



Secretaría de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
Ministerio de Economía  
Argentina

## Niveles de resistencia genética a fusariosis de la espiga en variedades y líneas de trigo pan

E. Alberione<sup>1\*</sup>, N. Salines<sup>1</sup>, E. Pozzi<sup>1</sup>, M.B. Conde<sup>1</sup>, G. Donaire, D. Gómez, D. Cristos<sup>2</sup>, D. Rojas<sup>2</sup>, N. Pesquero<sup>2</sup>; J.M. Palazzini<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>- EEA INTA Marcos Juárez. <sup>2</sup>- Instituto de Tecnología de Alimentos. Centro de Investigación de Agroindustria (CIA-INTA). Buenos Aires. <sup>3</sup>- Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC).

Email: [alberione.enrique@inta.gob.ar](mailto:alberione.enrique@inta.gob.ar)

Palabras claves: germoplasma de trigo, fusariosis de la espiga, micotoxinas

### Introducción

La Fusariosis de la espiga (FE) (teleomorfo *Giberella zea* Schwein anomorfo *Fusarium graminearum*) es una enfermedad de alto impacto en la producción de trigo (*Triticum aestivum* L.) debido a que afecta negativamente el rendimiento de grano, la calidad comercial y causa contaminación por micotoxinas [26]. Las pérdidas económicas atribuidas a esta enfermedad en USA y Canadá durante la década del 90 fueron de US\$ 2520 [26]. En USA se estimaron pérdidas económicas directas en la producción de trigo pan (duro rojo de primavera y rojo blando de invierno), trigo duro (candeal) y cebada de US\$ 2.492 millones desde 1993 a 2001, llegando a ser de US\$ 7.700 millones si se suman pérdidas secundarias, siendo el promedio de pérdidas anuales estimadas en US\$ 277 millones, equivalente al 5,4% del valor total de la producción anual de trigo [20]. La magnitud de daños causados por esta enfermedad en Asia también es muy importante, de hecho Zhu *et al.* [29] mencionan que en la República Popular China se sucedieron 29 epidemias en 60 años (desde 1950 a 2012) que originaron en promedio pérdidas anuales en producción de desde 5 a 10%. Otro dato relevante de este trabajo es que la frecuencia y severidad de FE se ha incrementado en años recientes, siendo actualmente el área promedio afectada de 5,3 millones de hectáreas (llegó a ser de 9,9 millones de hectáreas en 2012). En Argentina también se registró ese año una de las mayores epidemias. Bajo condiciones ambientales sumamente favorables a la enfermedad se observaron niveles epidémicos muy severos en el cuadrante noreste (NE) de la región pampeana con incidencias de 100% en el centro-oeste de Entre Ríos, centro de Santa Fe y NE de Buenos Aires [3]. Anteriormente se habían reportado en el país epifitias severas según zonas productivas en distintas décadas: 1963 (SE de Bs.As), 1967 (áreas de Córdoba y Santa Fe), 1976, 1977 y 1978 (SE de Bs As y áreas de Córdoba y Santa Fe). Durante ese último año Galich *et al.* estimaron pérdidas en la producción en Córdoba y Santa Fe de hasta 30% (1,142 kg/ha) en Oliveros y 10% (473 kg/ha) en Marcos Juárez. En 1985 las zonas afectadas fueron SE de Bs. As. y áreas de Córdoba y Santa Fe. En Pergamino se caracterizó como epifitia severa, midiéndose valores de incidencia de 40-60% y 33% de severidad de [19]. Resulta importante destacar que fueron significativos los eventos en 1993 y 2001 en las provincias de Córdoba, Santa Fe y E. Ríos donde el fenómeno fue generalizado [15; 26]. Cabe

mencionar que en Entre Ríos se midieron pérdidas de producción durante los años 1993, 2000, 2001 y 2002 superiores a 60% [26].

La reducción del rendimiento se registra fundamentalmente en los casos severos, por aborto de flores y por consiguiente no formación de granos y daños a nivel de granos (arrugado) con pérdidas de peso y contenido de agua debido a que el hongo invade al grano y descompone proteínas de almacenamiento y almidón. Adicionalmente produce mermas en la calidad de los granos por afectar el procesado del grano y debido a la producción de micotoxinas [19; 12; 27].

Las micotoxinas (metabolitos secundarios del hongo) de mayor importancia producidas por *Fusarium graminearum* son de dos tipos: zearalenona y tricotecenos (deoxinivalenol - DON) [19]. Esta última además de ser la más frecuente, reviste especial interés por ser un factor de agresividad en cepas del patógeno y además por estar involucrada en la expresión de la resistencia del hospedantes [14]. Por su parte también presenta formas acetiladas 15-acetyl-DON y 3-acetyl-DON [6; 29], siendo la última forma la más toxicogénica y la que más produce DON [29]. La micotoxinas mencionadas pueden tener efecto sobre la salud humana y animal de distintas formas. DON y Nivalenol tienen fuerte efecto tóxico y pueden causar irritación de la piel, vómitos, diarrea, inapetencia, hemorragias, desórdenes neurológicos, abortos espontáneos e incluso la muerte. Definido por la Organización Mundial de la Salud, el DON es considerado agente teratogénico, neurotóxico e inmunodepresivo. A su vez junto con Nivalenol pueda causar diarrea, náuseas y rechazo de alimento en animales monogástricos. Por otra parte, la toxicidad por Zearalenona puede afectar la reproductividad porcina a través del síndrome hiperestrogénico [24].

La resistencia genética es efectiva, pero al tratarse de herencia cuantitativa no es fácil su aprovechamiento en el mejoramiento genético. Sumai 3# (poseedor del gen *Fhb1*) es el cultivar más ampliamente usado como fuente de resistencia a nivel mundial en programas de mejoramiento, por tener amplia habilidad combinatoria a ambas resistencias a *Fusarium* y buenos caracteres de rendimiento [6]. A nivel mundial se cuenta con un gran número de variedades con aportes de resistencia a la enfermedad. Los programas de mejoramiento de diferentes regiones seleccionaron distintas fuentes de resistencia y enfoques de mejoramiento para mejorar las características.

A través de cruzamientos dirigidos (mejoramiento convencional) y más recientemente utilizando otras herramientas como asistencia por marcadores moleculares, duplohaploidía y selección genómica, se generó un importante número de cultivares adaptados agrónomicamente y con niveles efectivos de resistencia genética, desde mitad de la década del 80 hasta la actualidad. En China se liberaron hasta la actualidad más de 20 cultivares, destacándose aquellos denominados Ningmai, Yangmai, Jingzhou, Zhengamai y Zhoumai [27]. En su origen se emplearon variedades seleccionadas localmente por resistencia intermedia a la enfermedad (Wangshiubai, Taiwanxiaomai entre otras). Al mismo tiempo hubo mejoras en la resistencia con el aporte de germoplasma italiano (variedades Mentana y Funo-progenitor donante de resistencia a Sumai 3#).

En USA se combinaron QTL de fuentes de resistencia de Asia y Brasil. A partir de esto se crearon y liberaron en igual periodo similar número de variedades. En algunas destacadas como Alsen (empleado luego como progenitor de otras), Glenn, Barlow, SY Soren y SY Ingmar (rojos duros primaverales) y Pioneer 25R18 y 25R51 (blandos rojos de invierno) se aprovechó la fuente de resistencia proveniente de Sumai 3#. Además, por selección local fueron liberadas variedades de trigos de invierno (SRW Massey, Tribute, Jamestown entre otros) y duros rojos de invierno (Heyne, Everest y Lyman) con fuente de resistencia local [29]. Canadá por su parte liberó más de 10 variedades en igual periodo. En su caso aprovechó inicialmente la fuente de resistencia proveniente del cultivar brasileiro Frontana, incorporado en el cultivar Nepawa y en otros derivados de este, y por otro lado también empleó la resistencia efectiva de Sumai 3# en al menos 5 cultivares; todos ellos con amplia difusión de siembra [29]. En Argentina fueron

liberadas sólo dos variedades con gen de resistencia *Fhb1* introgresado: MS INTA 416 [5] y ACA 303 Plus [23].

La genética de la resistencia a esta enfermedad se asienta en 4 tipos de resistencia y 2 tipos de tolerancia descriptos: tipo I (resistencia a la infección primaria) y tipo II (resistencia a la diseminación del hongo en la espiga), siendo estos los más usados en programas de mejoramiento [6; 19], el tipo III (habilidad para degradar deoxinivalenol-DON), igualmente importante por considerarse a este metabolito como factor de agresividad [6] y la de tipo IV referida a la resistencia a la infección en grano. Por otra parte existen 2 tipos de tolerancias: tipo V (tolerancia a altas concentraciones de micotoxinas) y tipo IV (tolerancia a la enfermedad) [21].

En la EEA INTA Marcos Juárez se trabaja desde hace más de 20 años en la evaluación del comportamiento genético del germoplasma disponible (variedades comerciales y líneas de trigo del programa de mejoramiento de INTA) frente a FE. Bajo condiciones de infección artificial se ha caracterizado el comportamiento genético del germoplasma en relación al tipo de resistencia I. En el año 2020 además, se caracterizó al germoplasma frente al tipo de resistencia III. Experiencias similares a ésta fueron informadas en trabajos anteriores [25;7;17;1,3,10;24] e incluso aplicadas también al cultivo de triticale [16].

Al resultar difícil la evaluación anual de la enfermedad en el país debido a que no se dan condiciones de infección natural todos los años y por el contrario su ocurrencia es de característica esporádica [15; 26], esto obliga a evaluar con métodos de inoculación artificial, para así generar información actualizada sobre el comportamiento a FE de nuevo germoplasma de trigo (García, citado en Kholi *et al.*, 1989). Además, es importante remarcar que, en el manejo integrado de FE, la resistencia genética juega un rol importante en la reducción de los niveles de infección y también en la prevención de la contaminación por micotoxinas [8].

Bajo esta premisa, en el año 2020 se condujeron ensayos de evaluación de resistencia a la enfermedad, con el objetivo de caracterizar el comportamiento genético de resistencia en un sentido amplio (tipos I, II y III) en variedades y líneas avanzadas.

## **Materiales y métodos**

- *Material vegetal*

En ambiente de campo con estructura adaptada para la de evaluación de FE en la EEA INTA Marcos Juárez (32° 43' 11" S 62° 06' 06" W) se condujeron ensayos de trigo para determinar niveles de infección en variedades y líneas avanzadas denominadas "líneas regionales" (Reg I, II y III) del programa de mejoramiento de INTA.

El número total de variedades comerciales fue 71 (31 de ciclo de crecimiento largo intermedio, 17 de ciclo intermedio; 5 evaluadas en ambas fechas y 22 de ciclo de crecimiento corto-intermedio; 1 evaluada en ambas fechas) y el número total de líneas (ensayos de líneas regionales) fue 84 (28 de ciclo de crecimiento largo- intermedio, 32 de ciclo de crecimiento intermedio y 24 de ciclo intermedio corto-intermedio). Se empleó como testigo resistente la variedad Sumai 3# para comparar a las variedades y líneas en las tres fechas de siembra.

Se evaluaron variedades correspondientes a los siguientes criaderos: ACA (13), Bioceres (5), Bioseminis (1), Buck (14), ADM (6), Horus (2), Klein (10), Limagrain (4), Macroseed (7), Nidera (7).

- *Manejo agronómico y diseño experimental*

Se realizó control general de malezas 2 meses antes de la siembra con glifosato (2 l/ha) + dicamba (0,2 l/ha) y previo a la siembra se aplicó mezcla de herbicida residual (metsulfurón metil 5 g/ha) y latifolicida (dicamba 0,25 l/ha). Se hizo labranza con

rotocultivador y al mismo tiempo se fertilizó con mezcla física de urea (250 kg/ha) y fosfato diamónico (100 kg/ha).

La fecha de siembra para ciclos de crecimiento largo fue 5/06, para ciclo intermedio 19/06 y para ciclo corto 6/07. Cada variedad/línea fue sembrada en hileras enfrentadas de 30 cm de largo de forma manual.

El diseño experimental fue bloques completos aleatorios con 2 repeticiones en variedades y 3 repeticiones en líneas avanzadas.

El 25/09 se hizo control de enfermedades foliares empleando fungicida foliar cyproconazole 8g + azoxistrobina 20g en dosis de 450 cc/ha aplicado con mochila de CO<sub>2</sub> a presión continua con un volumen de aplicación de 130 l/ha.

- *Elaboración del inóculo e infección*

El inóculo infeccioso consistente de macro-conidios en suspensión (agua destilada estéril), se elaboró en el laboratorio de Patología de la EEA INTA Marcos Juárez siguiendo metodología descrita en Galich M.T. (2004) con modificaciones. Se empleó la mezcla de tres aislamientos de *Fusarium graminearum* ('Per 56', 'MJ1' y 'MJ3') crecido en medio selectivo SNA y a partir de cultivo monospórico, seleccionados por mayor agresividad, virulencia y capacidad de esporulación, pertenecientes al cepario del IMICO (CONICET-UNRC). Se ajustó mediante cámara de Neubauer (hemocitómetro) a una concentración de  $\pm 3,0 \cdot 10^5$  macro-conidios/ml metodología seguida por Galich (Marcos Juárez) y García (Balcarce) [19] [10; 16].

A medida que las variedades/líneas fueron entrando en antesis, se registró la fecha de floración (presencia de al menos 5 espigas en estado de crecimiento (EC) Z 6.1-6.5 [floración inicial y media]) y se procedió a la infección de las espigas florecidas, con el asperjado de inóculo con pulverizador manual y pantalla para impedir derivas hacia las líneas contiguas, método similar empleado por otros investigadores como Sartori y Galich, 1989 [19]. En este momento, naturalmente la espiga se encuentra receptiva a las ascosporas a través de la flor (anteras) donde tiene lugar su germinación dando inicio así a la infección y colonización de las estructuras reproductivas (gineceo) y estructuras florales (lemna y palea). Artificialmente esto se logra con la capacidad infecciosa de macro-conidios.

Cada variedad/línea recibió doble inoculación  $\pm 3$  días después, coincidiendo ésta última con el siguiente registro de antesis de otro grupo de materiales. El período de inoculaciones se extendió durante un mes, desde el 25/09 hasta el 27/10 habiéndose registrado 12 fechas de inoculación. Para asegurar condiciones óptimas y necesarias de infección se aseguró humedad de  $\pm 85\%$  durante todo este período, con equipo automático de riego por aspersión con ciclos de encendido/apagado de 5 mín /25 mín, durante 6 horas/ día iniciada la inoculación.

- *Evaluación y registro de enfermedad*

Para contar con resultados similares en cada uno de los materiales evaluados, se registró la infección como porcentajes de incidencia y severidad, a partir de observación visual y estimación de daños, en tres oportunidades. Las dos primeras con acumulación de T° media diaria a 350 GD y 450 GD y la tercera durante llenado de grano y en madurez fisiológica. Se siguió el criterio propuesto por CIMMYT, que utiliza para evaluaciones a campo escala de doble dígito 0-9/0-9, donde el primero y segundo dígito corresponden a registros de incidencia y severidad respectivamente [20].

Se definieron en las variedades distintos tipos de reacción a la enfermedad en función del valor de severidad. Para ello se utilizó la escala brasilera y japonesa basada en la severidad de la espiga afectada [17;2] que propone 6 niveles de infección según porcentaje de severidad: 1- Inmune [I] (0%), 2-Resistente [R] (0-5%), 3-Moderadamente resistente [MR] (5-25%), 4- Moderadamente susceptible [MS] (25-50%), 5- Susceptible [S] (50-75%) y 6- Muy susceptible [MSS] (>75%).

Con valores de incidencia y severidad se calculó para cada variedad/línea el índice de Fusarium iF (%) ([incidencia \* severidad]/100) [19].

- *Cosecha y trilla*

Se cosechó manualmente y se trilló con máquina estacionaria de espigas, obteniendo muestras de granos del total de espigas por variedad/línea de todas las repeticiones. Las muestras se acondicionaron en sobres y se conservaron en cámara de frío ( $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ) hasta su procesamiento para determinar contenido de micotoxinas.

- *Determinación de micotoxinas*

En el Instituto de Tecnología de Alimentos (CIA-INTA Castelar) se trabajó en la determinación de DON y sus formas acetiladas. Se procesaron muestras de granos de variedades/líneas por repeticiones y finalmente se obtuvieron valores promedios de contenido de DON, 15 acetil DON '15 ADON' y nivalenol expresados en  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Para este análisis se aplicó la siguiente metodología: se adicionó 20 ml de solvente de extracción ( $\text{CH}_3\text{CN}/\text{H}_2\text{O}/\text{HAc}$  79 + 20 + 1) a 10 g de muestra, se homogeneizó con Ultraturrax por 3' y se sonicó por 60' y luego se centrifugó (5') a 3000 rpm. Se transfirió un volumen de 10 ml de extracto a un vaso de vidrio y se evaporó a  $45^{\circ}\text{C}$  bajo corriente de  $\text{N}_2$ . Se re-suspendió en metanol/agua (70:30) y filtró a través de un filtro de nylon de 0.22-mm antes del análisis. La identificación y cuantificación de tricotecenos se hizo usando cromatografía líquida de alta resolución acoplada con espectrometría de masas en tándem (HPLC MS/MS) de acuerdo a Arroyo-Manzanares *et al.* (2015) [4] y Castañares *et al.* (2019) [9] con modificaciones. Los análisis fueron conducidos en un Sistema Termo científico <sup>TM</sup> consistente de un horno de columna con bomba cuaternaria desgasificador y espectrómetro de masas con trampa de iones LTQ XL <sup>TM</sup>. Los ajustes de adquisición de espectrómetro de masas fueron: tiempo de retención de ESI positivo y ESI negativo y abundancia de ion de confirmación (Ion C) en relación con la del ion de cuantificación (Ion Q) fueron usados como criterio de identificación separaciones cromatográficas con un C18 100 con columna 2,1 mm Hypersil <sup>TM</sup> ODS (tamaño de partícula de 5 mm). Se usó una solución de formiato de amonio (10 mM) y acetonitrilo como fase móvil. Muestras (10  $\mu\text{L}$ ) fueron analizadas con una tasa de flujo de 0,2 mL/mín a  $45^{\circ}\text{C}$ . La determinación cuantitativa fue hecha usando los siguientes estándares: B-trichothecenos mix (n° de parte 34134). Los límites de cuantificación fueron 1.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$  y los límites de detección fueron 0.50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  para 3 acetil deoxinivalenol, DON, 15 acetil DON y el límite de cuantificación fue 30.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$  y el límite de detección fue 10.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  para nivalenol.

Los resultados obtenidos expresados en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  fueron llevados a  $\text{mg}/\text{kg}$  según equivalencia ( $\mu\text{g}/\text{kg} = 0,001 \text{ mg}/\text{kg}$ ). A su vez, pueden encontrarse expresados en ppm (parte por millón) cuya equivalencia es  $1 \text{ mg}/\text{kg} = 1 \text{ ppm}$ .

- *Análisis estadísticos*

Con los datos de severidad registrados en tres momentos distintos se obtuvieron valores de AUDPC (Area Under the Disease Progress Curve) con software R.

Se realizaron análisis de variancia de medias (ANOVA) para las variables iF (%), AUDPC y contenido de DON  $\text{mg}/\text{kg}$  y se analizó la relación entre las mismas a través de análisis de correlación (correlación de Pearson) y regresión lineal en general y por ciclos de crecimiento. Los resultados de iF (%) y contenido de DON se analizaron a través

medidas resumen y gráficos de caja Box-Plot. Se empleó software estadístico Infostat (versión 2020) [11].

## Resultados

En los cuadros 1 y 2 se muestran las precipitaciones y T° máximas y mínimas del año 2020 comparado con el promedio de la serie histórica para el periodo agosto-diciembre. Durante 2020 hubo ausencia de lluvias durante cuatro meses (desde mayo a agosto) y temperaturas mínimas inferiores a los valores de la serie histórica durante los meses de agosto, septiembre y mediados de octubre (fin de invierno y primer tercio de la primavera). Los días con heladas fueron mayores a los registros históricos en los meses de julio, septiembre y octubre y registros de altas temperaturas durante fines de octubre y noviembre fueron responsables de limitar el establecimiento y avance de las enfermedades foliares y de la espiga. FE se reportó únicamente en Pergamino y 9 de Julio sobre ensayos de la Red Oficial de evaluación de variedades.

**Cuadro 1. Precipitaciones**

Meses	J	J	A	S	O	N	D
<b>Lluvias M. Juárez 2020</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>28,5</b>	<b>51,0</b>	<b>68,5</b>	<b>70,8</b>
<b>Lluvias prom. M. Juárez</b>	20	23	20	46	95	109	126
<b>Diferencia</b>	-20	-23	-20	-18	-44	-40	-55

**Cuadro 2. Temperaturas medias mensuales**

T° / Meses	J	J	A	S	O	N	D
<b>T° máximas 2020</b>	17,8	15,4	22,1	23,1	24,4	27,5	29,3
<b>T° máximas promedio</b>	16,8	16,6	18,9	21,4	24,5	27,5	29,6
<b>T mínimas 2020</b>	2,9	1,0	3,9	5,7	10,6	14,4	15,2
<b>T mínimas promedio</b>	5,4	4,5	5,4	7,7	11,5	14,3	16,7

Agrometeorología EEA INTA Marcos Juárez

Los cuadros 3, 4 y 5 muestran registros de infección (incidencia y severidad, tipos de reacción e iF (%)) y contenido de micotoxinas en granos (mg/kg) (DON, 15-ADON y nivalenol) en variedades de ciclo largo, intermedio y corto respectivamente.

Los valores de incidencia y severidad son promedios de los tres valores registrados luego de la inoculación. El ordenamiento de las variedades se hizo en función del iF (%) de menor a mayor.

**Cuadro 3. Variedades de ciclo largo**

Variedad	Infección FE				Micotoxinas (mg/kg)		
	Incidencia*	Severidad *	reacción	IF %	DON	15-ADON	Nivalenol
Sumai 3#	2	4	R	0,1	0,647	0,033	ND
Buck Colihue *	10	10	MR	1	0,214	ND	ND
SY 109	10	10	MR	1	0,155	ND	ND
Buck Cumelén	15	30	MS	4,5	0,165	ND	ND
SY 120 *	25	18	MR	4,5	0,154	ND	ND
Baguette 750	18	25	MR	4,5	ND	0,099	ND
Sauce	18	28	MS	5	0,228	0,109	ND
Algarrobo	30	25	MS	7,5	0,302	ND	ND
Jacarandá *	45	20	MR	9	ND	0,755	1,838
Buck Coliqueo *	38	25	MR	9,5	0,193	ND	ND
Buck Resplandor	28	35	MS	9,8	0,416	0,075	ND
MS INTA 119	35	32	MS	11,2	0,179	ND	ND
Baguette 620 *	55	25	MR	13,8	ND	0,055	1,141
365	60	25	MR	15	0,274	ND	ND
Buck Destello	35	45	MS	15,8	0,419	ND	ND
Buck Peregrino	30	55	S	16,5	0,165	ND	ND
Cedro	40	45	MS	18	0,254	0,078	ND
ACA 360	50	45	MS	22,5	0,163	ND	ND
362	65	38	MS	24,7	ND	0,299	ND
Lapacho	65	38	MS	24,7	0,188	ND	ND
MS INTA 116	50	50	MS	25	0,232	ND	ND
Guayabo	50	53	S	26,5	0,209	ND	ND
Klein Géminis	65	43	MS	28	0,272	ND	ND
ACA 303 Plus	80	35	MS	28	0,236	0,043	ND
Klein 100 años	83	38	MS	31,5	0,375	ND	ND
HO Carcarañá *	60	53	S	31,8	ND	ND	ND
Klein Minerva	80	40	MS	32	ND	0,105	ND
Timbó	60	68	S	40,8	0,239	ND	ND
Buck Bellaco	90	48	MS	43,2	0,493	ND	0,474
Baguette 802	85	55	S	46,8	0,091	ND	ND
Klein Titanio CL	80	65	S	52	0,314	ND	ND
Basilio	70	75	S	52,5	0,295	ND	ND
Buck Cambá *	80	75	S	60	ND	0,091	ND

\*evaluados en primera y segunda fecha de siembra \*\* R=resistente, MR=Mod. Resistente, MS=Mod. Susceptible, S=susceptible, ND=no detección

**Cuadro 4. Variedades de ciclo intermedio**

Variedad	Infección FE				Micotoxinas (mg/kg)		
	Incidencia*	Severidad *	reacción	IF %	DON	15-ADON	Nivalenol
Sumai 3#	5	5	R	0,3	0,646	0,032	ND
603	10	20	MR	2	0,116	ND	ND
SY 200	25	18	MR	4,5	0,550	0,0462	ND
Klein Liebre	25	18	MR	4,5	0,108	ND	ND
SY 211	25	20	MR	5	0,483	0,119	ND
Klein Favorito II	25	25	MR	6,3	ND	ND	ND
Buck Coliqueo	30	27	MS	8,1	0,245	0,0771	ND
Baguette 550 **	30	35	MS	10,5	0,985	0,2802	ND
MS INTA 416	65	18	MR	11,7	0,235	ND	ND
Arlask	48	25	MR	12	ND	ND	ND
ACA 602	58	23	MR	13,3	ND	ND	ND
Buck Colihue	55	30	MS	16,5	0,198	ND	ND
Pehuen	65	28	MS	18,2	0,546	ND	0,507
Alhambra	65	33	MS	21,5	ND	0,033	0,455
Baguette 620	50	45	MS	22,5	ND	ND	ND
SY 120	55	43	MS	23,7	0,154	ND	ND
Ñandubay	70	40	MS	28	1,758	0,081	ND
MS INTA 415	75	40	MS	30	ND	0,103	0,568
Baguette 680	60	55	S	33	0,562	ND	ND
Klein Prometeo	75	48	MS	36	0,640	ND	ND
Buck Cambá	85	50	MS	42,5	ND	0,090	ND
HO Carcarañá	70	75	S	52,5	ND	ND	ND
Jacarandá	80	73	S	58,4	ND	0,725	1,522

\*\*evaluados en segunda y tercera fecha de siembra \*\* R=resistente, MR=Mod. Resistente, MS=Mod. Susceptible, S=susceptible, ND=no detección

**Cuadro 5. Variedades de ciclo corto**

Variedad	Infección FE				Micotoxinas (mg/kg)		
	Incidencia*	Severidad*	reacción	IF %	DON	15-ADON	Nivalenol
Sumai 3#	10	10	MR	1	0,646	0,0318	ND
Gingko	10	15	MR	1,5	ND	ND	ND
Baguette 450	15	10	MR	1,5	0,0726	ND	ND
Bioceres 1008	15	20	MR	3	ND	ND	ND
ACA 909	20	18	MR	3,6	0,320	ND	ND
TBIO Audaz	30	15	MR	4,5	0,508	ND	ND
915	25	18	MR	4,5	ND	ND	ND
BioINTA 1006	20	25	MR	5	0,174	ND	ND
Buck Saeta	35	15	MR	5,3	ND	ND	ND
ACA 908	20	33	MS	6,6	0,116	ND	ND
Klein Nutria	45	15	MR	6,8	ND	ND	ND
SY 330	25	30	MS	7,5	0,112	ND	ND
MS INTA 815	30	25	MR	7,5	0,194	ND	ND
Klein Valor	45	25	MR	11,3	ND	ND	ND
914	50	28	MS	14	0,148	ND	ND
916	50	28	MS	14	ND	ND	ND
MS INTA 817	53	33	MS	17,5	0,793	ND	ND
Pampero	60	33	MS	19,8	0,637	ND	ND
920	55	38	MS	20,9	ND	0,114	ND
MS INTA 819	55	40	MS	22	0,230	ND	ND
Baguette 550	60	40	MS	24	0,743	0,111	ND
HO Atuel	70	43	MS	30,1	0,210	ND	ND
Klein Potro	80	45	MS	36	0,228	ND	ND
Ceibo	90	50	MS	45	0,291	0,037	0,455

\*\* MR=Mod. Resistente, MS=Mod. Susceptible, ND=no detección

A través de medidas resumen para las variables iF (%) y contenido de DON (mg/kg) se observaron diferencias en variedades y líneas pre-comerciales. El cuadro 6 muestra para variedades y líneas de ciclo largo, intermedio y corto, las frecuencias de aquellas con menor iF (%) (más sanas) y para DON la proporción de 'no detección de DON', sus valores mínimos y máximos y la frecuencia correspondiente a valores menores de DON en más del 50% de las variedades/líneas analizadas en cada grupo por ciclo de crecimiento.

**Cuadro 6. Germoplasma evaluado, índice de Fusarium (iF %) y contenido de DON en variedades Ciclo Largo (CL), Ciclo Intermedio (CI) y Ciclo Corto (CC) y líneas pre-comerciales (Líneas Regionales)**

Germoplasma	< iF <sup>(1)</sup> (%)	No detección DON (%)	> DON <sup>(2)</sup> mg/kg	< DON <sup>(3)</sup> mg/kg	Frecuencia (menores valores de DON mg/kg)
Var. CL	42	21,2	0,646	0,091	69% (hasta 0,260)
Var. CI	57	33,3	1,758	0,107	64% (hasta 0,440)
Var. CC	58	32	0,792	0,072	58% (hasta 0,200)
Lín.Reg. I	64	3,4	1,169	0,026	81% (hasta 0,312)
Lín.Reg. II	75	31,3	0,821	0,089	71% (hasta 0,328)
Lín.Reg. III	75	0	1,210	0,080	67% (hasta 0,362)

<sup>(1)</sup> valores mínimos de iF (%), <sup>(2)</sup> y <sup>(3)</sup> valores máximos y mínimos según grupo de variedades y líneas pre-comerciales diferenciadas por ciclos de crecimiento.

Las variedades de CC (58%) presentaron menor iF (%) significando mayor sanidad. Sobre variedades de CI y CC existió mayor 'no detección' de DON. En CL y CC se registró menor contenido de DON (0,260 y 0,200 mg/kg respectivamente) en más del 50% de los materiales evaluados en cada ciclo de crecimiento.

En líneas de ciclos intermedios y cortos (Lín. Reg. II y III) se observó menor iF (%) significando mayor sanidad. Sobre líneas Reg. II hubo mayor 'no detección' de DON. En tanto que las líneas Reg. I y III casi en su totalidad presentaron DON.

Hubo una tendencia a incrementar DON con atraso en fechas de siembra.

- *Análisis de correlación y regresión lineal*

Se analizó la asociación entre las variables iF (%), AUDPC y contenido de DON (mg/kg) a través de correlación y regresión en variedades y líneas.

#### *Variedades*

Correlación de Pearson: coeficientes/probabilidades

	AUDPC	iF	DON
AUDPC	1,00	0,00*	0,78
IF	0,91	1,00	0,80
DON	-0,03	-0,03	1,00

\*significativo ( $p < 0,05$ )

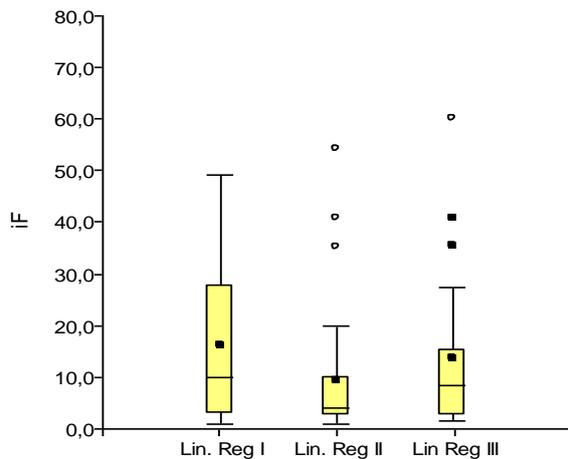
Se observaron correlaciones no significativas entre iF(%) y DON ( $p=0.8$ ) y entre AUDPC y DON ( $p=0.78$ ). Se confirmó correlación significativa y relación positiva entre iF (%) y AUDPC con un coeficiente de 0.91.

No se pudo explicar contenido de DON mg/kg a través de AUDPC ( $p=0.783$ ) en general, ni tampoco en cada uno de los ciclos.

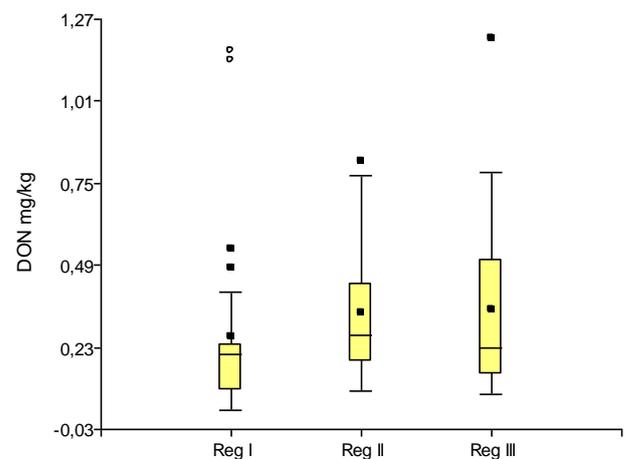
#### *Líneas regionales*

En los gráficos 1 y 2 se observan las diferencias encontradas en las líneas pre-comerciales entre ciclos de crecimiento en el iF (%) y contenido de DON mg/kg.

**Gráfico 1. Índice de Fusarium (iF)(%)**



**Gráfico 2. Contenido de DON (mg/kg)**



Debido a las distribuciones asimétricas de iF(%) observadas, la medida central más adecuada es la mediana y de acuerdo a ella se observa que las líneas del Reg II (valor de mediana 0,21) resultaron menos afectadas por la enfermedad.

En cuanto a contenido de DON también se observaron distribuciones asimétricas y por esto se observan medianas similares entre los distintos ciclos. No obstante, el contenido de DON se observa levemente superior (valor de mediana 0,27) en las líneas del Regional II.

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	AUDPC	iF	DON
AUDPC	1,00	0,00*	0,0023*
iF	0,96	1,00	0,0002*
DON	0,32	0,39	1,00

\*significativo ( $p < 0,05$ )

Se observó una correlación significativa entre iF (%) y DON mg/kg ( $p = 0.0002$ ) con un coeficiente de correlación de 0.39, con relación positiva. También se observó una correlación significativa entre AUDPC y DON ( $p = 0.0023$ ) con un coeficiente de correlación de 0.32, con relación positiva.

Por ciclos de crecimiento largo e intermedio también se observaron correlaciones significativas entre DON mg/kg e iF (%) ( $p = 0.04$  y  $p = 0.02$ ) y para ciclo corto estuvo en el límite de la significancia ( $p = 0.05$  para  $p < 0,05$ ) con coeficientes similares a 0.4 y entre DON y AUDPC en ciclos largos e intermedios ( $p = 0.058$  y  $p = 0.063$  respectivamente) con coeficientes similares a 0.3.

Correlación de Pearson para Lín. Reg.I (CL)

	AUDPC	iF	DON
AUDPC	1,00	0,00	0,058
iF	0,960	1,00	0,04*
DON	0,356	0,389	1,00

\*significativo ( $p < 0,05$ )

Correlación de Pearson para Lín. Reg.II (CI)

	<b>AUDPC</b>	<b>iF</b>	<b>DON</b>
<b>AUDPC</b>	1,00	0,00	0,063
<b>iF</b>	0,965	1,00	0,02*
<b>DON</b>	0,327	0,391	1,00

\*significativo ( $p < 0,05$ )

Correlación de Pearson para Lín. Reg.III (CC)

	<b>AUDPC</b>	<b>iF</b>	<b>DON</b>
<b>AUDPC</b>	1,00	0,00	0,141
<b>iF</b>	0,983	1,00	0,05*
<b>DON</b>	0,303	0,386	1,00

\*significativo ( $p < 0,05$ )

Regresión lineal entre AUDPC y contenido de DON mg/kg

Análisis de la varianza

ciclo de crecimiento	Coef.	Est.	p-valor	Cp Mallows
<b>general</b>	AUDPC	0,15	0,0023	9,84
<b>CL</b>		0,16	0,0582	3,91
<b>CI</b>		0,15	0,0630	3,72
<b>CC</b>		0,16	0,1412	2,32

Se observó relación lineal significativa ( $p=0.0023$ ) entre DON mg/kg y AUDPC de manera general y en consecuencia también dentro de los ciclos de crecimiento. Se obtuvo la relación  $DON=141.96 + 0.15 * AUDPC$ , que indica que ante un aumento de una unidad en AUDPC, el DON se incrementa en 0.15 con un IC95%= (0,06;0,25).

Por ciclos también se corroboraron relaciones lineales y con significaciones levemente superior al 5%.

## Discusión

El año de evaluación no resultó favorable en lo ambiental para la evaluación de Fusariosis de la espiga. Sin un diseño de ensayo con infección artificial y con condiciones de humedad generadas con sistema de riego, hubiera resultado imposible obtener registros fenotípicos y resultados de detección de micotoxinas en un ambiente restrictivo a la infección natural como el que se presentó en Marcos Juárez. No obstante, en base a los resultados es necesario contemplar "posibles situaciones de `escape por condiciones desfavorables al hongo o propias de la variedad (longitud de ciclo y anthesis) que puede interpretarse erróneamente como nivel de resistencia". Además, Van Beuningen [19] consideró a este `escape` como principal factor que genera dificultad para evaluar bien el comportamiento de cada material.

Analizado el comportamiento de las variedades comerciales y líneas pre-comerciales frente a la enfermedad, se apreciaron diferencias entre ambos germoplasmas y también dentro de cada uno según ciclos de crecimiento. Para esto se relacionaron los niveles de severidad, en especial los valores máximos observados, con los niveles de resistencia propuesta en escala de evaluación de la severidad en espiga [19]. En USA trabajando con variedades y líneas, determinaron iguales tipos de reacción, aunque a diferencia de este trabajo fue alto el número de genotipos hallados como resistentes (< 10 % de severidad) [7]. En trabajo de Ochodzki *et al.* [24] evaluando líneas de trigo con infección artificial, midieron promedios de severidad de 12.9% y 15.2% y rangos de 0 a 64.0% y 0 a 54.0% en dos sitios de evaluación. En Argentina bajo infección natural por

epifiticia ocurrida en el año 1960, se observó enfermedad en el 38% de los 154 cultivos censados. La intensidad varió desde trazas hasta 40% (severidad) con un promedio de 8,3% de espigas afectadas (incidencia) [19].

Los resultados locales arrojaron promedios de 45,9 y 44,6% de severidad en variedades y líneas respectivamente, con rangos de 10 hasta más del 80%. Estos registros resultaron mayores comparados con los de los trabajos mencionados. En evaluaciones anteriores trabajo hechas en este mismo ambiente se observaron diferencias entre variedades caracterizándose el 75% como MS y el 25% restante MR [2].

Las reacciones observadas fueron R (sólo en la variedad testigo Sumai3# usada como testigo resistente), MR, MS, S y en las líneas, en baja proporción, la reacción MSS. En general se observó que las líneas, independientemente del ciclo de crecimiento, presentaron mayor frecuencia del tipo de reacción S. Por el contrario, en las variedades se observó mayor frecuencia en el tipo de reacción MR. Ambos grupos compartieron frecuencia similar en reacción MS. Entre ciclos de crecimiento también se dieron algunas diferencias. En variedades de ciclo corto hubo mayor frecuencia de reacciones MR y MS. En cambio, en variedades de ciclo largo hubo mayor frecuencia en reacción S. En líneas pre-comerciales hubo igual proporción entre ciclos en tipo de reacción MSS ( $\pm 10\%$  de las evaluadas). En ciclo largo se observó en mayor frecuencia la reacción S (46%) y en intermedio y corto predominó la reacción MS. Otra diferencia fue la menor proporción de reacción MR en ciclo corto comparado con el ciclo largo e intermedio. En síntesis, los ciclos largos e intermedios presentaron mayor proporción de reacción MR comparado con el ciclo corto, y por su parte los ciclos intermedio y corto presentaron mayor proporción de reacción MS comparado con el ciclo largo. El trabajo de Bai *et al.* [7] menciona buen nivel de resistencia genética en líneas (menos de 20% de severidad). Estos resultados no son coincidentes con los presentados en este trabajo, ya que hallamos en las líneas y variedades, sobre el total de evaluadas ese nivel de resistencia sólo en el 15 y el 24% respectivamente. Por otro lado, un trabajo conducido en Paraguay indicó mayores niveles de incidencia con el atraso de la fecha de siembra [10]. Esto tampoco coincide con nuestros resultados, ya que en los tres ciclos de crecimiento los valores de incidencia resultaron similares.

En las líneas se observó menor infección por *Fusarium* comparado con las variedades. Entre el 60 y 70% presentaron iF (%) bajos (incidencia y severidad de hasta el 40%). En cambio, en las variedades los menores valores se observaron en un 40 a 60% del total. En coincidencia, se registró en ambos grupos menor infección con atraso en la fecha de siembra. En 2012 bajo condiciones de alta infección natural, se observó, buen control genético de la enfermedad en algunas variedades, siendo baja la infección en granos. En otras se detectó bajos niveles de DON con niveles variables de infección y hubo dos sin presencia de DON. No se encontró relacionada severidad, proporción de granos enfermos y contenido de DON. Se observó también que el rendimiento de grano se vio muy afectado y contrariamente se observaron buenos valores de proteína en grano, gluten y PH [3].

La determinación del contenido de DON, indicó valores muy bajos tanto en las variedades como en las líneas. Estos quedaron comprendidos entre 0,05 mg/kg (valor mínimo) y 1,7 mg/kg (valor máximo). En general, las variedades presentaron menor DON (0,23 mg/kg promedio en el 63% de las variedades) comparado con las líneas (0,34 mg/kg promedio en el 73% de las líneas). La Comisión Europea, en resolución de 2006 fijó como valor máximo de DON 1250 mg/kg en granos de trigo, triticale y centeno y para zearalenona 0,100 mg/kg [16] y para consumo humano los valores máximos fijados para DON, nivalenol y zearalenona son 0,001, 0,0007 y 0,0002 mg/kg de peso corporal respectivamente [12]. Bai *et al.* [7] también halló valores bajos (<10 mg/kg) en más de la mitad de los cultivares que se evaluaron. Solo cultivares susceptibles empleados como testigos tuvieron más de 150 mg/kg. Bajo infección natural en 2012 Alberione *et al.* [3] midieron concentraciones de DON en grano en variedades comerciales superiores al nivel de tolerancia mundial (1ppm).

En Paraguay también se determinaron concentraciones bajas de DON (< 1 ppm) y lo atribuyeron a la presencia de gen de resistencia *Qfhs.ndsu-3BS* [10]. En nuestro trabajo, los bajos valores de DON no pudieron explicarse por efectos de genes de resistencia ya que no se determinó esto a través de análisis moleculares. En cambio, pudo deberse a otros factores como resistencia genética parcial combinado con efectos de escape [19].

Evaluando líneas de triticale en Polonia se encontraron las mismas micotoxinas presentes en trigo pan, aunque expresadas en mayores cantidades. El contenido de DON detectado fue en promedio 7.258 mg/kg siendo el rango de 0.028–50.330 mg/kg y el contenido de nivalenol fue 5.267 mg/kg en un rango de 0.0 a 44.628 mg/kg [16]. En otro trabajo donde se evaluaron líneas de trigo de invierno, Ochodzki *et al.* [23] determinaron valores más bajos. El contenido promedio de DON fue de 3.543 mg/kg con un rango de 0 a 25.960 mg/kg y el contenido promedio de nivalenol de 2.115 mg/kg con un rango de 0 a 17.400 mg/kg. Además, detectaron 15 acetil DON en valores aún más bajos que en trabajo de Góral *et al.* [16], siendo el promedio de 0.016 mg/kg para un rango de 0 a 0.325 mg/kg. A diferencia con nuestro trabajo, Góral *et al.* [16] y Ochodzki *et al.* [24] observaron correlación altamente significativa entre iF (%) y contenido de DON. Bai y Shaner [6] afirmaron que la baja correlación entre severidad y concentración de DON, se debe a que la resistencia a Fusariosis de la espiga y la resistencia a la acumulación de micotoxinas puede no ser controlada por los mismos genes.

Resultó relevante en nuestros resultados la ‘no detección’ de DON. En variedades se observó esta situación en los tres ciclos de crecimiento, llegando a ser de hasta un 30% en ciclos intermedios y cortos. En las líneas sólo se observó igual porcentaje en ciclo intermedio.

En esta experiencia se observó una tendencia a incrementar DON en variedades y líneas, al atrasar fechas de siembra; en los ciclos intermedios a cortos se registró aproximadamente un 30% más de contenido de DON. En otros trabajos revisados no se halló respuesta similar.

En variedades comerciales no se encontraron correlacionados el iF (%) y AUDPC con el contenido de DON. Otros trabajos coinciden con nuestros resultados, donde tampoco observaron correlación entre porcentaje de infección y DON [13;25;18]. Por el contrario, Casal Martinez *et al.* [10] encontraron fuerte correlación y positiva entre ambas variables para variedades susceptibles ( $r = 0.941$ ;  $p < 0.01$ ), pero no sobre las variedades resistentes. En otros trabajos se hallaron correlaciones positivas entre proporción de espiguillas enfermas (severidad) y contenido de DON [7;17]. En Paraguay trabajando con variedades resistentes y susceptibles, midieron el contenido de DON en grano y hallaron correlaciones positivas con AUDPC [10].

En las variedades no fue posible asociar positivamente niveles de infección con contenido de DON. Estos resultados coincidieron parcialmente con lo observado en otros trabajos [7;10]. En Paraguay Casal Martinez *et al.* [10] observaron sobre el genotipo ‘Lin 84’ con resistencia de tipo II y nivel de infección más alto que testigos resistentes, menor concentración de DON. Por el contrario, encontraron asociación positiva entre ambas variables en las variedades comerciales Caninde 11, Caninde 12 y Caninde 21 caracterizadas como susceptibles, en las que se detectó niveles de DON entre 2.83 y 4.14 mg/kg. Anteriormente en Argentina sobre el 100% de las muestras de granos recolectadas a campo provenientes de cultivos de trigo, se determinó DON en 9 niveles que variaron desde 0.1 a 25 mg/kg, donde la mayor frecuencia (47,5%) estuvo comprendido entre 4.1 y 10 mg/kg [19].

Contrariamente sobre líneas pre-comerciales, hubo correlación entre estas variables y el contenido de DON. El iF (%) se correlacionó positivamente con el contenido de DON en las líneas de ciclo largo e intermedio. Además, se observó en ellas mínima correlación positiva entre AUDPC y contenido de DON ( $r=0.32$ ;  $p=0,0023$ ).

En similitud con el trabajo de Góral *et al.* [16] donde evaluaron el comportamiento de líneas de triticale frente a FE, en nuestro trabajo también se detectó en algunas variedades y líneas micotoxinas del tipo B tricoteceno (3-aceti DON, 15-acetil DON y Nivalenol). Los valores registrados fueron bajos (< 1 mg/kg) detectándose mayormente en las variedades (CL 36%, CI 44% y CC 17%) y con poco registro en las líneas (CI 10% y CC 4%) (datos no mostrados).

## **Conclusión**

La condición de infección artificial y ambiente adaptado a la experimentación permitió hallar diferencias entre variedades comerciales y líneas pre-comerciales y dentro de ambos grupos por ciclos de crecimiento, a pesar de que las condiciones ambientales naturales durante ese año no resultaron favorables para el desarrollo de la enfermedad. En general se observó menor infección en variedades comerciales, prevaleciendo los tipos de reacción MR y MS. No obstante, en líneas pre-comerciales se observó en mayor proporción valores de iF (%) más bajos. Hubo alta frecuencia de variedades y líneas con infección baja a moderada (hasta 40% de incidencia y severidad) en ciclos intermedios y cortos.

En las líneas se observó mayor infección en las de ciclo intermedio (Reg. II)

En variedades no existió correlación entre contenido de DON y AUDPC. En cambio, en las líneas el AUDPC presentó relación lineal positiva y significativa con el contenido de DON de manera general. A su vez el iF (%) explicó variaciones en AUDPC (correlación positiva) y relación lineal significativa y positiva ( $p < 0,05$ ) con el contenido de DON.

No se detectó DON en 30% de variedades y líneas intermedias y cortas, pudiendo asumirse que en éstas existe resistencia de tipo III.

El contenido de DON varió desde un mínimo de 0,0263 hasta un máximo de 1,758 mg/kg, con menor dispersión de valores en variedades de CL y CC y líneas de CI y por el contrario mayor dispersión en variedades de CI. A pesar de que los valores detectados fueron muy bajos, se observaron diferencias entre variedades y líneas. El 60% de variedades (ciclos largos y cortos) presentó un menor valor promedio de DON ( $\pm 0,230$  mg/kg) comparado con lo observado en el 70% de líneas ( $\pm 0,334$  mg/kg). En las líneas, además se observó leve tendencia a incrementar DON con atraso de fecha de siembra. En líneas de ciclo intermedio se observó mayores valores de DON en granos. Los valores mínimos detectados, resultaron similares en todo el germoplasma evaluado.

Las actividades mencionadas y detalladas en este informe fueron financiadas con fondos del proyecto INTA 2019-PE-I126-001 y 2019-PE-E7-I147-001

Resumen presentado en XVII Jornadas Fitosanitarias Argentina - UNNOBA

## **Bibliografía**

[1] Alberione E..2009. Identificar y desarrollar fuentes de resistencia con adaptación regional. Proyecto Cooperativo Regional en Recursos Genéticos de Trigo para la Sostenibilidad de los Sistemas de Producción del Cono Sur. Módulo 1. Fusariosis de la espiga. Proyecto Regional Trigo - ICCA PROCISUR.

[2] Alberione E., Salines N., Conde M.B., Arburua M., Rosso L.. 2014. Evaluación de Resistencia a Fusariosis de la espiga en cultivares de trigo pan.

[https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp\\_inta\\_informe\\_evaluación\\_de\\_resistencia\\_a\\_fe\\_enrique\\_a.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp_inta_informe_evaluación_de_resistencia_a_fe_enrique_a.pdf)

[3] Alberione E., Bainotti C., Donaire G., Frascina J., Salines J., Salines N., Gómez D., Chulze S., Palazzini J., Mir L., Formica M.B & Cuniberti M.. 2015. Incidencia de Fusariosis de la espiga en cultivares de trigo pan durante 2012-13 en Marcos Juárez (Córdoba-Argentina). Revista FAVE - Ciencias Agrarias 14 (2) 2015 ISSN 1666-7719.

[4] Arroyo-Manzanares, N., Huertas-Pérez, J.F., Gamiz-Gracia, L., García-Campa~na, A.M.,2015. Simple and efficient methodology to determine mycotoxins in cerealsyrups. Food Chem. 177, 274e279. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.040>.

[5] Bainotti C., Lewis S., Campos P., Alberione E., Salines N., Gómez D., Frascina J., Salines J., Formica M.B., Donaire G., Vanzetti L., Lombardo L., Nisi M.M., Cuniberti M., Mir L., Conde M.B., Helguera M.. 2017. A New Argentinean Wheat Cultivar carrying Fhb1 and Lr 47 resistance genes. Crop Breeding And Applied Biotechnology ISSN 1518-7853. Ed. Brazilian Soc. Plant Breeding.

[6] Bai G., Shaner G.. 1994. Scab of wheat. Prospects for Control. Plant Disease. Vol 78. Nº 8

[7] Bai G., Plattner R., Desjardins A..2001. Resistance to Fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. Plant Breeding 120, 1-6 (2001) ISSN 0179-9541.

[8] Buerstmayr H, Ban T. and Anderson J. A.. 2009. QTL mapping and marker-assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: a review. Plant Breeding 128, 1—26 (2009)

[9] Castañares, E., Martínez, M., Cristos, D. et al. Fusarium species and mycotoxin contamination in maize in Buenos Aires province, Argentina. Eur J Plant Pathol 155, 1265–1275 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01853-5>.

[10] Casal Martinez C.C., Reyes Caballero Y.M., Pérez Estigabirria P.E., Arrúa Alvarenga A.A., Moura Mendes J., kholi M.M..2020. Evaluación de la resistencia de genotipos de trigo al tizón de la cabeza por Fusarium en Paraguay. Pesquisa Agropecuária Tropical, vol. 50, e63609, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5063609>.

[11] Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2020). InfoStat, versión 2020, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

[12] Eeckhout M., Haesaert G., Landschoot S., Deschuyffeleer N., De Laethauwer S..2013. Guidelines for prevention and control of mould growth and mycotoxin production in cereals. MYCOHUNT. ANNEX I TO D8.1. REPORT GUIDELINES ON PREVENTION MEASURES

[13] Galich de, M.T.V. 1996. Cap. Fusarium Head Blight in Argentina. Fusarium head scab: Global status and future prospects. Proceedings of a Workshop; El Batán (Mexico); 13-oct-96 - 17-oct-96. 1997. Dubin, H.J.; Gilchrist, L.; Reeves, J.; McNab, A.. : vi, 130 pages. Mexico, DF (Mexico). CIMMYT.

[14] Galich, M.T. Villar de.. 2002. Fusariosis de la espiga del trigo. Trigo. Actualización 2002. Información para Extensión. Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez Nº 71. ISSN 0327 697X

- [15] Galich, M.T Villar de.. 2004. – Fusariosis de la espiga del Trigo. Desarrollo de Germoplasma con Resistencia a *Fusarium graminearum*. IDIA 21. Año 4 N° 50-57 [online] [www.inta.gov.ar/ediciones/idia/cereales/trigo09](http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/cereales/trigo09).
- [16] Góral T., Wísniowska H., Ochodzki P. , Twardawska A. and Walentyn-Góral D.. 2021. Resistance to *Fusarium* Head Blight, Kernel Damage, and Concentration of *Fusarium* Mycotoxins in Grain of Winter Triticale (x *Triticosecale Wittmack*) Lines. *Agronomy* 2021, 11, 16. <https://dx.doi.org/10.3390/agronomy11010016>.
- [17] ITTU, M.; Cana, L.; Tabuc, C. y Taranu, I. 2008. Preliminary evaluation of some factors involved in DON contamination of bread wheat under natural and artificial inoculation. *Romanian Agricultural Research* n° 25/2008. pp 37-4
- [18] Ji, F.; Wu, J.; Zhao, H.; Xu, J. Y Shi, J. 2015. Relationship of Deoxynivalenol Content in Grain, Chaff and Straw with *Fusarium* Head Blight Severity in Wheat Varieties with Various Levels for Resistance. *Manderville RA, ed Toxins* 2015; 7(3) 728-742. doi:10.3990/Toxins7030728
- [19] Kohli, M.M., ed. 1989. Taller sobre la fusariosis de la espiga en América del Sur. México, D.F.: CIMMYT. ISBN 968-6127-37-2.
- [20] Kholi M.M., J.G. Annone y R. García eds. 1996. Las enfermedades del trigo en el Cono Sur. Curso de manejo de enfermedades del trigo. Pergamino, Argentina, 29-31 de Agosto de 1995. ISBN: 968-6923-62-4.
- [21] Mesterházi A.. 2006. Types and components of resistance to *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Breeding* 114 (5):377-386 DOI: 10.1111/J.1439-0523.1995.tb00816.x.
- [22] Ngange W.E, Kaitibie Simeon, Wilson W.W, Bangsund D.A., Leistritz F.L.2004. Economic Impacts of *Fusarium* head blight in wheat and barley: 1993-2001. *Agribusiness and Applied Economics Report* No 538.
- [23] Ortiz L.. 2016. Nuevo ACA 303 Plus. *ACAECER Revista de la Asociación de Cooperativas Argentinas* Año. Abril de 2016 N° 477.
- [24] Ochodzki, P.; Twardawska, A.; Wiśniowska, H.; Góral, T. Resistance to *Fusarium* Head Blight, Kernel Damage, and Concentrations of *Fusarium* Mycotoxins in the Grain of Winter Wheat Lines. *Agronomy* 2021, 11, 1690. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091690>.
- [25] Piñero, M. 1996. Cap. *Fusarium* Toxins in Uruguayan Wheat in *Fusarium* head scab: Global status and future prospects. *Proceedings of a Workshop*; El Batán (Mexico); 13-oct-96 - 17-oct-96. 1997. Dubin, H.J.; Gilchrist, L.; Reeves, J.; McNab, A.: vi, 130 pags. Mexico, DF (Mexico). CIMMYT.
- [26] Velazques P., Formento A.N..2012. Efecto de la Fusariosis de la espiga del trigo (*Fusarium graminearum* y *Fusarium* spp.) en un cultivar susceptible. Campaña 2012. Paraná. Entre Ríos. *Revista Jornada de Cultivos de Invierno. Campaña 2013*. pag. 45-48
- [27] Yipeng Li., Wenbing Lv.,Kaixuan Han., Wentao Tao., Ling Zheng., Shizhuang Weng., Linsheng Huang. 2022. Determination of wheat kernels damage by *Fusarium* head blight using monochromatic images of effective wavelengths from hyperspectral imaging coupled with an architecture self-search deep network. *Food Control* volume 135. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108819>

[28] Xia R., Schaafsma A.W, Wu F., Hooker D.C.. 2020. Impact of the improvements in Fusarium head blight and agronomic management on economics of winter wheat. *World Mycotoxin Journal* 13(3) pages: 423-439 <https://doi.org/10.3920/WMJ2019.2518>

[29] Zhu Z., Hao Y., Mergoum M., Bai G., Humphreys G., Cloutier S., Xia X., He Z.. 2019. Breeding wheat for resistance to Fusarium head blight in the Global North: China, USA, and Canadá. *The Crop Journal* volume 7, Issue 6. Pages 730-738 <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.6.003>