

Pathogenicity of *Magnaporthe oryzae* in varieties and wheat lines grown in Paraguay

Patogenicidad de *Magnaporthe oryzae* en variedades y líneas de trigo cultivadas en Paraguay

Alice Rocío Chávez*, Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas CAPECO, Centro de Investigación Hernando Bertoni, Caacupé, Paraguay; Man Mohan-Kohli, Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas CAPECO, Av. Brasilia 840, Asunción, Paraguay. *Autor para correspondencia: alice.r.chavez@gmail.com.

Recibido: 14 de Diciembre, 2017.

Aceptado: 02 de Febrero, 2018.

Chávez AR, Mohan-Kohli M. 2018. Pathogenicity of *Magnaporthe oryzae* in varieties and wheat lines grown in Paraguay. Revista Mexicana de Fitopatología 36(2): 276-286.

DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1712-3

Primera publicación DOI: 06 de Marzo, 2018.

First DOI publication: March 06, 2018.

Resumen. El brusone causado por *Magnaporthe oryzae* patotipo *Triticum*, es uno de los problemas más serios para la producción de trigo en Sudamérica. Debido al número reducido de fuentes de resistencia, la identificación de nuevas fuentes es de suma importancia. En este trabajo se evaluó la reacción de las variedades de trigo sembradas en Paraguay a la infección por *M. oryzae*. Treinta y dos variedades y cuatro líneas avanzadas del Programa Nacional de Investigación de Trigo del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria se inocularon con tres cepas, mediante aspersión, con una suspensión de 5×10^4 conidios mL⁻¹. La evaluación se realizó

Abstract. Wheat blast caused by *Magnaporthe oryzae* pathotype *Triticum* has become one of the most important crop production problems in South America. Given the availability of few sources of resistance, the identification of newer sources has become urgent. The present study was designed to evaluate the reaction of major wheat varieties grown in Paraguay to *M. oryzae* infection. Thirty-two wheat varieties and four advanced breeding lines were provided by the National Wheat Program of the Paraguayan Institute of Agrarian Technology. These varieties were spray inoculated with three isolates of *M. oryzae* using 5.10^4 conidia mL⁻¹. The disease reaction was evaluated on a severity scale of 0-4, 15 days after inoculation. Data were analyzed using the Kruskal-Wallis test. Considering the median rating of infection, the materials were classified as Resistant (0-1), Moderately Resistant (1.1-2), Moderately Susceptible (2.1-3) and Susceptible (3.1-4). The variety Canindé 1 was resistant to all isolates, and CD 116 was resistant to one and moderately resistance to two isolates. All the remaining varieties were susceptible

a los 15 días utilizando una escala de severidad de 0-4. Los datos se analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis. Con base en las medianas de severidad, los materiales se clasificaron como Resistentes (0-1), Moderadamente Resistentes (1.1-2), Moderadamente susceptibles (2.1-3) y Susceptibles (3.1-4). La variedad Canindé 1 fue resistente a las tres cepas, mientras CD 116 fue resistente a uno y moderadamente resistente a dos. Los demás genotipos fueron susceptibles y moderadamente susceptibles a las tres cepas, demostrando la susceptibilidad de las variedades sembradas en Paraguay y la necesidad de ampliar la base de resistencia en el programa nacional de mejoramiento.

Palabras clave: *Pyricularia*, resistencia, *Triticum*.

La piricularia o el brusone del trigo causado por *M. oryzae* patotipo *Triticum* (MoT), es uno de los problemas más serios para la producción de trigo en la región tropical/subtropical de Sudamérica. La enfermedad tuvo su primera aparición en el norte de Paraná, Brasil en 1985 (Igarashi *et al.*, 1986) y se identificó en Paraguay en 1989 (Cunfer *et al.*, 1993). Sin embargo, su primera epifitía se reportó en 2002, causando pérdidas mayores al 70% de la producción en campos sembrados tempranamente (Viedma y Morel, 2002). Las condiciones ambientales que desencadenan una epifitía son temperaturas de entre 18 a 25°C, acompañadas de alta humedad relativa durante la época de espigamiento y floración, por lo general coincidiendo con la prevalencia del fenómeno de El Niño (Kohli *et al.*, 2011; Cunha *et al.*, 2017).

Considerando que la piricularia del trigo es una enfermedad de control difícil, su manejo debe integrar el uso de variedades resistentes junto a prácticas de control químico para disminuir las pérdidas. Sin embargo, el desarrollo de variedades ha sido

or moderately susceptible to the three isolates, showing the susceptibility of major wheat varieties grown in Paraguay, and an urgent need for widening the genetic basis of resistance to wheat blast disease in the National Wheat Breeding Program.

Key words: *Pyricularia*, resistance, *Triticum*.

Wheat blast or brusone caused by *Magnaporthe oryzae* pathotype *Triticum* (MoT) is one of the most serious problems for wheat production in the tropical/subtropical region of South America. The disease appeared for the first time in northern Paraná, Brazil in 1985 (Igarashi *et al.*, 1986) and was later detected in Paraguay in 1989 (Cunfer *et al.*, 1993). However, the first blast epidemic was reported in 2002 and caused production losses greater than 70% in early-sown fields (Viedma and Morel, 2002). The environmental conditions that favor blast epidemics are temperatures between 18 and 25°C and high relative humidity during heading and flowering, usually during the El Niño phenomenon (Kohli *et al.*, 2011; Cunha *et al.*, 2017).

Given that wheat blast is a disease that is difficult to control, its management must include the use of resistant wheat varieties along with chemical control practices to reduce production losses. However, it has been difficult to develop resistant varieties due to the low number of available resistance sources. Some varieties derived from CIMMYT's Milan line have shown high levels of resistance to wheat blast (Kohli *et al.*, 2011). Recently, (Cruz *et al.*, 2016) determined that the 2NS translocation, derived from *Triticum ventricosum*, is responsible for conferring resistance to Milan and other derived varieties. For this reason, identifying different resistance sources and characterizing the reaction of new genotypes are considered of vital importance. This study was

difícil debido al número reducido de fuentes de resistencia disponibles. Algunas variedades derivadas de Milan, una línea del CIMMYT, han sido identificadas con altos niveles de resistencia a la enfermedad (Kohli *et al.*, 2011). Recientemente, (Cruz *et al.*, 2016) determinaron que la translocación 2NS cuyo origen es *Triticum ventricosum*, es responsable de la resistencia en Milan y otras variedades derivadas. Por tal motivo, la identificación de distintas fuentes de resistencia y la caracterización de la reacción de nuevos genotipos es considerada de vital importancia. Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la reacción de las variedades paraguayas de trigo, así como algunas líneas avanzadas desarrolladas en el país, y las principales variedades extranjeras sembradas actualmente en Paraguay a la infección de *Magnaporthe oryzae*.

El ensayo se realizó en el invernadero del Centro de Investigación Hernando Bertoni, Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria, IPTA, Caacupé, Paraguay, ubicado en latitud Sur 25°23'25.314", longitud Oeste 57°11'27.848". Se utilizaron 32 variedades, y cuatro líneas avanzadas de trigo, que fueron proveídas por el Programa Nacional de Investigación de Trigo del IPTA (Cuadro 1), todas sembradas actualmente en Paraguay. Estas variedades se sembraron el 12 de abril de 2016, en macetas de plástico de 15x25 cm, que contenían un sustrato compuesto por suelo y mantillo de hojas en la proporción 3:1, a razón de dos plantas por maceta, se sembraron cuatro macetas de cada variedad, para cada cepa del hongo, cada maceta se consideró como una repetición. La temperatura del invernadero se mantuvo a 15 ± 2°C, y el manejo agronómico, consistió en una fertilización con fertilizante 15-15-15, a razón de 5 gramos por maceta, 15 días luego de la emergencia, más una fertilización con urea a los 45 días de la emergencia, en la misma cantidad; los riegos se realizaron dos veces por semana, y se monitoreó semanalmente

conducted to evaluate the reaction of Paraguayan wheat varieties to *Magnaporthe oryzae* infection, as well as that of several advanced lines developed in the country and the main foreign varieties currently sown in Paraguay.

The trial was conducted in the greenhouse of the Centro de Investigación Hernando Bertoni, Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria, (IPTA) in Caacupé, Paraguay (south latitude 25°23'25.314", west longitude 57°11'27.848"). The trial included 32 wheat varieties and four advanced lines provided by the IPTA's Programa Nacional de Investigación de Trigo (Table 1), all of them currently sown in Paraguay. The varieties were sown on 12 April 2016 in 15x25 cm plastic pots containing a substratum made up of soil and leaf mulch at a 3:1 ratio. Two plants per pot were sown for each fungus isolate, and four pots were planted for each variety. Each pot was considered a replication. The greenhouse was kept at a temperature of 15 ± 2°C, and the agronomic management consisted of one 15-15-15 fertilizer application at a dose of 5 g per pot 15 days after emergence, plus one application of urea 45 days after emergence using the same amount. Irrigation was applied twice a week, and the plants were monitored on a weekly basis to detect pests. *Magnaporthe oryzae* pathotype *Triticum* (MoT) isolates used in the study were taken from infected wheat spikes collected in the field, as follows: P13-009 was collected in Capitán Miranda, Itapúa, in the 2013 cycle; P14-025, in Yhovy, Canindeyú, in the 2014 cycle; and P14-039, in La Flor farm, Alto Paraná, in 2014. These isolates were selected based on their virulence in previous trials and on their places of origin, which represent the main wheat production areas in Paraguay. The isolates were kept on filter paper at -18 °C as part of the isolates collection of the *Pyricularia* in Wheat Project. They were replicated in Petri dishes containing oatmeal flour agar culture medium and incubated

Cuadro 1. Variedades y líneas de trigo utilizadas en el estudio, con su genealogía y días a la espigazón.
Table 1. Wheat varieties and lines used in the present study, including their genealogy and days to heading.

Variedad	Genealogía	Espigazón (días)
Itapua 40 ^a	BOBWHITE/GENARO 81	73
Itapúa 70 ^a	RAYON//VEERY#6/TRAP1	72.5
Itapúa 75 ^a	VEERY'S''/RL6010/JUP73/3/PRL'S'/VEE#6//MYNA/VULTURE	78.5
Itapúa 80 ^a	WEEBILL1*2/TUKURU	69
Itapúa 85 ^a	MILVUS1/ITAPUA 60	75.5
Canindé 1 ^a	MILAN/MUNIA	71
Canindé 3 ^a	ITAPUA35/PF84432//CORDILLERA4	73
Canindé 11 ^a	BABAX/4/BOBWHITE/CROW//BUCBUC/PVN/3/VEERY#10/5/BABAX	71
Canindé 12 ^a	BABAX//PARULA/VEERY#10/3/BABAX/4/BABAX	70
Canindé 13 ^a	BABAX*3//PARULA/VEERY#10	69.5
Canindé 21 ^a	E 92225/FUNDACEP 30	79.5
E 97034/ITAPUA 45 ^a	E 97034/ITAPUA 45	71
ITAPUA 40 /IAN 10 ^a	ITAPUA 40 /IAN 10	74
ITAPUA75/WEBILL2 ^a	ITAPUA 75/WEBILL2	74
E92225/FUNDACEP30 ^a	E 92225/FUNDACEP30	75.5
BRS 208 ^b	CPAC89118/3/BR23//CEP19/PF85490	73
BRS 220 ^b	EMBRAPA16/TB108	71.5
GRALHA AZUL ^b	JUPATECO F73/EMBRAPA16//BRS CAMBOATÁ/LR37	76.5
BRS Pardela ^b	TRIGO BR18/PF 9099	73
BRS Tangara ^b	BR 23*2/PF 940382	75
CD 104 ^b	PFAU'S''/IAPAR17	77.5
CD 108 ^b	TAM200/TURACO	66
CD 116 ^b	MILAN/MUNIA	71.5
CD 150 ^b	CD 104/CD 108	69
CD 154 ^b	CD 104/CDI 200104	70.5
IPR 144 ^b	SERI*3/BUCBUC/5/BOBWHITE/3/CAR853/COCORAQUE//VEERY/4/OC22	78
IPR Catuara ^b	LD875/IAPAR85	71
IPR 85 ^b	IAPAR30/TRIGOBR18	70
LE 2331 ^b	INIA TIJERETA/LE 2229	80.5
QUARZO ^b	ONIX/AVANTE	79
TBIO Iguazu ^b	QUARZO//SAFIRA	81
TBIO Toruk ^b	MIRNTE/IBIO0901//QUARZO	80.5
TBIO Sintonía ^b	Marfim/Quarzo//Marfim	79.5
TBIO Mestre ^b	IBIO0810/Cronox//ORL00255	80.5
FUNDACEP 6219 ^b	GENEOLOGIA CERRADA	74.5
FUNDACEP RAICES ^b	EMB 27//CEP 24/3/BUC'S''/FCT'S''//PF 85229	76

^a Variedades y líneas paraguayas / ^a Paraguayan wheat varieties and lines.

^b Variedades extranjeras sembradas actualmente en Paraguay / ^b Foreign varieties currently sown in Paraguay.

para detectar la aparición de plagas. Las cepas de MoT utilizadas en el estudio se aislaron a partir de espigas de trigo enfermas recolectadas en campo. Estas fueron P13-009, colectada en Capitán Miranda, Itapúa durante el ciclo 2013; P14-025 colectada

for 10 days at 25°C and a 12-h photoperiod. The mycelium was later crushed using an L-shaped glass rod, and the dishes were exposed to continuous fluorescent light for three days to favor sporulation. Then, the spores were removed using a paint brush

en Yhovy, Canindeyú, 2014 y P14-039, colectada en la Estancia Flor, Alto Paraná, en 2014; se seleccionaron con base en su virulencia en ensayos previos y a su origen, que representan las tres principales zonas de producción de trigo en Paraguay. Las cepas se encontraban conservadas en el cepario del Proyecto *Pyricularia* en Trigo, sobre papel de filtro a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fueron repicadas a cajas de Petri con medio de cultivo Harina de Avena-Agar y se incubaron durante 10 días a 25°C y fotoperiodo de 12 horas. Posteriormente, el micelio se aplastó con una varilla de vidrio con forma de L, y las placas se expusieron a luz fluorescente continua durante tres días, para favorecer la esporulación. Posteriormente las esporas se removieron con ayuda de un pincel y agua destilada esterilizada (Marangoni *et al.*, 2013). La concentración de conidios se ajustó utilizando un hemacitómetro Neubauer, a 5×10^4 conidios ml^{-1} , utilizando para la dilución agua destilada esterilizada (Chávez *et al.*, 2015). La inoculación se realizó a medida que cada variedad alcanzó el estadio 59 de la escala de Zadok, es decir, cuando las espigas se encontraban completamente fuera de la hoja bandera, mediante aspersion con un aspersor manual (tres aspersiones por espiga). Luego de asperjadas las espigas, las plantas se mantuvieron en una sala climatizada dentro del invernadero, en oscuridad por 24 horas con $80 \pm 5\%$ de humedad y $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura para favorecer la infección. Trascorrido ese tiempo, las plantas se retiraron de la sala climatizada y se mantuvieron a la misma temperatura, a humedad de $60 \pm 5\%$, con un fotoperiodo de 12 h dentro del invernadero. La observación de síntomas y evaluación se realizó 15 días después de la inoculación. Se evaluó la severidad de la infección en las espigas, adaptando la escala propuesta por Tagle *et al.* (2014). Esta escala clasifica los síntomas de la siguiente manera: 0 = Sin infección; 1 = Lesiones pequeñas, $< 1.5\text{ mm}$; 2 = Lesiones de tamaño intermedio, $< 3\text{ mm}$; 3 =

and sterile distilled water (Marangoni *et al.*, 2013). The conidia concentration was adjusted with a Neubauer hemacytometer at 5×10^4 conidia ml^{-1} by adding sterile distilled water to dilute it (Chávez *et al.*, 2015). Inoculation was performed when each variety reached stage 59 on Zadok's scale, this is, when the spikes were completely out of the flag leaf sheath. Spikes were sprayed using a manual sprayer (three sprayings per spike). After the spikes were sprayed, the plants were kept in darkness for 24 h, at $80 \pm 5\%$ moisture and $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ temperature in a heated room in the greenhouse to favor infection. After that period, the plants were removed from the heated room and kept in the greenhouse, at the same temperature, $60 \pm 5\%$ moisture and 12-h photoperiod. Symptoms were observed and evaluated 15 days after inoculation. The scale proposed by Tagle *et al.* (2014) was adapted to evaluate infection severity on the spikes. This scale classifies symptoms as follows: 0 = no infection; 1 = small lesions, $< 1.5\text{ mm}$; 2 = intermediate lesions, $< 3\text{ mm}$; 3 = mixture of green and white glumes, without apparent necrosis, caused by a hypersensitive reaction; 4 = complete spike necrosis. Data were analyzed using Kruskal-Wallis' test and the INFOSTAT (version 2016e) statistical program. Based on the infection means, on which the test is based, the genetic materials were classified as Resistant (0-1), Moderately resistant (1.1-2), Moderately susceptible (2.1-3) and Susceptible (3.1-4).

Significant statistical differences were found between the varieties and their interaction with the inoculated isolates (Table 2). For the P13-009 isolate, two varieties (Canindé 1, CD 116) were classified as resistant; three were moderately resistant (TBIO Toruk, TBIO Iguazu, TBIO Sintonía), and the rest were moderately susceptible and susceptible. For the P14-025 and P14-039 isolates only one variety was classified as resistant

Mezcla de glumas verdes y blancas, sin necrosis aparente, causado por una reacción de hipersensibilidad; 4 = Espiga completamente necrosada. Los datos fueron analizados mediante la prueba de Kruskal-Wallis, utilizando el programa estadístico INFOSAT (versión 2016e). Teniendo en cuenta las medianas de infección, en las cuales se basa la prueba, se clasificaron los materiales genéticos como Resistentes (0-1), Moderadamente Resistentes (1.1-2), Moderadamente susceptibles (2.1-3) y Susceptibles (3.1-4).

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las variedades y su interacción con las cepas inoculadas (Cuadro 2). Para la cepa P13-009, dos variedades (Canindé 1, CD 116) se clasificaron como resistentes; tres moderadamente resistentes

(Canindé 1), and two were moderately resistant (CD 116 and TBIO Sintonía). The rest were classified as moderately susceptible and susceptible. As for the Paraguayan varieties, Canindé 1 was the only one classified as resistant to the three inoculated isolates, while Itapúa 75 that was inoculated with isolate P14-025, and Canindé 3, with isolates P13-009 and P14-039, were moderately susceptible. The remaining varieties, as well as the four advanced lines evaluated, were susceptible. The interaction among varieties and the fungus isolates used is limited to intermediate cases, in which a variety classified as moderately resistant to an isolate shows a moderately susceptible reaction to another isolate, and vice versa (TBIO Iguazú, TBIO Toruk: MR P13-009; MS P14-025). This kind of interaction

Cuadro 2. Clasificación de la reacción de las variedades y líneas de trigo, a las tres cepas de *Magnaporthe oryzae* estudiadas, de acuerdo a la mediana, rankeadas según la Prueba de Kruskal-Wallis.

Table 2. Classification of wheat varieties and lines resistance to three *Magnaporthe oryzae* isolates, according to means and ranked using Kruskal-Wallis' test.

Genotipo	Cepa	Mediana	Clasificación	Ranks								
Canindé 1	P13-009	1	R	19*	A							
CD 116	P13-009	1	R	36.25	A							
Canindé 1	P14-039	1	R	40.38	A							
TBIO Iguazu	P13-009	2	MR	47.75	A	B						
Canindé 1	P14-025	1	R	51.88	A	B						
TBIO Sintonía	P13-009	2	MR	53.5	A	B						
TBIO Sintonía	P14-039	1.5	MR	57.63	A	B						
CD 116	P14-039	2	MR	59.25	A	B						
CD 116	P14-025	2	MR	59.25	A	B						
TBIO Sintonía	P14-025	2	MR	90.5	A	B	C					
TBIO Toruk	P13-009	2	MR	111.88	A	B	C					
TBIO Toruk	P14-025	2.5	MS	127.5	A	B	C					
TBIO Toruk	P14-039	3	MS	158.75	A	B	C	D				
CD 108	P13-009	3	MS	190	A	B	C	D	E			
FUNDACEP RAICES	P14-025	3	MS	238.25	A	B	C	D	E	F		
LE 2331	P14-025	3	MS	255.25	A	B	C	D	E	F		
FUNDACEP 6219	P14-039	3	MS	286.5		B	C	D	E	F	G	
QUARZO	P13-009	3	MS	286.5		B	C	D	E	F	G	
BRS 220	P14-025	3	MS	286.5		B	C	D	E	F	G	
Itapúa 75	P14-025	3	MS	320.5			C	D	E	F	G	
Canindé 3	P13-009	3	MS	334.75			C	D	E	F	G	H

Canindé 3	P14-039	3	MS	334.75	C	D	E	F	G	H
FUNDACEP RAICES	P13-009	3	MS	334.75	C	D	E	F	G	H
IPR Catuara	P13-009	3	MS	334.75	C	D	E	F	G	H
CD 150	P13-009	3	MS	334.75	C	D	E	F	G	H
TBIO Iguazu	P14-025	3	MS	334.75	C	D	E	F	G	H
Itapúa 85	P14-039	3.5	S	383		D	E	F	G	H
TBIO Iguazu	P14-039	3.5	S	383		D	E	F	G	H
BRS Pardela	P13-009	3.5	S	383		D	E	F	G	H
QUARZO	P14-025	3.5	S	383		D	E	F	G	H
IPR85	P14-039	3.5	S	383		D	E	F	G	H
Canindé 21	P13-009	3.5	S	383		D	E	F	G	H
Canindé 13	P14-025	3.5	S	383		D	E	F	G	H
IPR Catuara	P14-025	3.5	S	383		D	E	F	G	H
QUARZO	P14-039	4	S	431.25			E	F	G	H
ITAPUA 40 /IAN 10	P14-039	4	S	431.25			E	F	G	H
IPR 144	P14-025	4	S	431.25			E	F	G	H
Itapúa 70	P14-039	4	S	431.25			E	F	G	H
E 97034/ITAPUA 45	P14-025	4	S	431.25			E	F	G	H
FUNDACEP RAICES	P14-039	4	S	431.25			E	F	G	H
IPR Catuara	P14-039	4	S	431.25			E	F	G	H
IPR85	P14-025	4	S	431.25			E	F	G	H
GRALHA AZUL	P14-025	4	S	431.25			E	F	G	H
E 97034/ITAPUA 45	P14-039	4	S	431.25			E	F	G	H
Canindé 21	P14-039	4	S	431.25			E	F	G	H
CD 108	P14-025	4	S	431.25			E	F	G	H
BRS 208	P14-039	4	S	479.5				F	G	H
Canindé 21	P14-025	4	S	479.5				F	G	H
Canindé 11	P14-039	4	S	479.5				F	G	H
Itapúa 70	P14-025	4	S	479.5				F	G	H
IPR85	P13-009	4	S	479.5				F	G	H
Canindé 3	P14-025	4	S	479.5				F	G	H
CD 154	P14-039	4	S	479.5				F	G	H
Itapúa 85	P14-025	4	S	479.5				F	G	H
TBIO Mestre	P13-009	4	S	479.5				F	G	H
FUNDACEP 6219	P13-009	4	S	479.5				F	G	H
CD 150	P14-025	4	S	479.5				F	G	H
ITAPUA 75/WEBILL2	P14-039	4	S	479.5				F	G	H
TBIO Mestre	P14-025	4	S	479.5				F	G	H
BRS Tangara	P14-025	4	S	479.5				F	G	H
CD 108	P14-039	4	S	479.5				F	G	H
Canindé 13	P13-009	4	S	527.75					G	H
Itapúa 40	P14-039	4	S	527.75					G	H
Itapúa 85	P13-009	4	S	527.75					G	H
ITAPUA 40 /IAN 10	P14-025	4	S	527.75					G	H
Canindé 13	P14-039	4	S	527.75					G	H
BRS Pardela	P14-025	4	S	527.75					G	H
BRS 220	P13-009	4	S	527.75					G	H
LE 2331	P14-039	4	S	527.75					G	H
BRS 208	P14-025	4	S	527.75					G	H
Canindé 12	P14-025	4	S	527.75					G	H
Canindé 12	P13-009	4	S	527.75					G	H
E92225/FUNDACEP30	P14-025	4	S	527.75					G	H
BRS 220	P14-039	4	S	576						H

TBIO Mestre	P14-039	4	S	576	H
Itapúa 75	P14-039	4	S	576	H
Itapúa 80	P13-009	4	S	576	H
BRS 208	P13-009	4	S	576	H
LE 2331	P13-009	4	S	576	H
BRS Pardela	P14-039	4	S	576	H
Itapúa 80	P14-039	4	S	576	H
Itapúa 80	P14-025	4	S	576	H
CD 154	P14-025	4	S	576	H
CD 154	P13-009	4	S	576	H
CD 150	P14-039	4	S	576	H
E 97034/ITAPUA 45	P13-009	4	S	576	H
E92225/FUNDACEP30	P14-039	4	S	576	H
E92225/FUNDACEP30	P13-009	4	S	576	H
BRS Tangara	P14-039	4	S	576	H
CD 104	P14-025	4	S	576	H
CD 104	P13-009	4	S	576	H
Canindé 12	P14-039	4	S	576	H
Canindé 11	P13-009	4	S	576	H
Canindé 11	P14-025	4	S	576	H
CD 104	P14-039	4	S	576	H
Itapúa 70	P13-009	4	S	576	H
Itapúa 40	P14-025	4	S	576	H
Itapúa 40	P13-009	4	S	576	H
Itapúa 75	P13-009	4	S	576	H
ITAPUA 75/WEBILL2	P14-025	4	S	576	H
ITAPUA 75/WEBILL2	P13-009	4	S	576	H
ITAPUA 40 /IAN 10	P13-009	4	S	576	H
GRALHA AZUL	P13-009	4	S	576	H
BRS Tangara	P13-009	4	S	576	H
FUNDACEP 6219	P14-025	4	S	576	H
IPR 144	P14-039	4	S	576	H
IPR 144	P13-009	4	S	576	H
GRALHA AZUL	P14-039	4	S	576	H

*Medianas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) / *Means with common letters are not significantly different ($p > 0.05$).

H = 368,57 $p < 0.0001$ / H = 368,57 $p < 0.0001$.

R=Resistente, MR=Moderadamente resistente, MS= Moderadamente susceptible, S= Susceptible / R=Resistant, MR=Moderately resistant, MS= Moderately susceptible, S= Susceptible.

(TBIO Toruk, TBIO Iguazu, TBIO Sintonía), y las demás fueron moderadamente susceptibles y susceptibles. Para las cepas P14-025 y P14-039 solo una variedad fue clasificada resistente (Canindé 1), y dos moderadamente resistentes (CD 116 y TBIO Sintonía). El resto de las variedades se clasificaron como moderadamente susceptibles y susceptibles. En cuanto a las variedades paraguayas, Canindé 1, fue la única clasificada como resistente a las tres

among wheat varieties and *Magnaporthe* isolates shows the specific reactions between the host and the pathogen that must be thoroughly studied in the future.

It should be noted that Canindé 1 was resistant to the three pathogen isolates, while CD 116, its sister line derived from the same genealogy, was resistant to one of the isolates (P13-009) and moderately resistant to the other two (P14-025 and P14-039).

cepas inoculadas; mientras que Itapúa 75 con la cepa P14-025, y Canindé 3 con las cepas P13-009 y P14-039, fueron moderadamente susceptibles; las demás, al igual que las cuatro líneas avanzadas evaluadas fueron susceptibles. La interacción entre variedades y los aislados del hongo utilizados se limita a los casos intermedios, donde una variedad clasificada como moderadamente resistente para una cepa muestra la reacción moderadamente susceptible para otra cepa y viceversa (TBIO Iguazú, TBIO Toruk: MR P13-009; MS P14-025). Este tipo de interacción entre variedades de trigo y cepas de *Magnaporthe* señalan la especificidad de reacciones entre el huésped y patógeno que debe ser investigada detalladamente en el futuro.

Es interesante observar que Canindé 1, se mostró resistente a las tres cepas del patógeno, mientras que su línea hermana, derivada de la misma genealogía, CD 116, fue resistente a una de las cepas (P13-009) y moderadamente resistente a las otras dos (P14-025 y P14-039). Considerando que las dos variedades son derivadas de la línea Milan, poseedora del segmento 2NS, que confiere resistencia a la enfermedad (Kohli *et al.*, 2011; Cruz *et al.*, 2016), la diferencia de reacción entre ellas puede ser explicada por su fondo genético, que puede variar en el proceso de selección de una progenie. También es importante destacar la moderada resistencia de la variedad TBIO Sintonía, a las tres cepas utilizadas. La reacción susceptible y/o moderadamente susceptible en la mayor parte de las variedades de trigo sembradas en el Paraguay podría ser una señal de alerta sobre la probabilidad de una epifitía fuerte bajo condiciones favorables. La evaluación bajo condiciones controladas tiene su valor como referencia en los trabajos de mejoramiento genético para seleccionar materiales resistentes a esta enfermedad; sin embargo, es posible que en condiciones de campo la reacción de estas variedades sea diferente. Ésta diferencia en el

Considering that both varieties are derived from the Milan line, which contains the 2NS segment that confers resistance to the disease (Kohli *et al.*, 2011; Cruz *et al.*, 2016), the difference in their reactions is due to their genetic background, which can vary during the process of selecting a progeny. It is also important to highlight the moderate resistance of the TBIO Sintonía variety to the three isolates used. The susceptible and/or moderately susceptible reaction of most wheat varieties sown in Paraguay could be a warning that strong epidemics could occur under favorable conditions. Evaluation under controlled conditions is valuable as a reference for genetic improvement activities aimed at selecting resistant materials to wheat blast mildew, but it is possible that the varieties may react differently under field conditions. The difference in the varieties' performance under field conditions and when inoculated in the greenhouse has already been observed by Igarashi (1990) and Urashima and Kato (1994) and is attributed to the pathogenic variability of the fungus (Urashima *et al.*, 2004). In Paraguay, Kohli *et al.* (2012) reported the reaction of varieties Canindé 3, Canindé 11, Canindé 12, Canindé 13, Itapúa 40 and Itapúa 70 as moderately susceptible to susceptible in the field, while Canindé 1 and Itapúa 75 were moderately resistant. Except for Itapúa 75, a long-cycle variety, the reactions observed in the field coincided with those observed in this study under controlled greenhouse conditions. In Brazil, Fronza *et al.* (2016) observed that varieties QUARTZO, FUNDACEP RAICES, BRS 220 and IPR 85 are moderately resistant under field conditions. In the present study, these varieties were classified as moderately susceptible and susceptible to the three isolates. However, both studies agree on the resistance of variety CD 116. Considering that environmental conditions play an important role in the expression of the disease in the field, it is necessary to evaluate the resistance

comportamiento de las variedades en condiciones de campo y al ser inoculadas en invernadero, ya fue observada por Igarashi (1990) y Urashima y Kato (1994), la cual se atribuye a la variabilidad patogénica del hongo (Urashima *et al.*, 2004). En Paraguay, Kohli *et al.* (2012), reportan la reacción a campo de las variedades Canindé 3, Canindé 11, Canindé 12, Canindé 13, Itapúa 40 e Itapúa 70, como moderadamente susceptible a susceptible, mientras que Canindé 1 e Itapúa 75 son moderadamente resistentes. Con excepción de Itapúa 75, una variedad de ciclo largo, las reacciones observadas en campo coincidieron con aquellas observadas en este trabajo con condiciones controladas de invernadero. En Brasil, Fronza *et al.* (2016), observaron que las variedades QUARTZO, FUNDACEP RAICES, BRS 220 e IPR 85 son moderadamente resistentes en condiciones de campo. En el presente estudio, estas variedades se clasificaron como moderadamente susceptibles y susceptibles a las tres cepas. Sin embargo, los dos estudios coinciden en la resistencia de la variedad CD 116. Considerando que las condiciones ambientales juegan un papel importante en la expresión de la enfermedad en el campo, es necesario evaluar la resistencia de los materiales genéticos, controlando el espectro de condiciones ambientales y ampliando la variabilidad del patógeno bajo condiciones controladas.

El estudio expone la susceptibilidad de una gran mayoría de las variedades de trigo sembradas en Paraguay, tanto nacionales como extranjeras, que pueden ser vulnerables a una epifitía severa de la enfermedad bajo condiciones favorables; además muestra los primeros indicios de las interacciones que pueden existir entre las variedades de trigo y distintas cepas del hongo *Magnaporthe oryzae* patotipo *Triticum*. Por este motivo, es urgente identificar e introducir nuevas fuentes de resistencia en el programa de mejoramiento con el fin de ampliar el número de variedades resistentes en el futuro.

of genetic materials while controlling the spectrum of environmental conditions and widening the pathogen's variability under controlled conditions.

This study shows the susceptibility of most of the wheat varieties sown in Paraguay, both local and foreign, which means that they would be vulnerable to severe wheat blast epidemics under favorable conditions. It also shows the first evidence of the interactions that may exist between wheat varieties and different isolates of the *Magnaporthe oryzae* pathotype *Triticum* fungus. For this reason, it is urgent to identify and introduce new resistance sources in the improvement program in order to increase the number of resistant varieties in the future.

ACKNOWLEDGMENTS

To Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)-Paraguay for their financial support through the PROCENCIA Program.

~~~~~ End of the English version ~~~~~

#### AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, Paraguay por el apoyo económico brindado a través del Programa PROCENCIA.

#### LITERATURA CITADA

Chávez A, Cazal C, Rojas A, Guillén A, Núñez A y Kohli M. 2015. Evaluación de la concentración de conidios para la inoculación de materiales de trigo con *Magnaporthe grisea*. Pp:168-169. In: Memorias del I Congreso Agrario del IPTA. Trabajos de investigación. Encarnación, Paraguay. Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria. Disponible en línea: <https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/TRABAJOS+DE+INVESTIGACION%3%93N.pdf>

- Cruz CD, Peterson GL, Bockus WW, Kankanala P, Dubkovsky J, Jordan KW, Akhunov E, Chumley F, Baldelomar FD and Valent B. 2016. The 2NS translocation from *Aegilops ventricosa* confers resistance to the *Triticum* pathotype of *Magnaporthe oryzae*. *Crop Science* 56:990-1000. Disponible en línea: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5087972/pdf/nihms825306.pdf>
- Cunfer BM, Yorinori T and Igarashi S. 1993. Wheat blast. Pp:125-128. *In*: Mathur SB, Cunfer BM (eds.). Seed borne diseases and seed health testing of wheat. Danish Government Institute of Seed Pathology for Developing Countries. Copenhagen.
- Cunha, JMF, Nicolau M, Pavan WM, Amaral C, Karrei M, de Vargas F, Boeira JL, Tagliari A and Tsukahara R. 2017. A weather-based model for predicting early season inoculum build-up and spike infection by the wheat blast pathogen. *Tropical plant pathology* 42: 230-237. <http://dx.doi.org/10.1007/s40858-017-0164-2>
- Fronza V, Moresco ER, Maciel JLN, Silva MS, Scheeren PL and Soares Sobrinho J. 2016. Reaction of Brazilian wheat cultivars to wheat blast in the Cerrado Región. Pp:142. *In*: Madeiros Del Ponte E, Bergstrom G, Pavan W, Lazzaretti A, Cunha Fernandes JM. (eds.) Book of Abstracts. 5<sup>th</sup> International Symposium on Fusarium head blight. 2<sup>nd</sup> International Workshop on Wheat Blast. Universidade de Paso Fundo, RS. BR. Disponible en línea: <http://mosaico.upf.br/~events/scabandblastofwheat-book.pdf>
- Igarashi S, Utimada C.M, Igarashi LC, Kazuma AE e Lopes RC. 1986. *Pyricularia* sp. em trigo. I. Ocorrência de *Pyricularia* sp. no estado do Paraná. *Fitopatologia Brasileira* 11:351-352.
- Igarashi, S. 1990. Update on wheat blast (*Pyricularia oryzae*) in Brazil. Pp:480-483. *In*: Saunders, DA (Ed.) Proceeding of the International Conference-Wheat for the nontraditional warm areas. CIMMYT. México, MX.
- Kohli MM, Mehta YR, Guzman, E, Viedma L and Cubilla L. 2011. *Pyricularia* blast- A threat to wheat cultivation. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 47:S130-S134. (Special Issue). Disponible en línea: <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/48968.pdf>
- Kohli M, Cabrera G y Cubilla L. 2012. Guía práctica para el manejo y la producción de Trigo. IPTA/CAPECO/INBIO. 52 p. Disponible en línea: [http://www.inbio.org.py/uploads/Gui%CC%81a\\_pra%CC%81etica\\_para\\_el\\_manejo\\_y\\_la\\_produccio%CC%81n\\_de\\_trigo\\_2012.pdf](http://www.inbio.org.py/uploads/Gui%CC%81a_pra%CC%81etica_para_el_manejo_y_la_produccio%CC%81n_de_trigo_2012.pdf)
- Marangoni M, Nunes M, Fonseca N and Metha Y. 2013. *Pyricularia* blast on white oats: a new threat to wheat cultivation. *Tropical Plant Pathology* 38:198-202. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762013005000004>
- Tagle AG, Chuma I and Tosa Y. 2014. Rmg7, a new gene for resistance to *Triticum* isolates of *Pyricularia oryzae* identified in tetraploid wheat. *Phytopathology* 105:495-499. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-14-0182-R>
- Urashima AS and Kato H. 1994. Varietal resistance and chemical control of wheat blast fungus. *Summa Phytopathologica* 20:107-112.
- Urashima AS, Lavorent NA, Goulart ACP and Metha YR. 2004. Resistance spectra of wheat cultivars and virulence diversity of *Magnaporthe grisea* isolates in Brazil. *Fitopatologia Brasileira* 29:511-518. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582004000500007>
- Viedma LQ y Morel W. 2002. Añublo o Piricularia del Trigo. Díptico. MAG/DIA/CRIA. Programa de Investigación de Trigo, CRIA, Capitán Miranda, Itapúa.