 a	39,2 b	37,3 c
B. Brasil	3083,4 a	4064,3 a	354,3 a	474,7 ab	31,4 a	36,2 a	40,8 bc	35,1 bc
B.75 Aniversario	3455,2 ab	5402,5 bc	343,0 a	652,3 c	34,7 b	39,9 b	41,9 c	34,3 b

el N en grano (Tabla 6). No se observaron diferencias estadísticamente significativas para el N absorbido post-antesis en los años, las distintas CI y los cultivares analizados (Tabla 6).

En el año 2010, se observaron diferencias estadísticamente significativas en el N removilizado y N en grano entre CI, no así para los cultivares ni para la interacción entre ambos factores. No se observaron diferencias estadísticamente significativas para el N absorbido post-antesis en las distintas CI y las variedades analizadas (Tabla 7). Al incrementarse la CI disminuyeron las tres variables analizadas, el N removilizado, el nitrógeno absorbido post-antesis y el porcentaje de N en el grano a madurez. Si bien la disminución del N absorbido post-antesis, con el aumento en la CI, no es significativa, existió una clara tendencia a su reducción (Tabla 7). Entre los cultivares seleccionados K. Zorro mostró la menor re-

movilización aunque al mismo tiempo fue el que mayor absorción post-antesis tuvo y presentó una alta concentración de N en grano a madurez. K. Flecha y ACA 801 fueron los que mayor cantidad de N tendieron a removilizar y los que menor cantidad de N absorbieron en post-antesis, junto al cultivar B. Brasil, presentando los tres los menores valores de concentración en grano de N.

En el año 2011 se observaron diferencias estadísticamente significativas en el N removilizado y el N en grano para las distintas CI y solo hubo diferencias estadísticamente significativas entre los cultivares para N en grano (Tabla 7). El N removilizado resultó significativamente menor al aumentar la CI. El N en grano también resultó significativamente menor al aumentar la CI, siendo los cultivares K. Chajá y B. 75 Aniversario los de mayor contenido (Tabla 7).

Tabla 6: Cuadrados medios del ANAVA de N removilizado, N absorbido post-antesis y N en grano, de siete cultivares de trigo bajo tres tratamientos de inoculación con *M. graminicola* en 2010 y 2011.

Fuente de variación	gl	N removilizado	N absorbido post-antesis	N en grano
Año (A)	1	3422*	3566	170,1
Error a	2	1378	1174	471,6
Concentración Inóculo (CI)	2	6271**	300	11823,7**
A x CI	2	361	572	114,5
Error b	8	485	755	250,5
Cultivar (Cu)	6	578	1072	922,8*
A x Cu	6	465	1271	604,0
CI x Cu	12	244	811	555,5
A x CI x Cu	12	499	1111	156,8
Error c	72	1241	1377	353,4

*Significativo $P < 0.05$. **Altamente significativo $P < 0.01$.

Dentro de cada columna y cada factor, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas. ($P < 0.05$ - LSD test).

Porcentaje de proteína y gluten

El % de proteína y gluten húmedo – seco fue similar en ambos años. La CI afectó estadísticamente a estos parámetros de calidad. Existieron diferencias entre cultivares en el % de gluten húmedo y seco, pero no en el % de proteína. El incremento en CI provocó un aumento del % de proteína y gluten. La interacción Año \times Cu fue significativa (Tabla 8 y 9).

En 2010 los cultivares K. Zorro, K. Flecha, B. Brasil y B. 75 Aniversario presentaron mayor % de gluten húmedo y seco, así como R. Centinela y K. Chajá tuvieron el menor valor de gluten. En 2011 ACA 801, K. Zorro y K. Flecha presentaron mayor % de gluten húmedo y seco mientras que B. 75 Aniversario y K. Chajá tuvieron los menores valores.

DISCUSIÓN

La severidad de la mancha de la hoja fue superior en 2011 debido a la mayor cantidad de precipitaciones acumuladas en el período de cultivo que junto a la temperatura y humedad favorecieron el desarrollo del patógeno. Los tratamientos inoculados presentaron el mayor valor de severidad en las tres evaluaciones registradas. La severidad se incrementó con el progreso del ciclo de los cultivares y con la dosis de inóculo aplicado. El cultivar ACA 801 fue el más afectado en las dos primeras evaluaciones, seguido por B. Brasil que también mostró alta severidad en la segunda y tercera evaluación.

Esto provocó que en ambos años el rendimiento se viera afectado y también sus componentes esp.m^{-2} , granos.esp^{-1} y el PMG, aunque en 2011 la mayor severidad de la mancha de la hoja observada redujo significativamente los granos.esp^{-1} y el PMG no siendo así en 2010, donde la ma-

Tabla 7: Medias de N removilizado, N absorbido post-antesis y N de siete cultivares de bajo tres tratamientos de inoculación con *M. graminicola* en 2010 y 2011.

Tratamiento	N removilizado (kg.ha ⁻¹)		N absorbido post antesis (kg.ha ⁻¹)		N en grano (kg.ha ⁻¹)	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Concentración inóculo (CI)						
SI.	58,9 a	79,2 c	39,5 a	23,8 a	98,4 b	103,0 c
BC	40,8 a	60,0 b	37,0 a	17,3 a	77,8 a	77,2 b
AC	39,2 b	52,9 a	29,1 a	17,0 a	68,3 a	69,9 a
Cultivar (Cu)						
K. Zorro	35,0 a	57,7 a	49,5a	23,2 a	84,4 a	80,9 a
K. Chajá	49,9 a	75,2 a	33,1a	24,9 a	82,9 a	100,1 b
ACA 801	50,1 a	55,0 a	28,4a	24,7 a	78,5 a	79,7 a
K. Flecha	51,6 a	58,3 a	20,0a	29,2 a	71,6 a	87,5 ab
R. Centinela	49,3 a	72,0 a	42,2a	2,5 a	91,5 a	74,6 a
B. Brasil	45,2 a	66,2 a	29,0a	3,6 a	74,3 a	69,8 a
B.75 Aniversario	42,9 a	63,5 a	44,3a	27,5 a	87,2 a	91,0 b

Tabla 8: Cuadrados medios del ANAVA para % de proteína, gluten húmedo y gluten seco, para siete cultivares de trigo bajo tres tratamientos de inoculación con *M. graminicola* en 2010 y 2011.

Fuente de variación		% Proteína	% Gluten Húmedo	% Gluten Seco
	GL			
Año (A)	1	52,422	4,015	0,9804
Error a	2	3,057	0,37	0,1232
Concentración Inóculo (CI)	2	19,572 *	29,734 *	2,8804 *
A x CI	2	6,644	0,652	0,2297
Error b	8	2,002	2,616	0,173
Cultivar (Cu)	6	1,934	16,11 **	1,9385 **
A x Cu	6	1,485	14,229 **	1,0511 *
CI x Cu	12	1,756	2,439	0,2446
A x CI x Cu	12	1,434	1,926	0,2577
Error c	72	1,314	2,364	0,3046

*Significativo $P < 0.05$. **Altamente significativo $P < 0.01$.

Tabla 9: Medias de % de proteína, % gluten húmedo y gluten seco, para siete cultivares de trigo bajo tres tratamientos de inoculación con *M. graminicola* en 2010 y 2011.

Tratamiento	% Proteína		% Gluten húmedo		% Gluten seco	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Concentración inóculo (CI)						
SI	10,2 a	9,97 a	21,17 a	20,82 a	7,57 a	7,53 a
BC	11,5 b	10,01 b	21,71 a	21,43 a	7,69 a	7,51 a
AC	11,8 c	10,76 c	22,62 b	22,55 b	8,07 b	7,92 b
Cultivar (Cu)						
K. Zorro	10,8 a	10,3 a	23,57 b	23,30 bc	8,18 b	8,17 c
K. Chajá	11,4 a	10,9 a	21,75 a	20,59 ab	7,61 ab	7,14 a
ACA 801	12,1 a	10,6 a	22,05 a	24,12 c	7,83 ab	8,33 c
K. Flecha	11,5 a	10,3 a	22,73 ab	22,93 bc	8,02 b	7,92 bc
R. Centinela	12,1 a	10,4 a	21,38 a	22,43 bc	7,42 a	7,66 b
B. Brasil	12,0 a	10,6 a	22,72 ab	21,83 b	7,97 b	7,50 b
B.75 Aniversario	11,6 a	9,6 a	22,72 ab	19,22 a	7,86 ab	6,94 a

yor severidad de la mancha de la hoja se dio principalmente hasta floración afectando principalmente al número de esp.m⁻² y en menor intensidad al número de granos.esp⁻¹ y PMG. Se registró una interacción significativa A × CI en las esp.m⁻² indicando que las diferentes CI redujeron las medias de esp.m⁻² en ambos años siendo más intensa la reducción en 2010 y habiendo diferencias significativas entre los dos años estudiados. Los resultados muestran que a medida que se incrementó el nivel de inoculación aplicado, el rendimiento disminuyó. La disminución del rendimiento también se explica por la reducción notable de la DAFV que provocó mermas del área fotosintéticamente activa.

El efecto que causa *M. graminicola* sobre el rendimiento y sus componentes depende del porcentaje de severidad y el momento de aparición de la enfermedad, Leitch y Jenkins (1995); Conry y Dunne (2001), observaron ante infecciones tempranas y severas, que el principal componente del rendimiento afectado fue el número de granos, Simón *et al.* (2002), encontraron que ante infecciones tempranas pueden afectar también el número de espigas.m⁻², mientras que en infecciones tardías, Simón *et al.* (1996), y Dimmock y Gooding (2002), observaron efectos sobre el peso de los granos.

Si bien no se encontró una interacción significativa entre el nivel de inóculo y los cultivares para rendimiento, existieron diferencias significativas en la disminución de rendimiento en cada cultivar. Esto coincide con los resultados obtenidos por Cortese *et al.* (1998). Se ha detectado la presencia de cultivares tolerantes a la mancha de la hoja (menores pérdidas de rendimiento frente a similares niveles de severidad) entre cultivares argentinos de trigo ([7][27]).

Se ha demostrado que las enfermedades

foliares a menudo disminuyen la removilización de N al grano a través de retención del N en las partes enfermas de las plantas ([5][17][30]) aunque esto puede variar con el tipo de patógeno involucrado. Sin embargo Bancal *et al.*, 2008 hallaron que las enfermedades foliares como la roya de la hoja (*Puccinia triticina*) o la mancha de la hoja afectan más la absorción de N post-floración que la removilización de N. Nuestros resultados coinciden con lo observado por McCabe *et al.* (2001); Ruske *et al.* (2001), los cuales muestran una significativa reducción en el contenido de nitrógeno en grano producto principalmente de la menor removilización y en menor medida de la absorción post-antesis. El año 2011 presentó mayores valores de removilización y menores de absorción post-antesis comparado con el año 2010, indicando algún tipo de estrés biótico, durante el llenado de granos. En promedio de ambos años, los cultivares B. Brasil, R. Centinela y K. Zorro perdieron menor porcentaje de rendimiento de grano (entre 28 y 32%) ante similares niveles de severidad mientras que ACA 801, K. Chajá, K. Flecha y B. 75 Aniversario perdieron entre 35 y 46% de rendimiento. Al incrementarse el gradiente de enfermedad, el % de proteína del grano aumentó en todos los cultivares significativamente. Los cultivares que incrementaron más su porcentaje de proteína fueron ACA 801 (28%) y K. Flecha (26%) al aumentar la CI, esto puede explicarse ya que, al disminuir el rendimiento se produce una concentración de la proteína. ACA 801, K. Flecha y K. Chajá también aumentaron el % de gluten. El resto de los cultivares aumentó el % de proteína en porcentajes menores (entre 3 y 14%). Estas tendencias observadas podrían sugerir la existencia de cultivares tolerantes a la enfermedad.

CONCLUSIONES

M. graminicola provoca reducción diferencial en rendimiento y sus componentes en los distintos cultivares de trigo

M. graminicola afecta principalmente la removilización de N al grano y en menor medida la absorción post-antesis.

No existieron diferencias estadísticamente significativas entre los cultivares en el nivel de removilización y absorción de N post antesis.

Los cultivares con mayor pérdida de rendimiento causado por la mancha de la hoja, incrementan más su porcentaje de proteína y gluten. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de proteína entre los cultivares pero sí han sido altamente significativas las diferencias entre los mismos en el porcentaje de gluten húmedo y seco.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- ANNONE, J.G. 1987. Panorama sanitario del cultivo de trigo, Campaña 1986/87. Carpeta de Producción Vegetal. Trigo. Tomo VIII. Inf. N°102. EEA Pergamino, INTA. 3 pp.
- 2 ANNONE, J.G; BOTTA, G Y IVANCOVICH, A. 1994. Ocurrencia de la mancha bronceada del trigo en el área norte de la provincia de Buenos Aires. Actas del II Congreso Nacional de Trigo y primer simposio Nacional de Cereales de Invierno. 205-208.
- 3 BANCAL, M. O; ROCHE, R Y BANCAL, P. 2008. Late Foliar Diseases in Wheat Crops Decrease Nitrogen Yield through N Uptake Rather than Through Variations in N Remobilization. *Annals of Botany* 102: 579–590.
- 4 BARBOTTIN, A; LECOMPTE, C; BOUCHARD, C Y JEUFFROY, M. H. 2005. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. *Crop Science* 45: 1141–1150.
- 5 BASTIAANS, L. 1993. Effects of leaf blast on growth and production of a rice crop. 1. Determining the mechanism of yield reduction. *Netherland Journal of Plant Pathology* 99: 323–334.
- 6 CAMPBELL, C. A Y DE JONG, R. 2000. Root-to-straw influence of moisture and rate of N fertilizer. *Canadian Journal of Plant Science, Ottawa* 81: 39-43.
- 7 CASTRO, A.C Y SIMÓN, M.R. 2014. Tolerancia a *Septoria tritici* en cultivares de trigo y su influencia en la calidad panadera. Resúmenes del Seminario Internacional de trigo. INIA La Estanzuela. Colonia, Uruguay. 27 al 29 Agosto 2014. pp 51.
- 8 CONRY, M. J Y DUNNE, B. 2001. Influence of number and timing of fungicide applications on the yield and quality of early and later-sown spring malting barley grown in the south-east of Ireland *Journal of Agricultural Science*, 136: 159-167.
- 9 CORTESE P, C CORDO Y M ZANELLI. 1998. Aspectos epidemiológicos de la mancha de la hoja del trigo y su influencia sobre los componentes del rendimiento. Trabajo de tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Protección Vegetal. 66 pp.
- 10 DELOGU, G; CATTIVELLI, L; PECCHIONI, N; DE FALCIS, D; MAGGIORE, T Y STANCA, A. M. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy* 9: 11-20.
- 11 DIMMOCK, J. P. R. E Y GOODING, M. J. 2002. The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: a review. *Journal of Agricultural Science* 138: 349-366.

- 12 EYAL, Z, SCHAREN, A. L; PRESCOTT, M Y VAN GINKEL, M.** 1987. Enfermedades del trigo causadas por *Septoria*: Conceptos y métodos relacionados con el manejo de estas enfermedades. CIMMYT. México, D.F. 52 pp.
- 13 GALICH, A; GALICH, M. T. V; LEGASA, A Y MUSSO, G.** 1986. Estimación de pérdidas por enfermedades foliares en cultivares de trigo. Capítulo IV. Congreso Nacional de trigo. AIANBA. Pergamino. Bs As. pp. 41-50.
- 14 GOODING, M.J.** 2006. The effect of fungicides on the grain yield and quality of wheat. Actas del Congreso "A todo trigo" 18 y 19 de mayo de 2006, Mar del Plata, Argentina. pp. 45-52.
- 15 GENSTAT 12** Ed. (2009) VSN, International Ltd. Disponible en: <http://www.vsn.co.uk/es/software/genstat/>
- 16 IMAGE J** Disponible en: <http://imagej.nih.gov/ij/docs/faqs.html>
- 17 KREMER, M Y HOFFMANN, G. M.** 1993. Effekte von Blattinfektionen durch *Drechlera tritici-repentis* auf den Kohlenhydrat- und Stickstoffhaushalt von Weizenpflanzen. *Journal of Plant Diseases and Protection* 100: 259-277.
- 18 LEITCH, M. H Y JENKINS, P. D.** 1995. Influence of nitrogen on the development of *Septoria* epidemics in winter wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 124: 361-368.
- 19 MCCABE, T; MULHARE, J.J; BYRNE, J.J; MCIVOR, A Y GALLAGHER, E.J.** 2001. Yield and quality improvement with strobilurin fungicides in winter wheat. *Aspects of Applied Biology and Wheat Quality* 64: 219-226.
- 20 PALTA, J. A Y FILLERY, R. P.** 1993. Post-anthesis remobilisation and losses of nitrogen in wheat in relation to applied nitrogen. *Plant and Soil* 155/156: 179-181.
- 21 RUSKE, R. E, GOODING, M.J; PEPLER, S Y FROGGATT, P.** 2001. Nitrogen accumulation in grains of winter wheat in response to strobilurin fungicides. *Aspects of Applied Biology and Wheat Quality* 64: 227-234.
- 22 SARANDÓN, S. J; GOLIK, S. I Y CHIDICHIMO, H.O.** 1997. Acumulación y partición del nitrógeno en dos cultivares de trigo pan ante la fertilización nitrogenada en siembra directa y convencional. *Rev. Fac. Agr. La Plata*, 102: 175-186.
- 23 SHANER, G., FINNEY, R. E.** 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathol.* 67: 1051-1056.
- 24 SIMÓN, M. R; PERELLÓ, A. E; CORDO, C. A Y ARRIAGA, H. O.** 1996. Influencia de la infección tardía de *Septoria tritici* Rob. ex Desm. sobre el peso de mil granos y algunos parámetros de calidad en *Triticum aestivum* L. *Investigación Agraria*. 11: 161-171.
- 25 SIMÓN, M. R; PERELLÓ, A. E; CORDO, C. A; STRUIK, P. C.** 2002. Influence of *Septoria tritici* on yield, yield components and test weight of wheat under two nitrogen fertilization conditions. *Crop Science* 42: 1974-1981.
- 26 SIMÓN MR, CORDO, C. A; PERELLÓ, A. E Y STRUIK, P. C.** 2003. Influence of nitrogen supply on the susceptibility of wheat to *Septoria tritici*. *Journal of Phytopathology* 151: 283-289.
- 27 SIMÓN M.R., FLEITAS M.C., SCHIENBECK M.** 2013. Tolerancia a la mancha de la hoja y roya de la hoja del trigo. Relación fuente/destino en cultivares de trigo con diferente tolerancia. Reunión BASF Top Ciencia, 18 y 19 de Julio de 2013, Capital Federal, Argentina.

- 28 SIMPSON, R. H; LAMBERS, H Y DALLING, M. J.** 1983. Nitrogen redistribution during grain growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology* 71: 7-14.
- 29 SPIERTZ, J. H. J Y ELLEN, J.** 1978. Effects of nitrogen on crop development and grain growth of winter wheat in relation to assimilation and utilization of assimilates and nutrients. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 26: 210-231.
- 30 VERREET, J. A Y HOFFMANN, G. M.** 1990. Effect of leaf and ear infection by *Septoria nodorum* at different growth stages of wheat on plant N content and amino acid composition. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 97: 1-12.
- 31 ZADOKS, J. C; CHANG, T. T Y KONZAK, C. F.** 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.