

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGIA AGRÍCOLA
POSGRADO EN PROTECCION VEGETAL**

**LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE LA CEBADA:
ESPECIES, DISTRIBUCIÓN, DAÑOS, TOXINAS
Y PERSPECTIVAS DE MANEJO EN LOS
VALLES ALTOS DE MÉXICO**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN PROTECCION VEGETAL**

PRESENTA:

CESAR RAMÍREZ MARCHAND

ABRIL DEL 2003

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO



DIRECCION ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OPTIMA DE EXAMENES PROFESIONALES



Bib. 98647

**LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE LA CEBADA: ESPECIES,
DISTRIBUCIÓN, DAÑOS, TOXINAS Y PERSPECTIVAS DE MANEJO EN
LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO**

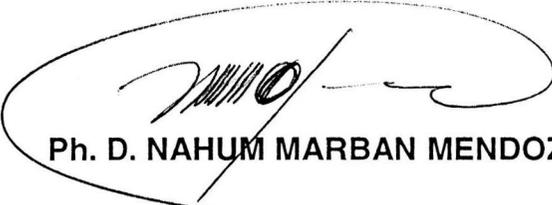
TESIS REALIZADA POR **CESAR RAMIREZ MARCHAND** BAJO LA
DIRECCIÓN DEL COMITÉ ASESOR INDICADO, APROBADA POR EL MISMO
Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR:

DR. CECILIO MENDOZA ZAMORA
qepd

CONSEJERO:


Ph. D. NAHUM MARBAN MENDOZA

CO-DIRECTOR:


DRA. LUCY I. GILCHRIST SAAVEDRA

ASESOR:


Ph. D. FLAVIO CAPETTINI MANCINI

A 40844

**LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE LA CEBADA: ESPECIES,
DISTRIBUCIÓN, DAÑOS, TOXINAS Y PERSPECTIVAS DE MANEJO EN
LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO**

**EL JURADO QUE REVISÓ Y APROBÓ EL EXAMEN DE GRADO DE CESAR
RAMIREZ MARCHAND AUTOR DE LA PRESENTE TESIS DE MAESTRIA EN
CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL ESTUVO CONSTITUIDO POR:**

PRESIDENTE:


Ph. D. NAHUM MARBAN MENDOZA

ASESOR:


DRA. LUCY GILCHRIST SAAVEDRA

ASESOR:


Ph. D. FLAVIO CAPETTINI MANCINI

DEDICATORIA

A MIS PADRES

ISAIAS RAMIREZ Y JOSEFINA MARCHAND

Y A MIS HERMANOS

ROCIO E ISAIAS

POR SER MOTIVO DE SUPERACION CONSTANTE, ATRAVES DE LAS ACCIONES HEMOS APRENDIDO A SUPERAR LOS MOMENTOS DIFICILES. PORQUE SIEMPRE SEGUIREMOS ASUMIENDO NUEVOS RETOS EN LA VIDA, BUSCANDO QUE CADA DIA SEA MEJOR.

A MIS SOBRINOS

ADAMARIS Y FRANCISCO

POR LA GRAN ALEGRIA Y TERNURA QUE ME HAN DADO.

A LA FAMILIA MARCHAND VAZQUEZ

EN ESPECIAL A MIS ABUELOS JUAN Y JOSEFINA

POR SU INVALUABLE CARIÑO, QUE HA REPRESENTADO UNA GRAN FORTALEZA PARA SEGUIR SIEMPRE ADELANTE.

A MIS ABUELOS PEDRO Y ESTHER

POR SU GRAN APOYO QUE EN TODO MOMENTO ME HAN OFRECIDO.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

CON ADMIRACIÓN

A LOS HOMBRES COMPROMETIDOS CONSIGO MISMOS,
CONSCIENTES DE SU NATURALEZA Y POTENCIAL,
EN BÚSQUEDA CONTINUA DE NUEVOS RETOS Y EXCELENCIA,
QUE LES PERMITAN SENTIRSE SATISFECHOS EN LAS DIFERENTES
ETAPAS DE SU VIDA

ALFONSO LARA CASTILLA, 1992.

AL EXCELENTE PROFESOR, PROLIFICO INVESTIGADOR,
RECONOCIDO PROFESIONAL DE LA SANIDAD VEGETAL NACIONAL

AL DR. CECILIO MENDOZA ZAMORA
In memoriam

GRACIAS POR SU INVALUABLE AMISTAD

EN CADA PASO UNA IDEA Y UNA OBRA GENIAL, POR LO VASTO DE
SU HORIZONTE Y LA EXTENSIÓN DE SUS APLICACIONES, SU
MAGNIFICA OBRA SE VERA REFLEJADA POR SIEMPRE

CESAR RAMIREZ MARCHAND, 2003

AGRADECIMIENTOS

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT) POR EL APOYO FINANCIERO OTORGADO PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE POSGRADO.

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO, EN ESPECIAL AL PROGRAMA DE POSGRADO EN PROTECCION VEGETAL, POR SEGUIRME APORTANDO VALIOSAS EXPERIENCIAS EN MI FORMACIÓN PROFESIONAL.

AL DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGIA AGRÍCOLA, POR TODO EL APOYO QUE SIEMPRE ME HAN BRINDADO TANTO DIRECTIVOS, ACADÉMICOS Y TRABAJADORES ADMINISTRATIVOS.

UN AGRADECIMIENTO ESPECIAL A LOS PROFESORES DEL PROGRAMA DE POSGRADO EN PROTECCION VEGETAL, EN ESPECIAL AQUELLOS QUE DE ALGUNA FORMA HAN IMPULSADO A QUE DICHO PROGRAMA SE ENCUENTRE CONSIDERADO DENTRO DEL PROGRAMA DE EXCELENCIA DEL CONACYT.

AL CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO (CIMMYT) POR SU INVALUABLE APOYO ECONOMICO, MATERIAL Y LOGISTICO PARA LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO. MUY EN ESPECIAL A: ROSA MARIA LOPEZ, NOEMÍ VALENCIA, FRANCISCO LOPEZ, MARIA ELENA LEMUS, MONICA PRECIADO, JAVIER Y A TODOS AQUELLOS QUE PERMITIERON QUE MI ESTANCIA EN CIMMYT FUERA DE GRAN PROVECHO EN TODOS LOS SENTIDOS.

A LA DRA. LUCY. I. GILCHRIST S., POR LA EXCELENTE DIRECCION DEL PRESENTE ESTUDIO, PERO SOBRE TODO POR SU INVALUABLE AMISTAD Y SUS APRECIABLES CONSEJOS, GRACIAS.

AL Ph. D. NAHUM MARBAN M. Y Ph. D. FLAVIO CAPETTINI, POR EL GRAN APOYO OFRECIDO EN TODO MOMENTO, ASI COMO POR SUS ACERTADAS SUGERENCIAS AL PRESENTE TRABAJO.

A TODOS MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS.

DATOS BIOGRAFICOS

EL AUTOR DE LA PRESENTE TESIS NACIO EN EL AÑO DE 1977 EN TLAHUALILO, DURANGO. REALIZO SUS ESTUDIOS DE EDUCACIÓN BASICA EN MIGUEL AUZA, ZACATECAS. EN 1991 INGRESA A LA PREPARATORIA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO Y EN 1994 AL DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGIA AGRÍCOLA EN DONDE OBTUVO EL TITULO DE INGENIERO AGRÓNOMO ESPECIALISTA EN PARASITOLOGIA AGRÍCOLA EN 1998, EN SU ESTANCIA EN CHAPINGO FORMO PARTE DEL CUADRO DE HONOR EN SEIS OCASIONES, RECIBIENDO DIVERSOS RECONOCIMIENTOS POR MERITOS ACADEMICOS. A PARTIR DE 1998 PRESTO SUS SERVICIOS PARA EL COMITÉ ESTATAL DE SANIDAD VEGETAL DE SAN LUIS POTOSI, OCUPANDO DIVERSOS CARGOS COMO EL DE COORDINADOR ESTATAL DE REGULACIÓN CUARENTENARIA Y COORDINADOR TECNICO DE PROGRAMAS DE CONTROL QUÍMICO DE MOSCA MEXICANA DE LA FRUTA, CHAPULIN Y LANGOSTA ENTRE OTRAS ACTIVIDADES. A PARTIR DE 1999 OBTIENE SU PRIMER APROBACIÓN FITOSANITARIA POR PARTE DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE SANIDAD VEGETAL, EJERCIENDO DESDE ESE AÑO A LA FECHA ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA VERIFICACION Y CERTIFICACION FITOSANITARIA EN MOSCAS DE LA FRUTA, EMPRESAS DE TRATAMIENTOS CUARENTENARIOS, CAMPAÑA CONTRA LA LANGOSTA Y VERIFICADOR DE EMPRESAS DE PLAGUICIDAS. EL AUTOR HA PARTICIPADO EN DIVERSOS CURSOS, CONGRESOS, REUNIONES Y SIMPOSIOS, COMO ASISTENTE, PONENTE Y COORDINADOR, ASI MISMO HA RECIBIO BECAS POR PARTE DE LA SOCIEDAD INTERNACIONAL DE LA CIENCIA DE LA MALEZA (IWSS) Y LA AGENCIA ESPAÑOLA DE COOPERACION CON IBEROAMERICA (AECI) PARTICIPANDO EN CURSOS DE CAPACITACION E INTERCAMBIO ACADEMICO EN COSTA RICA (2002) Y ESPAÑA (1998) RESPECTIVAMENTE. EN ENERO DEL 2001 INICIA LOS ESTUDIOS DE MAESTRIA EN CIENCIAS EN PROTECCION VEGETAL EN LA U.A.CHAPINGO, CONCLUYENDO ESTOS EN DICIEMBRE DEL 2002 EN DONDE RECIBIO EL RECONOCIMIENTO POR OBTENER EL PROMEDIO MAS ALTO DE SU GENERACIÓN. ACTUALMENTE PRESTA SERVICIOS DE VERIFICACION Y CERTIFICACION FITOSANITARIA Y ASESORIA EN SISTEMAS DE CALIDAD.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	iii
ABSTRACT	vii
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	7
La fusariosis de la espiga de la cebada: revisión bibliográfica	
CAPITULO II	
Especies patogénicas, distribución, severidad y toxinas de la fusariosis de la cebada en los Valles Altos de México	
Resumen	39
Abstract	40
Introducción	41
Materiales y métodos	43
Resultados y discusión	47
Conclusiones	54
Literatura citada	56
CAPITULO III	
Producción de toxinas y daños inducidos por especies patogénicas de la fusariosis de la espiga de la cebada	
Resumen	61
Abstract	62
Introducción	63
Materiales y métodos	65
Resultados y discusión	66
Conclusiones	75
Literatura citada	76

CAPITULO IV

Efecto de fungicidas sobre la fusariosis de la espiga de la cebada y su relación con el rendimiento y producción de toxinas

Resumen	81
Abstract	82
Introducción	83
Materiales y métodos	86
Resultados y discusión	87
Conclusiones	96
Literatura citada	97

CAPITULO V

Búsqueda de resistencia genética a la fusariosis de la espiga de la cebada y a otras enfermedades

Resumen	105
Abstract	106
Introducción	107
Materiales y métodos	109
Resultados y discusión	111
Conclusiones	124
Literatura citada	125
DISCUSION GENERAL	131
ANEXOS	134

LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE LA CEBADA: ESPECIES, DISTRIBUCIÓN, DAÑOS, TOXINAS Y PERSPECTIVAS DE MANEJO EN LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO

CESAR RAMIREZ MARCHAND¹, LUCY I. GILCHRIST SAAVEDRA², CECILIO MENDOZA ZAMORA¹⁺, FLAVIO CAPETTINI M.³, NAHUM MARBAN MENDOZA¹

¹Maestría en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Edo. de México. México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

³Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas para Zonas Áridas (ICARDA) y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

⁺qepd

RESUMEN

En muestreos realizados en campos de cebada en los Valles Altos de México durante los años 2001 y 2002, se aislaron 14 especies de *Fusarium*, de las cuales en un primer estudio 8 resultaron ser patogénicas de la fusariosis de la espiga de la cebada. Destacan por su porcentaje de frecuencia en campo *Fusarium avenaceum* (25.5-32.0 %), *F. graminearum* (20.0-23.5%), *F. tricinctum* (6.5-11.0%), *F. subglutinans* (9.2-10.0%), *F. poae* (5.0-9.0%), *M. nivale* (4.6-8.0%), *F. lateritium* (1.3-9.0%) y *F. heterosporum* (5.0%). En el 100 % de los sitios muestreados se detectó la presencia de la fusariosis con severidad promedio en ambos años de 6.21%, así mismo una presencia del 100% en los sitios muestreados de *Bipolaris sorokiniana* especie altamente destructiva, así como altas frecuencias de *Alternaria* spp, *Epicoccum nigrum* y *Trichothecium roseum*, este último considerado como altamente toxigénico. En análisis de muestras de grano de cebada comercial de los ciclos 2001 y 2002, se detectó la

presencia de micotoxinas (tricotecenos) en un 96.8% de los sitios muestreados en ambos ciclos en niveles desde 0.03 a 7.10 ppm, registrando que un 67.7% de las muestras del ciclo 2001 y un 32.3% del ciclo 2002 se encuentran por encima de los límites máximos establecidos por la FAO y por importantes industrias cerveceras.

Se realizaron inoculaciones en espigas de cebada variedad Esmeralda con aislamientos de *Fusarium* sp. en Atizapán, Edo. de México en el ciclo 2002 con el fin de evaluar el efecto sobre la severidad en espigas, en los componentes del rendimiento y determinar su producción de tricotecenos (deoxinivalenol y nivalenol). Los resultados indican que no existen diferencias significativas (DMS $\alpha=0.05$) en ningún parámetro evaluado, sin embargo se observa diferente severidad entre aislamientos de *F. avenaceum* (Apan y Calpulalpan), y entre los aislamientos de *F. graminearum* (Apan y CIMMYT). Estos resultados indican la existencia de diferentes poblaciones en la misma especie en los Valles Altos de México. *F. avenaceum* (Apan) y *F. graminearum* (Apan) fueron los mas agresivos presentando la mayor severidad final, mientras que *F. subglutinans* (Apan) y *F. tricinctum* (Almoloya) produjeron el mayor efecto en el rendimiento. Por otra parte, se detectó la presencia de tricotecenos en las espigas inoculadas con *F. avenaceum* (Calpulalpan), *F. lateritium* (Zapata), *F. subglutinans* (Benito Juárez y Apan), *F. heterosporum* (Zapata), *F. poae* (Zaragoza) y *F. graminearum* (Apan y CIMMYT). Los niveles de tricotecenos fueron relativamente bajos (0.02-2.70 ppm), pero algunos aislamientos señalan niveles sobre lo permitido por los parámetros de salud. Los resultados deben ser confirmados en otros ciclos de evaluación.

Espigas de cebada de la variedad Esmeralda cultivadas en la estación experimental de Atizapán, Edo. de México (CIMMYT, Int.) durante el ciclo agrícola 2002 fueron artificialmente inoculadas (50×10^3 conidios /ml) con *Fusarium avenaceum* y *F. graminearum* de forma independiente y tratadas con seis fungicidas comerciales: tiofanato-metil (1.0 K/ha), benomilo (0.5 Kg/ha),

tiabendazol (0.5 l/100 l agua), propiconazol (0.5 l/l agua), tebuconazol (1.0 l/ha) y mancozeb (2.0 K/ha). Los tratamientos con tebuconazol, propiconazol y mancozeb presentaron la menor severidad final en de la fusariosis de la espiga causada por *F. avenaceum* (4.62%, 4.71% y 5.34% respectivamente), así mismo tebuconazol y mancozeb presentaron los mayores pesos hectolítricos (538.10 g/l y 544.51 g/l), el peso de mil granos no presentó diferencias significativas entre tratamientos para esta especie (DMS = 0.05). Respecto a *F. graminearum* el tratamiento con benomilo presentó la menor severidad final de la fusariosis de la espiga causada por *F. graminearum* (4.64%), sin embargo tiofanto-metil y mancozeb indujeron el mejor peso de mil granos (37.53g y 36.23g respectivamente), el peso hectolítrico no presentó diferencias significativas entre tratamientos para esta especie. Tanto benomilo y tebuconazol redujeron los niveles de tricotecenos (deoxinivalenol + nivalenol) (0.14ppm 0.26ppm respectivamente) producido por *F. graminearum*, sin embargo no se presentaron diferencias (DMS = 0.05) con respecto al testigo sin fungicida que presentó una concentración tricotecenos de 1.28 ppm. De forma general se observa que no existe una relación directa entre el fungicida, la severidad final, el efecto en el rendimiento y la producción de toxinas.

Dentro del programa de mejoramiento genético a la fusariosis de la espiga llevado por ICARDA/CIMMYT, se evaluó la resistencia tipo I y II de 93 genotipos de cebada a *F. graminearum*, así como 51 genotipos para *F. avenaceum*, principales especies causantes de la fusariosis de la espiga de la cebada en los Valles Altos de México. Los resultados muestran que los genotipos con mayor resistencia a *F. avenaceum* fueron Robust, Foster, cruzas de Atahualpa 92, cruzas con Seebe, Kitchin, Hietpas 3, Zander 1, Gob83DH y Penco/Chevron. Por su parte la mayor resistencia a *F. graminearum* la presentaron CEV96046, Robust, Atahualpa 92/2*M81, Morex, M-104, Robust, Reids Triumph, Peatland, Rumanian 20, Beta 14, Lion Selection, cruzas con Seebe, H9302263x/Shyri, Penco/Chevron y Azafrán. Las variedades Esmeralda y M-16 (Valles Altos de México) presentaron resistencia moderada al tipo I y II, lo que es positivo ya que

son factibles de uso en programas de mejoramiento con el objetivo de producir variedades con mayor nivel de resistencia múltiple a enfermedades, mayor calidad maltera y adaptación a las condiciones de temporal de los Valles Altos. A la fecha son nulos los reportes de resistencia de genotipos de cebada a *F. avenaceum*, por lo que el presente estudio es pionero en esta especie, así mismo se presenta la reacción de los genotipos a la infección natural de *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* y al Virus del enanismo amarillo de la cebada, los resultados deberán confirmarse en evaluaciones posteriores.

Palabras clave: *Fusarium* spp., *Hordeum vulgare*, pérdidas en rendimiento, severidad, tricotecenos, *Puccinia striiformis* f.sp. *hordei*, BYDV, fungicidas, evaluación de variedades

FUSARIUM HEAD BLIGHT IN BARLEY: SPECIES, DISTRIBUTION, DAMAGES, MYCOTOXINS, AND PROSPECTS OF CONTROL IN THE MEXICAN HIGH VALLEYS

CESAR RAMIREZ MARCHAND¹, LUCY I. GILCHRIST SAAVEDRA², CECILIO MENDOZA ZAMORA¹⁺, FLAVIO CAPETTINI M.³, NAHUM MARBAN MENDOZA¹

¹Maestría en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Edo. de México. México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

³Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas para Zonas Aridas (ICARDA) y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

⁺qepd

ABSTRACT

During a sampling studied carried out on barley in the Mexican High Valleys, 2001-2002 fourteen species of *Fusarium* were isolated among them 8 showed pathogenesis inducing Fusarium Head Blight (FHB), with the following frequency range from top to bottom: *F. avenaceum* (25.5-32.0 %), *F. graminearum* (20.0-23.5%), *F. tricinctum* (6.5-11.0%), *F. subglutinans* (9.2-10.0%), *F. poae* (5.0-9.0%), *M. nivale* (4.6-8.0%), *F. lateritium* (1.3-9.0%) y *F. heterosporum* (5.0%). One hundred percent of the field samples showed FHB with a severity average of 6.21% during the two years sampling period. In addition to FHB there were found another barley fungi diseases such as *Bipolaris sorokiniana* with 100% incidence and high frequency of *Alternaria* spp., *Epicoccum nigrum* y *Trichothecium roseum*, the former one considered highly toxigenic. Chemical analysis of commercial grain samples from growth periods 2001 and 2002

showed the presence of mycotoxins (trichothecenes) in 96.8% of the sampling places containing from 0.03 to 7.10 ppm; among these 67.7% and 32.3% from the growth period 2001 and 2002 respectively were above the maximum limits officially established by FAO and the most important brewing industry.

Inoculations were carried out in spikes of Esmeralda barley variety to evaluate their effect on the severity of Fusarium Head Blight on the spikes, in the yield components and toxin production of trichothecenes (deoxynivalenol and nivalenol). Isolates used in the experiment were inoculated in Atizapán, Edo. de México, during the 2000 cycle. The results showed that there is not statistical differences (LSD=0.05) in any variable evaluated; however it was observed different severity between the parameters of the isolates of *F. avenaceum* (Apan and Calpulalpan), and between the *F. graminearum* isolates (Apan and CIMMYT). These results indicate differences between populations of the same species in the Mexican High Valleys. *F. avenaceum* (Apan) and *F. graminearum* (Apan) were the most aggressive showing the highest final severity; in contrast *F. subglutinans* (Apan) and *F. tricinctum* (Almoloya) produce the highest effect in yield. On the other hand, the existence of toxins was detected in the grain coming from the inoculated spikes with *F. avenaceum* (Calpulalpan), *F. lateritium* (Zapata), *F. subglutinans* (Benito Juárez and Apan), *F. heterosporum* (Zapata), *F. poae* (Zaragoza) and *F. graminearum* (CIMMYT, Atizapan). The toxins values were relatively low (0.02-2.70 ppm), but some isolates showed levels over the ranges accepted by the human health parameters. These results need to be confirmed in other evaluation cycles.

Spikes of barley (cv. Esmeralda) growing in CIMMYT experimental station of Atizapan, Edo. de Mexico during the rain fall period of 2002 were artificially inoculated (50×10^3 conidia/ml) with *Fusarium avenaceum* and *F. graminearum* independently and treated with six commercial fungicide: thiofanate-methyl (1.0 K/ha), benomyl (0.5 Kg/ha), thiabendazole (0.5 l/100 l agua), propiconazole (0.5 l/l agua), tebuconazole (.0 l/ha) and mancozeb (2 K/ha). Tebuconazole,

propioconazole, and mancozeb were the best treatment since disease final severity of *F. avenaceum* (4.62%, 4.71% and 5.34% respectively). Also tebuconazole and mancozeb gave the highest hectoliter weight (538.10g/l and 544.51g/l respectively). The weight of 1000 grains did not show significant differences (LSD=0.05) among treatments for this *F. avenaceum*. With *Fusarium graminearum* treatment benomilo showed severity reduction of disease, thiofanate-methyl and mancozeb induce the better 1000 grain weight (37.53% and 36.23%, respectively). However hectoliter weight showed no significant differences (LSD=0.05) in this specie. Both benomy and tebuconazol reduced the levels of tricothecenes (0.14 ppm and 0.26 ppm respectively) produced by *F. graminearum* eventhough this was different (LSD=0.05) from untreated cheks (1.28 ppm). Generally speaking there was not found a direct relationship between fungicide, final severity, yield and tricothecenes production.

A diverse collection of barley genotypes was evaluated for type I and type II resistance to *Fusarium graminearum* (93 genotypes) and *F. avenaceum* (51 genotypes) at the ICARDA/CIMMYT *Fusarium* head blight (FHB) resistance breeding program. Those fungi species are the main causal agents of barley FHB in the Mexico High Valley. The genotypes that showed the highest levels of resistance to *F. avenaceum* were Robust, Foster, offspring from crosses with Atahualpa 92, offspring from crosses with Seebe, Kitchin, Hietpas 3, Zander 1, Gob83DH and Penco/Chevron. The genotypes that showed the highest levels of resistance to *F. graminearum* were CEV96046, Robust, Atahualpa 92/2*M81, Morex, M-104, Reids Triumph, Peatland, Rumanian 20, Beta 14, Lion Selection, offspring from crosses with Seebe, H9302263x/Shyri, Penco/Chevron and Azafran. Esmeralda and M-16, the main cultivars in the Mexican Highlands, presented moderate type I and type II resistance, what is encouraging regarding their use as resistance sources in a breeding program targeted to that environment. Additional advantages would be their resistance to other diseases, enhanced malting quality and adaptation to that environment. Genotypic reaction to natural infection of *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* and Barley Yellow

Dwarf Virus (BYDV) is also reported in this study. There are no previous reports of testing of barley for resistance to *F. avenaceum*, for what results should be confirmed in following research.

Keys words: *Fusarium* spp., *Hordeum vulgare*, yield loses, severity, trichottecenes, *Puccinia striiformis* f.sp. *hordei*, BYDV, fungicides, genotypes evaluation.

LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE LA CEBADA: ESPECIES, DISTRIBUCIÓN, DAÑOS, TOXINAS Y PERSPECTIVAS DE MANEJO EN LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO

CESAR RAMIREZ MARCHAND. MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL. DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO. 56230. CHAPINGO, EDO. DE MÉXICO. MÉXICO.

INTRODUCCION

En México la cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) es sembrada en aproximadamente 301 000 has tanto de temporal como de riego, siendo los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Edo. México y Puebla los principales productores de este cereal (SAGAR, 1999). El área comprendida entre los valles y lomeríos del estado de Hidalgo (Apan y Cd. Sahagún) y el estado de Tlaxcala (Calpulalpan, Tlaxco, Españita y Benito Juárez) representan cerca del 50% del total nacional del área sembrada con cebada, por lo que se le considera la principal zona de producción del cultivo (Impulsora Agrícola S.A de C.V., 2002, comunicación personal).

Todas las áreas geográficas de los Valles Altos de México presentan problemas de fusariosis de la espiga en los cultivos de trigo, cebada y triticale; provocando pérdidas tanto en rendimiento como en la calidad del grano, esto debido a la presencia de toxinas en el grano (Gilchrist, 2000), toxinas como el deoxinivalenol (DON) la cual presenta una alta estabilidad durante los procesos de elaboración de la cerveza, afectando tanto la malta como el producto terminado (Ireta, 2000), compuestos que son altamente estables en cebada almacenada por mas de 7 años (Stack y Casper, 2002).

Esta enfermedad afecta a una gran gama de cereales, entre los que se encuentran el trigo, cebada, triticale, avena y arroz (Parry *et al.*, 1995), tiene la habilidad de destruir completamente altos potenciales de rendimiento en unas

pocas semanas cercanas a la cosecha, presentándose cambios repentinos que van de campos completamente verdes a campos aparentemente muertos de la noche a la mañana (McMullen *et al.*, 1997).

Desde principios de siglo y hasta la fecha, la fusariosis ha causado pérdidas en rendimiento considerables en todo el mundo, presentándose principalmente en Estados Unidos, Canadá, China, algunos países de Europa y países del Cono Sur en Sudamérica (Dubin y Ruckenbauer, 1997; Ireta, 2000; McMullen *et al.*, 1997), lo que ha conllevado a que en los países desarrollados los estudios relacionados con la enfermedad sea llevada a cabo con importantes convenios entre la industria, científicos, productores y universidades entre otros, con la finalidad de dar soluciones de manejo de la enfermedad, ya que recientes epidemias han provocado en estos países un interés generalizado entre la población (McMullen *et al.*, 1997; Nganje *et al.*, 2002).

Nganje *et al.* (2002) menciona que el impacto de la fusariosis de la espiga de los cereales no sólo se manifiesta en los productores de los granos, sino que repercute en otros sectores económicos a nivel local y regional, así mismo indican que por cada dólar de pérdida debida a la fusariosis, al menos dos dólares se ven reflejados en la economía de otros sectores.

La investigación para el manejo de esta enfermedad ha sido ampliamente documentada, sin embargo aún y cuando diversas estrategias han sido adoptadas por los investigadores, ninguna medida por si sola ha presentado actualmente resultados satisfactorios, debido a que el desarrollo de la enfermedad, así como los porcentajes de control están seriamente afectados por las condiciones ambientales, especialmente por la humedad y la temperatura (Ireta, 2000; Parry *et al.*, 1995), además de que la expresión en el control depende fuertemente de las variedades utilizadas, así como de la virulencia de las especies (Mesterhazy, 1997).

El conocimiento en México de la fusariosis en la cebada es reducida, sin embargo, las incidencias y severidades cada año van en aumento en las diferentes áreas de producción de la cebada maltera (C. Mendoza Z., 2002, comunicación personal), lo que representa una gran desventaja competitiva ante los mercados internacionales, ya que en los próximos años de no controlarse las epidemias de la enfermedad, seguramente los productores e industria se verán inmersos en situaciones similares a las que han ocurrido en Asia, Norteamérica y Europa: disminución en los rendimientos y aumento en los niveles de toxinas en el grano, lo que ha conllevado al castigo de los precios del producto comercial y la limitación de las exportaciones.

El presente estudio planteó cubrir algunos aspectos relacionados con esta enfermedad en México, obteniendo así diferentes fases, que dan la pauta para seguir con diferentes líneas de investigación a futuro:

Fase I. Especies patogénicas, distribución, severidad y toxinas de la fusariosis de la cebada en los Valles Altos de México, con los objetivos: 1. Determinar las especies causantes de la fusariosis de la espiga de la cebada en campos de productores de los Valles Altos de México, 2. Delimitar la distribución y severidad de la enfermedad en campo, 3. Comprobar la patogenicidad en grano de las especies identificadas y 4. Determinar la presencia y cuantificar los niveles de tricotecenos en grano de cebada comercial de los Valles Altos de México.

Fase II. Producción de toxinas y daños inducidos por especies patogénicas de la fusariosis de la espiga de la cebada, con los objetivos de: 1. Evaluar la virulencia potencial de diferentes aislamientos de *Fusarium* spp. expresado en severidad de la enfermedad en la espiga, 2. Estimar su daño mediante sus efectos en los componentes de rendimiento y 3. Determinar la producción de tricotecenos de cada aislamiento.

Fase III. Efecto de fungicidas sobre la fusariosis de la espiga de la cebada y su relación con el rendimiento y producción de toxinas, con los objetivos de: 1. Evaluar en campo la efectividad biológica de fungicidas comerciales sobre la severidad causada por *Fusarium avenaceum* y *F. graminearum* de forma independiente, 2. Evaluar en campo el efecto de los fungicidas sobre *F. avenaceum* y *F. graminearum* en los componentes del rendimiento y 3. Evaluar el efecto de la aplicación de fungicidas sobre la producción de tricotecenos de *F. graminearum* en grano de cebada.

Fase IV. Búsqueda de resistencia genética a la fusariosis de la espiga de la cebada y a otras enfermedades, con los objetivos de: 1. Evaluar en campo genotipos de cebada para determinar fuentes de resistencia genética (tipo I y II) a la fusariosis de la espiga de la cebada causada por *F. graminearum*, 2. Evaluar genotipos de cebada para determinar fuentes de resistencia genética (tipo I y II) a la fusariosis de la espiga de la cebada causada por *F. avenaceum*, y 3. Evaluar los genotipos a la infección natural de la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) y al Virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) enfermedades que a su vez interaccionan negativamente con la manifestación de la resistencia a *Fusarium*.

La redacción de las metodologías y resultados de las diferentes fases de la investigación, se presentan en capítulos, mismos que han sido preparados con la finalidad de ajustarlos con mayor facilidad a formatos de artículos científicos para someterlos a revistas con arbitraje nacional y/o internacional. Con la finalidad de evitar la omisión de partes importantes del todo el desarrollo de la investigación, se incluye un capítulo de revisión bibliográfica y un capítulo de anexos.

LITERATURA CITADA

Dubin, H. J., and P. Ruckenbauer. 1997. Foreword. *In*: Dubin, H.J., L. Gilchrist, J. Reeves, and A. McNab (eds). *Fusarium head scab: global status and future prospects*. México D.F.; CIMMYT.

Gilchrist, S.L.I. 2000. Problemas fitosanitarios de los cereales de grano pequeño en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:132-137.

Ireta, M.J. 2000. Fusariosis de los cereales. *En*: Fuentes, D.G. (ed). *Fitosanidad de cultivos básicos*. Segunda edición. Sociedad Mexicana de Fitopatología. México. 1-15.

McMullen, M., R. Jones, and D. Gallenberg. 1997. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease*. 81:1340-1348.

Mesterhazy, A. 1997. Fungicide control of *Fusarium* scab and impact on toxin contamination. *In*: Dubin, H.J., L. Gilchrist, J. Reeves, and A. McNab (eds). *Fusarium head scab: global status and future prospects*. México D.F.; CIMMYT. 120-124.

Nganje, W.E., D.A. Bangsund, F.L. Lesitritz, W.W. Wilson, and N.M. Tiapo. 2002. Estimating the economic impact of a crop disease: the case of *Fusarium* head blight in U.S. wheat and barley. *In*: S.M. Canty, J.Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National *Fusarium* Head Blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 275-281.

Parry, D.W., P. Jenkinson, and L. McLeod. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals-a review. *Plant Pathology* 44:207-238.

SAGAR. 1999. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural - Centro de Estadística Agropecuaria.

Stack, R.W., and H.H. Casper. 2002. Storage of scabby wheat: *Fusarium* goes away, deoxynivalenol doesn't. Canadian Journal of Plant Pathology 24:396.

Comunicaciones personales:

Impulsora Agrícola S.A de C.V., 2002. Apan, Hidalgo, México.

Dr. Cecilio Mendoza Zamora. 2002. Qepd. Maestría en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Edo. de México. México.

CAPITULO I

LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE LA CEBADA: REVISION BIBLIOGRAFICA

CESAR RAMIREZ MARCHAND. 2003. MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL. DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO. 56230. CHAPINGO, EDO. DE MÉXICO. MÉXICO.

LA CEBADA MALTERA EN MEXICO

La cebada (*Hordeum vulgare* L.), es un cereal de grano pequeño utilizado para una gran variedad de propósitos, se utiliza como alimento de ganado, para la elaboración de malta, elaboración de sopas y aderezos y productos de molienda para pan entre otros. La superficie sembrada en México en 1999 ascendió a alrededor de 301 000 ha, distribuidas principalmente en los Valles Altos, el Bajío, Sonora y Baja California, en donde los rendimientos oscilan entre los 2.1 y 4.0 toneladas por hectárea, cultivándose principalmente en el ciclo Primavera – Verano de temporal (IASA, 2000; SAGAR, 1999). Mas del 50% de esta superficie se encuentra en los Valles de Tlaxcala e Hidalgo (Impulsora Agrícola, S.A. de C.V., 2002, comunicación personal), en donde el cultivo representa la principal fuente ingresos de las familias, debido a su gran adaptabilidad a las heladas y condiciones extremas de escasez de agua (IASA, 2000; Zamora, 1986).

IMPORTANCIA DE LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA

Dentro de los problemas fitosanitarios del trigo y cebada, Ireta (2000) menciona que a partir de 1998, la roña o fusariosis de la espiga (*Fusarium* spp.) ha presentado un incremento en su daño, manifestándose en reducciones del 17% del rendimiento y en la producción de micotoxinas. Dichos compuestos demeritan la calidad del grano y provocan enfermedades en animales y

humanos que consumen sus productos y subproductos (Ireta, 2000; Ireta y Gilchrist, 1994). El daño que ha provocado en la industria cervecera mundial, recae en la no utilización de malta cuya concentración de toxinas excedan de 0.2 a 0.5 ppm, lo que aunado a la percepción pública del riesgo de estas compuestos, conlleva grandes pérdidas a la industria y a los productores (Steffenson, 1998).

En México la investigación sobre las especies causantes de la fusariosis de la espiga de la cebada es aún muy escasa, sin embargo algunos reportes indican que la enfermedad está distribuida en los Valles Altos y centro de México (Estado de México, Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, Jalisco y Michoacán), principalmente en trigo (Gilchrist, 2001; Ireta y Gilchrist, 1994). Por su parte, estudios realizados por Gutiérrez (2000) indican la presencia de 7 especies de *Fusarium* en grano comercial de cebada proveniente de los Valles Altos de México.

Dill-Macky y Jones (1997) indican que la importancia de esta enfermedad ha conllevado a que estados como Minnesota en los Estados Unidos de América, presenten desde 1995 iniciativas por parte de las legislaturas estatales referentes a la realización de proyectos encaminados al desarrollo de variedades resistentes, al estudio de la biología de los patógenos, su epidemiología, manejo, detección y estudio de la producción de toxinas, al mapeo molecular de genes de resistencia, entre otros, aspectos que en general se están desarrollando en diversas partes del mundo (Bai y Shaner, 1994; Ireta, 2000; McMullen *et al.*, 1997; Tomasovic *et al.*, 1993).

Las recientes epidemias han hecho que se produzca una red de cooperación internacional, con la finalidad de encontrar respuestas para el manejo de la fusariosis; esto se ha visto reflejado en recientes foros internacionales, en donde los productores, los investigadores, el personal de extensión y la industria, entre otros, discuten los resultados, proyectos y necesidades,

buscando importantes proyectos de investigación y extensión en donde empresas como la Asociación Americana de Cebada Maltera (AMBA Inc.), y empresas cerveceras y malteras, financien proyectos con fuertes sumas de recursos en asociación con universidades y centros de investigación (F. Capettini, y L. Gilchrist, 2002 comunicación personal). Ejemplos claros son los diversos foros internacionales acerca de la fusariosis, principalmente realizados en Estados Unidos de América, Europa y próximamente en Australia.

ORGANISMOS CAUSALES

El primer reporte de la fusariosis de la espiga fue hecho en Inglaterra por G. Smith W. en 1884, quien atribuyó la enfermedad a *Fusisporium culmorum* (Parry *et al.*, 1995), enfermedad que fue reportada posteriormente por varios investigadores en los Estados Unidos de América (Ireta, 2000; Parry *et al.*, 1995). A partir de estos reportes, diversos autores mencionan a *Fusarium graminearum* como el agente causal más importante de la fusariosis de la espiga de cereales en diversos países del mundo (Bai y Shaner, 1994; Gilchrist *et al.*, 1997; Tomasovic *et al.*, 1993; Wiese, 1987).

Se menciona que más de 17 organismos son causantes de la fusariosis de la espiga de los cereales de grano pequeño (Cuadro 1), sin embargo, la mayoría de los reportes están asociados a cinco especies: *Fusarium culmorum*, *F. avenaceum*, *F. graminearum*, *F. poae* y *Microdochium nivale*. Muchas especies de *Fusarium*, incluyendo las anteriores, se les encuentran también provocando muerte de plántulas y pudriciones de cuello, sin embargo las relaciones epidemiológicas entre las tres enfermedades no se conocen claramente (Parry *et al.* (1995). Mihuta-Grimm y Forster (1989) mencionan que la fusariosis de la espiga de los cereales es causada por los hongos *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. nivale* y *F. avenaceum*, al respecto Parry *et al.* (1995) mencionan que las especies predominantes a nivel mundial son *F. graminearum*, *F. culmorum* y *F. avenaceum*, cuya distribución geográfica se encuentra

estrechamente relacionada con las condiciones ambientales (Parry *et al.*, 1995; Saremi *et al.*, 1997).

Cuadro 1. Reportes de las especies asociadas a la fusariosis de la espiga de los cereales

País	Hospedero	Especies	Referencia
Canadá	Trigo	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. acuminatum</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. avenaceum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995 ¹
	Cebada	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. sporotrichum</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. acuminatum</i> , <i>F. semitectum</i>	Gordon, 1959 Clear <i>et al.</i> , 1996.
Estados Unidos	Trigo	<i>Microdochium nivale</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. acuminatum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. subglutinans</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. tricinctum</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. crookwellense</i> , <i>F. moniliforme</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. proliferatum</i> , <i>F. sambucinum</i> , <i>F. semitectum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
	Cebada	<i>F. culmorum</i> , <i>F. sporotrichum</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. acuminatum</i> , <i>F. acuminatum</i> , <i>F. moniliforme</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995 Mihuta-Grimm and Foster, 1989. Salas <i>et al.</i> , 1999.
Austria	Trigo	<i>F. avenaceum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. nivale</i> (<i>Microdochium nivale</i>)	Parry <i>et al.</i> , 1995
Belorusia	Trigo	<i>F. culmorum</i> , <i>F. graminearum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Bulgaria	Trigo	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. moniliforme</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. avenaceum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Checoslovaquia	Trigo	<i>F. avenaceum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. moniliforme</i> , <i>F. oxysporum</i> .	Parry <i>et al.</i> , 1995
Inglaterra	Cebada	<i>F. graminearum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
	Trigo	<i>F. avenaceum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. lateritium</i> , <i>F. poae</i> , <i>M. nivale</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Francia	Trigo	<i>F. avenaceum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>M. nivale</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Alemania	Trigo	<i>F. avenaceum</i> , <i>F. poae</i> , <i>M. nivale</i> <i>F. culmorum</i> , <i>F. graminearum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995 Birzele <i>et al.</i> , 2002
Hungría	Trigo	<i>F. culmorum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. oxysporum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Italia	Trigo	<i>F. graminearum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995

¹ Compilación de varios autores

Cuadro 1 (continuación). Reportes de especies asociadas a la fusariosis de la espiga de los cereales

País	Hospedero	Especies	Referencia
Países bajos	Trigo	<i>F. culmorum</i> , <i>M. nivale</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. avenaceum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Rumania	Trigo	<i>F. graminearum</i> , <i>F. avenaceum</i> <i>F. culmorum</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>M. nivale</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
	Triticale	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. equiseti</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Escocia	Avena	<i>F. graminearum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Suiza	Trigo	<i>M. nivale</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Gales	Cebada/avena	<i>F. graminearum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Yugoslavia	Trigo	<i>F. graminearum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
China	Trigo	<i>F. avenaceum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>M. nivale</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
India	Trigo	<i>F. avenaceum</i> , <i>F. graminearum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Japón	Trigo /cebada	<i>F. graminearum</i> , <i>M. Nivale</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. tricinatum</i> , <i>F. acuminatum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. oxysporum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
Australia	Trigo	<i>F. graminearum</i>	Parry <i>et al.</i> , 1995
México	Cebada	<i>F. graminearum</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. sambucinum</i> , <i>F. semitectum</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. moniliforme</i> , <i>F. dimerum</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. subglutinans</i>	Gutiérrez, 2000.
	Trigo	<i>F. graminearum</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. nivale</i> , <i>F. equiseti</i>	Ireta y Gilchrist, 1994.
Polonia	Cebada	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. sporotrichum</i> , <i>F. equiseti</i>	Perkowski <i>et al.</i> , 1995
	Trigo	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>M. nivale</i>	Tomezak, <i>et al.</i> 2002

¹ Compilación de varios autores

En las regiones más cálidas donde la floración coincide con lluvias, incluyendo partes de los EUA, Canadá, Australia, Europa Central, China, Japón y Sudamérica (Brasil, Argentina, Uruguay y Paraguay) *F. graminearum* es la especie más importante (Bai y Shaner, 1994; Díaz de Ackerman y Kohli, 1997; Galich, 1997; Parry *et al.*, 1995; Tomasovic *et al.*, 1993; Wang, 1997). En regiones marítimas mas frías del Noroeste de Europa, *F. culmorum* tiende a predominar, mientras que *F. poae* y *Microdochium nivale* toman gran

importancia (Parry *et al.*, 1995; Bai y Shaner, 1994). *F. avenaceum* se encuentra distribuida en todo el mundo, aunque en proporciones bajas pero con virulencias de fuerte severidad (Parry *et al.*, 1995). Al respecto Wong *et al.* (1992) señalan que en China de las especies predominantes *F. graminearum* y *F. culmorum* han resultado ser las más virulentas.

SINTOMATOLOGIA Y EPIDEMIOLOGIA

Las infecciones iniciales en trigo se manifiestan en pequeñas manchas de aspecto húmedo, de coloración café o café rosáceo en la base o mitad de las glumas, así como en el ráquis. El síntoma se distribuye en todas direcciones del punto de infección, alcanzando a cubrir parcial o totalmente al grano (Gilchrist, 2001; Ireta y Gilchrist, 1994; Mathre, 1982). Un color rosa salmón o café rojizo puede observarse en las glumas y en la base de las espiguillas, se pueden observar también, granos café verdosos con decoloración interna y muerte prematura de estos. (Wiese, 1987). Si las condiciones son favorables, la infección avanza hacia los granos adyacentes, presentándose en ocasiones crecimiento micelial sobre las espiguillas (Ireta y Gilchrist, 1994). En cebada cuando los tejidos se tornan café, los síntomas pueden confundirse con el daño de otros hongos patógenos y saprófitos, como *Bipolaris sorokiniana*, *Rynchosporium secalis*, *Pyrenophora teres*, *Alternaria* spp., *Epicoccum* spp., entre otros, por lo que el diagnóstico en campo puede ser difícil (Gilchrist, 2001). Los síntomas en cebada no han sido claramente documentados, aún y cuando se ha observado que varían con los síntomas producidos en trigo y otros cereales (L. Gilchrist, 2002, comunicación personal).

Los síntomas son generalmente similares en todos los cereales de grano pequeño, sin embargo, Polley *et al.* (1991) citado por Parry *et al.* (1995), menciona que *F. poae* presenta una variación en infecciones en trigo, presentándose lesiones con centro blanquecino y márgenes café oscuro sobre las glumas, no obstante los mismos síntomas pueden presentarse bajo

invernadero en infecciones iniciales de *F. avenaceum*, *F. culmorum* y *Microdochium nivale* (Parry *et al.*, 1995). Al respecto, Rapilly *et al.* (1973) citados por Parry *et al.*, (1995), menciona que *M. nivale* ha sido reportado causando manchas café en las glumas con margen oscuro, mientras que Cassini (1981) sugiere que los síntomas causados por *M. nivale* pueden ser casi imperceptibles, manifestándose solamente en la disminución del peso de mil granos.

Las lluvias frecuentes, alta humedad y presencia constante de rocío, que coinciden con floraciones y/o llenado de granos, favorecen la infección y desarrollo de la enfermedad (Ireta y Gilchrist, 1994; Parry *et al.*, 1995), presentándose serios daños como la reducción del rendimiento, arrugamiento de granos, contaminación por toxinas y reducción en la calidad de la semilla; reduciendo el peso del grano y disminuyendo el grado comercial del mismo, lo que dificulta su comercialización, exportación y procesamiento (Parry *et al.*, 1995).

La fuente de inóculo de *Fusarium* generalmente se encuentra en el suelo, el cual sobrevive como micelio saprófito o bien como clamidosporas. Cuando se deposita la semilla del cereal en este suelo, puede ocurrir la infección, ocasionando muerte de plántulas y pudrición de cuello. En la etapa de crecimiento, el inóculo proviene del aire, en forma de ascosporas o conidios. Estos infectan a las espigas provocando la Fusariosis de la espiga, los granos infectados si son usados como semilla proveen una fuente importante de inóculo para el desarrollo de la enfermedad en el siguiente ciclo. Todas las especies de *Fusarium* que afectan a los cereales son capaces de sobrevivir como saprófitos (Cook, 1981; Ireta, 2000; Parry *et al.*, 1994).

Parry *et al.* (1995) citan a diversos autores quienes mencionan entre otros cultivos hospederos a la remolacha azucarera, tomate y soya. El incremento general de las incidencias y severidades de la enfermedad alrededor del mundo

es debida a los cambios climáticos y al cambio de los patrones de cultivos, principalmente a la rotación que incluye gramíneas especialmente al maíz y a la utilización de variedades susceptibles (Dill-Macky, 1997).

DAÑOS PROVOCADOS POR LA FUSARIOSIS

Desde 1993 en Estados Unidos de América y Canadá los granos de cebada se han visto afectados por la presencia de toxinas, en donde la enfermedad ha ido en aumento en cuanto a incidencia y severidad, provocando fuertes pérdidas económicas a los productores de trigo y cebada (Gilchrist, 2001; McMullen *et al.*, 1997). Al respecto, Nganje *et al.* (2002), menciona que para los productores de cebada en los EE.UU. las pérdidas económicas debidas a la fusariosis entre los años 1998 al 2000 han sido mas severas, representando un 25.7% del valor de la cebada, y para el año 2000 las pérdidas asociadas a la fusariosis representaron un 35.9% del total de las ventas de cebada.

McMullen *et al.* (1997) documenta el efecto de las altas humedades presentes en la floración y llenado de grano en los Estados Unidos en 1993, como causa de las epidemias en las principales regiones productoras de trigo y cebada, repercutiendo en pérdidas económicas y diversas reacciones sociales negativas, debido a los bajos precios de las cosechas debido al castigo por los altos niveles de toxinas, y al abandono del cultivo por resultar incosteable, lo que ha sido fuertemente comentada por la prensa escrita de este país (McMullen *et al.*, 1997). Otros ejemplos de pérdidas económicas se han presentado en China en donde las pérdidas en rendimiento alcanzan niveles del 20-50% (Chen *et al.*, 1991 citado por Gilchrist, 2001).

McMullen *et al.* (1997) hace referencia a reportes de pérdidas en 1996 en el estado de Ohio por mas de \$100 millones de dólares, en Illinois e Indiana por \$38 millones, en Michigan por mas de \$56 millones, todas debido a reducción en rendimiento, bajo precio y a los costos por la limpieza del grano. También se

señalan pérdidas importantes en North Dakota y en diversas áreas de Canadá; por su parte Busch (1995) citado por McMullen *et al.* (1997) menciona que en 1993 las pérdidas económicas en la región comprendida entre Minnesota, North Dakota y South Dakota se estimaron en \$1000 millones de dólares, haciendo de esta epidemia la pérdida económica mas grande en los Estados Unidos debido a alguna enfermedad en un sólo año.

Las pérdidas de rendimiento varían en cada año y en cada región. *Chaudhary et al.* (1990) menciona que en la India se presentaron pérdidas en el rendimiento entre el 15 y 29% causadas por la infección natural de *F. avenaceum*, mientras que Miedaner *et al.* (1993) mencionan que en arroz de invierno en líneas mejoradas inoculadas artificialmente, la reducción en el rendimiento ascendió a 27.4-48.7% para el caso de *F. culmorum* y de 38.0-51.7% para *F. avenaceum*. Por su parte Saur (1991) reporta reducciones en el rendimiento de 6.4-39.2% en genotipos inoculados con *F. culmorum*.

PRODUCCION DE TOXINAS

Las toxinas producidas por *Fusarium* han sido estudiadas por mas de sesenta años, el incremento en la sensibilidad y selectividad de métodos analíticos han señalado que las toxinas de *Fusarium* son numerosas y diversas químicamente; sin embargo el conocimiento de su relación biológica y ecológica se ve desfavorecido por la compleja y difícil taxonomía del género (Desjardins y Proctor, 2001).

En la últimas dos décadas, las toxinas producidas en granos por especies de *Fusarium spp.*, han llegado a ser uno de los principales problemas que tiene implicaciones en la salud humana. En países desarrollados los niveles de toxinas en granos que son usados como alimentos no deben contener por legislación niveles superiores a 2 ppm, sin embargo en países del tercer mundo no existen regulaciones ni laboratorios de detección sobre el contenido de estas

en los granos, por lo que los problemas son mas severos, especialmente en las regiones andinas en donde la cebada juega un papel importante dentro de la alimentación humana y animal (Gilchrist, 2000; Vivar, 2001).

El deoxinivalenol (DON) es el tricoteceno más importante en términos de exposición humana; junto a este existen otros como el T-2, nivalenol, 15-acetil deoxinivalenol, 3-acetil deoxinivalenol, diacetoxiscipernol, los cuales también son tóxicos para el hombre. *F. graminearum* y *F. culmorum* son especies de hongos estrechamente relacionados que producen el DON, o nivalenol y zearalenona dependiendo del origen geográfico del aislamiento (Miller *et al.*, 2001)

En 1993, los parámetros de calidad del grano de cebada en South Dakota, North Dakota y Minnesota fueron aceptables, sin embargo, los niveles de DON fueron altos, lo que representó un problema para la producción de malta, cerveza y afectó la industria alimenticia, ya que los principales compradores de malta de cebada adoptaron un nivel máximo de 0.5 ppm en grano comercial, afectando fuertemente a los productores de cebada de estos estados (Barr *et al.*, 1996 citado por McMullen *et al.*, 1997).

Específicamente en North Dakota, el área cosechada se ha visto reducida en los últimos años debido en parte a la fusariosis. Las pérdidas debidas a esta enfermedad ascendieron a \$200 millones de dólares, algunas de estas son atribuidas a la acumulación de DON, ya que el grano con niveles superiores a 0.6 ppm fueron rechazados por la industria de la malta y cerveza (Urrea *et al.*, 2002).

Por otra parte, se ha relacionado la capacidad de producción de DON con la agresividad de especies de *Fusarium* causantes de la fusariosis de la espiga, lo que esta fuertemente relacionado con las condiciones ambientales (Mesterhazy, 2002). Sin embargo, otro autores mencionan que no siempre se presenta una

correlación entre la severidad de la enfermedad con el contenido de toxinas, mismo que se ve afectado en algunas ocasiones al sistema de cultivo (Birzele, *et al.*, 2002).

F. avenaceum, *F. graminearum* y *F. culmorum* son las principales especies toxigénicas causantes de la fusariosis de los cereales de grano pequeño, sin embargo otras especies menos agresivas u oportunistas son también toxigénicas en donde se incluyen *F. poae*, *F. cerealis*, *F. equiseti*, *F. sporotrichoides*, *F. tricinctum*, *F. acuminatum*, *F. subglutinans*, *F. solani*, *F. oxysporum*, *F. verticillioides*, *F. semitectum* y *F. proliferatum*. Su importancia y severidad es debida principalmente a los factores ambientales, manejo agronómico y genotipos utilizados de trigo y otros cereales (Bottalico y Perrone, 2002).

Bottalico y Perrone (2002), indican que *F. graminearum* y *F. culmorum* producen DON y nivalenol (NIV), la fusarenona X (FX) es formada por *F. graminearum*, *F. cerealis*, *F. culmorum* y *F. poae*, la moliformina es producida por *F. avenaceum* y la toxina T-2, toxina HT-2 y Diacetoxyscripenol (DAS) por *F. poae* y *F. sporotrichoides*, y finalmente la Beavericina (BEA) por *F. avenaceum* y *F. poae*. Por su parte Salas *et al.* (1999) menciona que en cebada *F. graminearum* produce DON y 15-AcDON, *F. sporotrichoides* produce T-2, HT-2 y T-2 tetraol y *F. poae* produce nivalenol. Piñeiro (1997), menciona la ocurrencia natural en Uruguay de toxinas como DON, 3-AcDON, 15-Ac DON, NIV, FX y T-2, predominando DON. Otros inventarios importantes de las toxinas producidas por cada especie de *Fusarium* son los compilados por Desjardins y Proctor (2001), Frisvad (1986), Magan *et al.* (2002) y por Vesonder y Hesseltine (1981).

Hooker *et al.* (2002) mencionan los efectos que tienen los componentes del clima (precipitación y temperatura) en la producción de DON, señalando que

existen posibilidades de predecir los contenidos de DON basándose en las condiciones ambientales prevalecientes en cada región.

Se ha reportado una alta estabilidad de DON, detectando altos niveles en cebada almacenada por más de 7 años (Stack y Casper, 2002), al respecto a semillas de trigo con diferentes niveles de infección de *F. culmorum* se evaluaron bajo diferentes condiciones de almacenamiento durante 36 semanas, las micotoxinas encontradas fueron la Zearalenone (ZEA), DON y NIV, las cuales se presentaron en mayores cantidades bajo condiciones de temperaturas de 25 °C y humedades relativas de 90% (Homdork *et al.*, 2000).

Miller *et al.* (1985) mencionan los efectos en humanos y animales de las toxinas producidas de *Fusarium* sp.; las mismas que provocan irritación en la piel, diarrea, hemorragias, daños neurológicos, abortos, cáncer del esófago y de los pulmones y alteraciones hematológicas. Una ingestión crónica de pequeñas cantidades puede resultar en un efecto secundario importante, predisposición a enfermedades infecciosas a través de la supresión del sistema inmunológico (Miller *et al.*, 1985). Aunado a esto, el daño de las toxinas en la industria cervecera se refleja en la sobreproducción de espuma causada por una repentina salida de CO₂, fenómeno conocido como “gushing”, lo que afecta la calidad de la cerveza comercial (Ireta, 2000; Miller *et al.*, 1985; Schwartz *et al.*, 1997).

Robens (2001) menciona que el costo del manejo de las diversas micotoxinas en los EE.UU. contemplan diversos aspectos: el costo debido a que el grano no se puede vender o se vende a bajos precios, la rotación de cultivos es difícil, el costo del muestreo y análisis es alto, el costo administrativo de las regulaciones y la pérdida de las exportaciones entre otras.

Todas las áreas geográficas de los Valles Altos de México presentan la fusariosis de la espiga en los cultivos de trigo, cebada y triticale; provocando

pérdidas tanto en rendimiento como en la calidad del grano (Gilchrist, 2000), Sin embargo, en México no existen reportes de la presencia de estas toxinas, situación que es de primordial importancia estudiar, ya que los niveles de la fusariosis van en incremento, lo que seguramente repercutirá en la presencia de toxinas en el grano comercial.

CONTROL QUIMICO CON FUNGICIDAS

Diversos son los reportes que indican de la poca efectividad de los fungicidas (Gregoire, 2002; Homdork *et al.*, 2002; Pederson y McMullen, 1999), debido a que diversos factores influyen en la efectividad de los mismos, como la etapa fenológica del cultivo al momento de la aplicación, tipo de boquilla, método de aplicación utilizado, ángulo de boquillas, condiciones ambientales, entre otras (Lukach *et al.*, 1999; Wang, 1997; Draper *et al.*, 2002). Debido a lo anteriormente expuesto el manejo de la fusariosis debe enfocarse en un contexto de manejo integrado de diversas herramientas como el mejoramiento genético, sistemas de cultivo, manejo de drenajes, protección con fungicidas, utilización de biocontroladores, entre otras (Gilchrist, 2000; Hershman *et al.*, 2001; Mauler-Machnik y Suty, 1997; Wang, 1997).

Las irregularidades en el éxito de los tratamientos químicos son debidas en parte a la falta de conocimiento de la epidemiología del patógeno que permita pronosticar la enfermedad, esto incluye el desconocimiento acerca del desarrollo y movimiento del inóculo, por lo que el mejorar la tecnología de aplicación y la información para pronosticar la enfermedad, puede permitir al productor el uso efectivo de fungicidas, en conjunto con otras estrategias de manejo de la enfermedad (McMullen *et al.*, 1997).

Sin embargo, Wang (1997) menciona que en China se han presentados controles del 80-90% de la enfermedad mediante la aplicación de carbendazim+triademefon, incrementando los rendimientos hasta en un 20%.

Así mismo el azoxystrobin y fungicidas relacionados (que afectan la respiración) han sido evaluados en diversas partes del mundo, obteniendo resultados inconsistentes, ya algunos autores reportan buenos controles (Pederson *et al.*, 2001; Pederson y McMullen, 1999), mientras que otros investigadores reportan una poca efectividad aunado a que estos incrementan los niveles de tricotecenos (Magan *et al.*, 2002; Pirgozliev *et al.*, 2002).

En los Estados Unidos, diversas instituciones desarrollan investigación sobre los fungicidas codificados como AMS21619 (prothioconazol, fungicida experimental de Bayer) y BAS505 (fungicida experimental de BASF), mismos que presentan índices de incidencia y severidad bajos en comparación con otros tratamientos, así como registran un mayor rendimiento y menor concentración de toxinas (Bloomberg *et al.*, 2002; El-Allaf *et al.*, 2001; El-Allaf *et al.*, 2002; Hershman *et al.*, 2002; Kawamoto *et al.*, 2002).

Díaz de Ackermann *et al.* (2002) mencionan la eficacia del fungicida metconazol (Caramba) el cual provee buenos resultados en cuanto a la reducción de la severidad de la enfermedad e incremento en los parámetros de rendimientos situación que ha sido confirmada por Pirgozliev *et al.* (2002). Por su parte, diversos autores mencionan que el efecto de los triazoles (propiconazol, tebuconazol, metconazol) sobre la Fusariosis ha sido en la mayoría de los reportes aceptable (Díaz de Ackermann y Kohli, 1997; El-Allaf *et al.*, 2001; Hershman *et al.*, 2001; Homdork *et al.*, 2000; Magan *et al.*, 2002; Mesterhazy *et al.*, 2002; Pederson y McMullen, 1999), sin embargo los resultados de eficiencia son inconsistentes y en la mayoría de los ocasiones presentan niveles altos de toxinas.

Dill-Macky y Jones (1997) mencionan que el uso de Benlate (benomil) está registrado en el cultivo de trigo en los Estados Unidos, el cual aparentemente es el fungicida mas efectivo de los disponibles para los productores. Sin embargo,

su uso no es autorizado en cebada. Sus efectos positivos han sido documentados por Pederson y McMullen (1999).

Otros fungicidas que presentan buenos resultados han sido la mezcla de carbendazim+triademefon Wang (1997), azoxystrobin (Pederson *et al.*, 2001; Pederson y McMullen, 1999; Pirgozliev *et al.*, 2002) entre otros. Se han reportado tratamientos a semilla que disminuyen la cantidad de inóculo inicial y con ello una disminución de la epidemia (McMullen *et al.*, 1997), los tratamientos a la semilla mas efectivos han sido el mancozeb, tiabendazol y difeconazol (Dill-Macky, 1997).

Gregoire (2002) y Needham (2002) mencionan que los principales parámetros estudiados en relación a las técnicas de aplicación de los fungicidas han sido: tiempo de aplicación, ángulo de aplicación, presión (de 30 a 90 psi en incrementos de 10 psi), tipos de boquillas (en donde orificios mas pequeños han dado mejores resultados), gasto de agua y uso de adyuvantes. Por su parte, Draper *et al.* (2002) mencionan que en los EE.UU. la aplicación de productos químicos es realizada por vía aérea, por lo que la eficacia de la aplicación de fungicidas contra la fusariosis es reducida, razón por la cual la investigación para estas áreas debe enfocarse al acondicionamiento de boquillas y cantidades de agua utilizada.

UTILIZACION DE BIOCONTROLADORES

La dificultad para controlar esta enfermedad con tratamientos químicos, rotación de cultivos o variedades resistentes ha permitido evaluar agentes de control biológico con el objetivo de integrar estrategias de manejo integrado de la fusariosis (Da Luz, 2001).

Algunos estudios reportan que biocontroladores como Cornell University BC y TrigoCor 1448 reducen significativamente la concentración de DON en

comparación con los testigos y fungicidas aplicados solos (Hershman *et al.*, 2001; Hershman *et al.*, 2002). Por su parte existen reportes en donde se observan que biocontroladores como TrigoCor 1448 presentan buen control de la fusariosis y reduce significativamente la concentración de DON, sin embargo estos resultados no son constantes en las diferentes regiones donde se han evaluado, presentándose en ocasiones resultados muy pobres, por lo que se recomienda usar este biocontrolador como un componente dentro del manejo integrado (El-Allaf *et al.*, 2002; Kawamoto *et al.*, 2002; Stockwell *et al.*, 2001).

En Brasil se han evaluado 15 especies diferentes como potenciales biocontroladores de la fusariosis, entre los que se encuentran algunas especies de *Bacillus* spp, y *Pseudomonas* spp (Da Luz, 2001). Al respecto Core *et al.* (2002) mencionan que *Cryptococcus* (cepa OH182.9) reduce la severidad de la fusariosis en trigo en un 56% e incrementa el peso de 100 granos en un 100%, así mismo estudios con *Lysobacter enzymogenes* cepa C3 ha sido reportada como biocontrolador de *F. graminearum* (Yuen y Jochum, 2002).

Khan *et al.* (2001) evaluó diversas cepas de organismos antagonistas (*Bacillus subtilis* y *Cryptococcus* sp.) encontrando resultados que prometen el uso de estos organismos en un manejo integrado de la fusariosis en trigo.

BUSQUEDA DE RESISTENCIA GENETICA

La resistencia está basada en cuatro tipos de mecanismos diferentes: resistencia tipo I o de penetración en donde la planta se opone a la infección inicial, evitando la penetración del patógeno al tejido de la planta. En La resistencia tipo II o de invasión el hongo penetra a la planta, pero las hifas no pueden invadir a las células adyacentes al punto de penetración; la resistencia tipo I y tipo II varían independientemente entre cultivares (Schroeder y Christensen, 1963). La Resistencia tipo III o bioquímica es la habilidad que tienen algunos genotipos para inhibir la síntesis de DON o degradarlo (Miller y

Arnison, 1986). La Resistencia tipo IV es la tolerancia a altas concentraciones de DON en donde la planta puede tolerar altas concentraciones de micotoxinas sin presentar efectos negativos en el crecimiento (Wang y Miller, 1988; Ma *et al.*, 1997). Sin embargo en la actualidad y a pesar de un sin número de investigación al respecto, hoy en día los conceptos y nomenclatura de los tipos de resistencia no han sido claramente definidos, por lo que grupos de trabajo se encuentran en discusión para homogeneizar criterios (Bushnell, 2002).

La resistencia a *F. graminearum* es difícil de evaluar en condiciones de campo, aunque la producción de síntomas es fácil, es primordial mantener un control de la composición del inóculo usado, el método de aplicación y las circunstancias en las cuales se realiza la inoculación, debido a que la introducción de esta gran variabilidad, prácticamente sería imposible interpretar los resultados observados correctamente. Las bases de la resistencia a la fusariosis son complejas, el medio ambiente interactuando con la planta hospedante y el patógeno producen reacciones de resistencia. El tamaño del área infectada en la planta hospedante es el resultado de estos tres componentes (Gilchrist, 2001).

Diversos autores han reportado a *Triticum dicoccoides* como fuentes de resistencia a la fusariosis en trigo (Buerstmayr *et al.*, 2002; Stack y Miller, 2002). Por su parte, Sckoglund y Menert (2002) seleccionaron 15 genotipos de cebada que pudiesen integrarse a programas de mejoramiento para resistencia a la fusariosis, de estos destacan los genotipos Mammoth Winter, Wisconsin Pedigree, Hietpas 3, Chevron, Peatland, entre otros.

Gilchrist *et al.* (2001) reportan 12 genotipos de cebada como aptos para ser incorporados en los programas de mejoramiento hacia la fusariosis, destacando las líneas provenientes de cruces con Azafran y Gobernadora. Así mismo, Steffenson y Scholz (2001) reportan con expresión de resistencia a los genotipos Seed Stocks 1148-1, Chevron selection, Chevron, 184, Foster, 7603, HOR 1390, 569C, 194D y Chun Gong Mai, estos mismos autores reportan a

Hordeum vulgare subsp. *spontaneum* como fuente alternativa de resistencia a la fusariosis.

Franckowiak (2002) menciona que genotipos de cebada provenientes de Alemania y China han sido identificados con altos niveles de resistencia a la Fusariosis, otros genotipos que inicia su utilización en programas de mejoramiento son provenientes de Brasil (PFC88209), de México (Atahualpa), así como los cultivares Conlon y el cultivar con número de acceso Shenmai 3 (Gobernadora), este último proveniente es una línea del programa CIMMYT/ICARDA que se adaptó bien en China.

Por otra parte Proctor *et al.*, (2002) mencionan que la virulencia de *F. graminearum* puede estar influenciada por la producción de tricotecenos, por lo que sugieren la posibilidad de generar plantas que sean resistentes al hongo por el incremento de la resistencia a los tricotecenos.

La mayor dificultad en la búsqueda de resistencia radica en que los investigadores se han enfocado a seleccionar todos los mecanismos de resistencia en forma conjunta, utilizando un solo método de inoculación y evaluación (Gilchrist, 2000), por otra parte las diferencias entre metodologías utilizadas para la evaluación de genotipos ha conllevado a que se obtengan inconsistencias en los resultados (Mesterhazy, 1997).

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en coordinación con el Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas para Zonas Áridas (ICARDA), mantiene un programa de investigación sobre cebada con base en México, en donde se incluyen estudios enfocados al mejoramiento genético hacia diferentes enfermedades, entre estas a la fusariosis (Gilchrist, *et al.*, 1997). Después de varios años de pruebas bajo inoculaciones artificiales en la estación experimental Toluca, México (CIMMYT), varias líneas de cebadas desnudas tanto de 2 hileras como de 6 hileras han sido seleccionadas por su

resistencia al tipo I y II de la fusariosis, cuya semilla se ha distribuido a los programas nacionales alrededor del mundo para su estudio y uso en programas de mejoramiento genético (Vivar, 2001; Franckowiak, 2002).

GRUPOS INTERDISCIPLINARIOS DE INVESTIGACION

Nganje *et al.* (2002) mencionan que el impacto de la fusariosis de la espiga de los cereales no solo se manifiesta en los productores de los granos, sino que repercute en otros sectores económicos a nivel local y regional, así mismo indican que por cada dólar de pérdida debida a la fusariosis, al menos dos dólares se ven reflejados en la economía de otros sectores.

Esta consideración es importante, ya que en países como los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá se desarrollan programas conjuntos entre Universidades, Centros de Investigación, oficinas gubernamentales, empresas de insumos fitosanitarios como Bayer CropScience, BASF, Syngenta, así como asociaciones de productores como la Asociación Americana de Cebada Maltera, la industria maltera y de cerveza como Miller Co. y Anheuser Bush Co. Todas ellas con el objeto de financiar y desarrollar investigación enfocada a proponer alternativas viables para el manejo de la enfermedad, resultados que se han manifestado en la conformación de Iniciativas como la Iniciativa de los Estados Unidos contra la Fusariosis de la Cebada y Trigo (U.S. Wheat and Barley Scab Initiative), el Comité de Investigación regional del Centro Norte (North Central Regional Research Committee, NCR184) entre otros.

Los diferentes esfuerzos se han visto manifestados en diferentes foros internacionales desarrollados en Estados Unidos (1999, 2000, 2001 y 2002 National *Fusarium* head blight forum proceedings), en las memorias publicadas por CIMMYT en México (*Fusarium* head scab: global status and future prospects), el Seminario internacional sobre *Fusarium* y sobre micotoxinas (Hungría, 1997), el Seminario Europeo sobre *Fusarium* (publicado en 2002), así

como otros importantes foros relacionados con el género *Fusarium* como el *Fusarium* Paul E. Nelson Memorial Symposium (2001), entre otras importantes reuniones. Sin embargo, aún y cuando los avances son considerables, las pérdidas y daños por esta enfermedad siguen siendo de especial importancia, por las repercusiones económicas y a la salud humana y animal que conlleva la presencia de toxinas.

En México, el conocimiento de la situación de esta enfermedad sobre el cultivo de la cebada es aún muy escasa, por lo que a corto plazo deberán conducirse diferentes investigaciones relacionadas con la identificación de especies, delimitación de la distribución, sus daños, aspectos de biología y epidemiología, la producción de toxinas en grano de cebada y en sus subproductos industrializados, así como proponer diferentes tácticas de control como el uso de fungicidas, desarrollo de técnicas de aplicación de estos, el mejoramiento genético, el control cultural, el uso de organismos como biocontroladores, así como el uso de las herramientas biotecnológicas, lo que deberá ser realizado mediante una coordinación y colaboración estrecha entre los diversos sectores relacionados con la producción y uso de la cebada.

LITERATURA CITADA

Bai, G., and G. Shaner. 1994. Scab of wheat: prospects for control. *Plant Disease* 78 (8):760-766.

Birzele, B., A. Meier, H. Hindorf, J. Kramer, and H.W. Dehne. 2002. Epidemiology of *Fusarium* infection and deoxynivalenol content in winter wheat in the Rhineland, Germany. *European Journal of Plant Pathology* 108:667-673.

Bloomberg, J.R., D.E. Rasmussen, and T.K. Kroll. 2002. JUA6476 or the control of *Fusarium graminearum* and others diseases in cereals. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 56.

Bottalico A., and G. Perrone. 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain in Europe. *European Journal of Plant Pathology* 108:611-624.

Buerstmayr, H., M. Stierschneider, B. Steiner, M. Lemmens, M.Griesser, E. Nevo, and T. Fahima. 2002. Variation for resistance to Fusarium head blight in *Triticum dicoccoides*. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 199.

Buschnell, W.R. 2002. Designating types of scab resistance: a discussion. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 200.

Cassini, R. 1981. *Fusarium* disease of cereals in Western Europe. *In*: P.E. Nelson, T.A. Toussoun, and R.J. Cook (eds). *Fusarium: diseases, biology, and taxonomy*. The Pennsylvania State University. USA. 56-63.

Clear, R. M., S.K. Patrick, T. Nowicki, D. Gaba, M. Edney, and J.C. Babb. 1996. The effect of hull removal and pearling on *Fusarium* species and trichothecenes in hullless barley. *Canadian Journal of Plant Science* 77: 161-166.

Cook, R. J. 1981. *Fusarium* diseases of wheat and other small grains in North America. *In*: P.E. Nelson, T.A. Toussoun, and R.J. Cook (eds). *Fusarium: diseases, biology, and taxonomy*. The Pennsylvania State University. USA. 39-52.

Core A.B., D.A. Schisler, T.E. Hicks, P.E. Lipps, and M. J. Boehm. 2002. Population dynamics in the field of a biocontrol agent for *Fusarium* head blight of wheat. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National *Fusarium* head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 61

Chaudhary, R. G, and E. S. Vishwadhar. 1990. Epidemiology and basic factors of severity, yield loss and grain quality deterioration due to ear blight of wheat in Arunachal Pradesh. *Indian Phytopathology* 43: 571-574.

Da Luz, W.C. 2001. Biodiversity of microbial antagonists to *Gibberella zeae* in Brazil. *In*: Canty S. M., Lewis, J., Siler, L., and R. W. Ward (eds). 2001 National *Fusarium* head blight forum proceedings. U. S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 46-47.

Desjardins, E.A., and R.H. Proctor. 2001. Biochemistry and genetics of *Fusarium* toxins. *In*: B.A. Summerell, J.F. Leslie, D. Backhouse, W. L. Bryden and L. Burgess. *Fusarium* Paul E. Nelson memorial symposium. The American Phytopathological Society. 50-69.

Díaz de Ackerman, M., and M.M. Kohli. 1997. Research on *Fusarium* head blight of wheat in Uruguay. *In*: Dubin, H.J., L. Gilchrist, J. Reeves, and A. McNab (eds). *Fusarium* head scab: global status and future prospects. México. D.F.: CIMMYT. 13-18.

Diaz de Ackermann, M.M. Kohli, and V. Ibañez. 2002. Variations in fungicide application techniques to control *Fusarium* head blight. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National *Fusarium* head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 62.

Dill-Macky, R. 1997. Fusarium head blight: recent epidemics and research efforts in the Upper Midwest of United States. *In*: H.J. Dubin, L. Gilchrist, J. Reeves, and A. McNab (eds). Fusarium head scab: global status and future prospects. México. D.F.; CIMMYT. 1-6.

Dill-Macky, R., and R. K. Jones. 1997. The effect of previous crops and tillage on Fusarium head blight of wheat. *Cereal Research Communications* 25:711-712.

Draper, M.A., J.A. Wilson, B.E. Ruden, D.S. Humburg, K.R. Ruden, and S.M. Schilling. 2002. Aerial spray coverage trials in South Dakota-2002. *In*: S.M.

Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 63-64.

El-Allaf, S.M., P.E. Lipps, and L.V. Madden. 2002. Fusarium head blight: epidemics and control. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 69-72.

El-Allaf, S.M., P.E. Lipps, L.V. Madden, and A. Johnston. 2001. Effect of foliar fungicides and biocontrol agents on Fusarium head blight development and control in Ohio. *In*: Canty S. M., J. Lewis, L. Siler, and R. W. Ward (eds). 2001 National Fusarium head blight forum proceedings. U. S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 49-53.

Frisvad, J.C. 1986. Taxonomic approaches to mycotoxin identification (taxonomic indication of mycotoxin content in foods). *In*: R.J. Cole (ed). Modern methods in the analysis and structural elucidation of mycotoxins. Academic Press, Inc. 415-457.

Franckowiak, J.D. 2002. Variety development and uniform nurseries: FHB resistance in barley. *In*: S.M. Canty, J.Lewis, L. Siler, and R.W.Ward (eds). 2002 National fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative.USA. 232-233.

Galich, M.T.V. 1997. Fusarium Head Blight in Argentina. *In*: H.J. Dubin, L. Gilchrist, J. Reeves, and A. McNab (eds). Fusarium head scab: global status and future prospects. México. D.F.: CIMMYT. 19-28.

Gilchrist, L. 2001. Perspectives on fusarium head blight resistance in barley. *In*: Breeding barley in the new millenium: proceedings of an International Symposium. H.E. Vivar, and A. McNab (eds). México, D.F.: CIMMYT. 61-71.

Gilchrist, L., M. Van Ginkel, S. Rajaram, H. Vivar, and F. Capettini. 2001. Germoplasm contribution of the CIMMYT wheat program to the U.S. wheat and barley scab initiative.: *In*: Canty S. M., Lewis, J., Siler, L., and R.W. Ward (eds). 2001 National Fusarium head blight forum proceedings. U. S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 176-179.

Gilchrist, L., S. Rajaram, A. Mujeeb-Kazi, M. Van Ginkel, H. Vivar, and W. Pfeiffer. 1997. Fusarium scab screening program at CIMMYT. *In*: Dubin, H.J., L. Gilchrist, J. Reeves, and A. McNab (eds). Fusarium head scab: global status and future prospects. México. D.F.: CIMMYT. 7-12.

Gilchrist, S.L. 2000. Problemas fitosanitarios de los cereales de grano pequeño en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:132-137.

Gordon, W.L. 1959. The occurrence of *Fusarium* species in Canada. VI. Taxonomy and geographic distribution of *Fusarium* species on plants, insects and fungi. *Canadian Journal of Botany* 37: 257-290.

Gregoire, T.D. 2002. An extension agronomist's experiences with fungicide application techniques to improve control of FHB. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 76

Gutiérrez, G.M.G. 2000. Patógenos transmitidos vía semilla en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en los Valles Altos de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 105 p.

Hershman, D.E., P.R. Bachi, D.M. TeKrony, and D.A. Van Sanford. 2001. Management of Fusarium head blight in wheat using selected biological control agents and foliar fungicides, 2001. *In*: Canty S. M., Lewis, J., Siler, L., and R. W. Ward (eds). 2001 National Fusarium head blight forum proceedings. U. S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 59-63.

Hershman, D.E., P.R. Bachi, D.M. TeKrony, and D.A. Van Sanford. 2002. Management of Fusarium head blight in wheat using selected biological control agents and foliar fungicides, 2002. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 88-90.

Homdork, S., H. Fehrmann, and R. Beck. 2000. effects of field application of Tebuconazole on yield, yield components and mycotoxin content of *Fusarium*-infected wheat grain. *Journal of Phytopathology* 148:1-6.

Hooker, D.C., A.W. Scaafsma, and L. Tamburic-Illincic. 2002. Using weather variables pre-and post-heading to predict Deoxynivalenol content in winter wheat. *Plant Disease* 86:611-619.

IASA. 2000. El cultivo de la cebada maltera de temporal. Impulsora Agrícola S.A. de C. V. México.

Ireta, M.J. 2000. Fusariosis de los cereales. *En*: G. Fuentes D. (ed). Fitosanidad de cultivos básicos. Segunda edición. Sociedad Mexicana de Fitopatología. México. 1-15.

Ireta, M.J., y L. Gilchrist S. 1994. Roña o tizón de la espiga del trigo. Informe especial de trigo No. 20. México, D.F.: CIMMYT. 25 p.

Kawamoto, S.O., C.A. Stockwell, D.J. Otis, W.J. Cox, M.E. Sorrells, and G.C. Bergstrom. 2002. Evaluation of foliar fungicides and bioprotectants for control of *Fusarium* head blight of winter wheat in New York in 2002. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National *Fusarium* head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA.92-95.

Khan, N.I., D.A. Schisler, M.J. Boehm, P.J. Slininger, and R.J. Bothast. 2001. Selection and evaluation of microorganisms for biocontrol of *Fusarium* head blight of wheat incited by *Gibberella zeae*. *Plant disease* 85:1253-1258.

Lukach, J., S. Halley, and T. Gregoire. 1999. Effect of fungicides and sprayer nozzles on control of *Fusarium* head blight (FHB) in wheat. *In*: Richard, N. Radi. (ed). Fungicide and nematicide tests. Vol 54:332.

Magan, N., R. Hope., A. Colleate, and E.S. Baxter. 2002. Relationship between growth and mycotoxin production by *Fusarium* species, biocides and environment. *European Journal of Plant Pathology* 108:685-690.

Mathre, D.E. 1982. Compendium of barley diseases. St. Paul. USA.: American Phytopathological Society Press. 78p.

Mauler-Machnik, A., and A. Suty. 1997. New findings on the epidemiology, importance and control of *Fusarium* ear blight on wheat. *Cerebral Research Communications* 25:705-709.

McMullen M., R. Jones, and D. Gallenberg. 1997. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease* 81:1340-1348.

Mesterhazy, A. 1997. Methodology of resistance testing and breeding against *Fusarium* head blight in wheat and results of the selection. *Cerebral Research Communications* 25:631-637.

Mesterhazy, A. 2002. Role of Deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in resistance to *Fusarium* head blight. *European Journal of Plant Pathology* 108:675-684.

Mesterhazy, A., T. Bartok, and G. Kaszonyi. 2002. New and effective fungicides against the FHB in wheat. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National *Fusarium* head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 100-103.

Miedaner, T., D.C. Borchardt, and H.H. Geiger. 1993. Genetic analysis of inbred lines and their crosses for resistance to headblight (*Fusarium culmorum*, *F. graminearum*) in winter rye. *Euphytica* 65:123-133.

Mihuta-Grimm, L., and R.L. Forster. 1989. Scab of wheat and barley in Southern Idaho and evaluation of seed treatments for eradication of *Fusarium* spp. *Plant Disease* 73:769-771.

Miller, J.D, J.W. ApSimon, B.A. Blackwell, R. Greenhalg, and A. Taylor. 2001. Deoxynivalenol: a 25 years perspective on a trichothecene of agricultural importance. *In*: B.A. Summerell, J.F. Leslie, D. Backhouse, W. L. Bryden and L.

Burgess. *Fusarium* Paul E. Nelson memorial symposium. The American Phytopathological Society. 310-320.

Miller, J.D., and P.G. Arnison. 1986. Degradation of deoxinivalenol by suspension cultures of *Fusarium* head blight resistance wheat cultivar Frontana. *Canadian Journal Plant Pathology* 8:147-150.

Miller, J.D., J.C. Young, and D.R. Sampson. 1985. Deoxynivalenol and *Fusarium* head blight resistance in spring cereals. *Journal of Phytopathology* 113:359-367.

Needham, P. 2002. Practical aspects of ground application of foliar fungicides. *In: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 109.*

Nganje, W.E., D.A. Bangsund, F.L. Lesitritz, W.W. Wilson, and N.M. Tiapo. Estimating the economic impact of a crop disease: the case of *Fusarium* head blight in U.S. wheat and barley. 2002. *In: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 275-281.*

Parry, D.W., P. Jenkinson, and L. McLeod. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals-a review. *Plant Pathology* 44:207-23.

Parry, D.W., T.R. Pettitt, P. Jenkinson, and A.K. Less . 1994. The cereal *Fusarium* complex. *In: W. P. Blakeman, and B. Williamson (eds). Ecology of Plants Pathogens. UK. CAB International. 301-320.*

Pederson J.D., R.D. Horsley, and M.P. McMullen. 2001. Efficacy of fungicides in controlling *Fusarium* head blight on barley genotypes with partial resistance. *In:*

Canty S. M., Lewis, J., Siler, L., and R. W. Ward (eds). 2001 National Fusarium head blight forum proceedings. U. S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 82-86.

Pederson, J., and M. McMullen. 1999. Evaluation of fungicides for control of Fusarium head blight (FHB) in barley. *In*: Richard, N. Radi. (ed). Fungicide and nematicide tests 54:244.

Piñeiro, M. 1997. Fusarium toxins in Uruguay wheat. *In*: Dubin, H.J., L. Gilchrist, J. Reeves., and A. McNab (eds). Fusarium head scab: global status and future prospects. México. D.F.: CIMMYT. 125-128.

Pirgozliev, S.P., S.G. Edwards, M.C. Hare, and P. Jenkinson. 2002. Effect of dose rate of azoxystrobin and metconazole on the development of Fusarium head blight and the accumulation of deoxynivalenol (DON) in wheat grain. *European Journal of Plant Pathology* 108: 469-478.

Proctor, R.H., A.E. Desjardins, S.P. McCormick, R.D. Plattner, N.J. Alexander, and D.W. Brown. 2002. Genetic analysis of the role of trichothecene and fumonisin mycotoxins in the virulence of *Fusarium*. *European Journal of Plant Pathology* 108: 691-698.

Robens, J. 2001. The costs of mycotoxin management to the USA. *Phytopathology* 91: S170 Publication no.P-2001-0159-SSA.

SAGAR. 1999. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural - Centro de Estadística Agropecuaria.

Salas, B., B.J. Steffenson, H.H. Casper, B. Tacke, L.K. Prom, T.G. Fetch Jr., and P.B. Schwarz. 1999. *Fusarium* species pathogenic to barley and their associated mycotoxins. *Plant Disease* 83:667-674.

Saremi, H., D. Backhouse, and Z.W. Burgess. 1997. Mycogeographic survey of *Fusarium* species in South Eastern New South Wales, Australia. *Cereal Research Communications* 25: 611-612.

Saur, L. 1991. Sources of resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum* in bread wheat and related species. *Agronomie* 11: 535-541.

Schwarz, P., H. Casper, J. Barr, and M. Musial. 1997. Impact of *Fusarium* head blight on the malting brewing quality of barley. *Cereal Research Communications* 25: 813-814.

Shroeder, H.W., and J.J. Christensen. 1963. Factors affecting the resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* 53:831-838.

Skoglund, L.G., and J.L. Menert. 2002. Evaluation of the national small grains collection of barley for resistance to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National *Fusarium* head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 213-215.

Stack, R.W., and H.H. Casper. 2002. Storage of scabby wheat: *Fusarium* goes away, deoxynivalenol doesn't. *Canadian Journal of Plant Pathol.* 24:396.

Stack, R.W., and J.D. Miller. 2002. Wild emmer, *Triticum dicoccoides*, as a source of FHB resistance for tetraploid and hexaploid wheats. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National *Fusarium* head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 218.

Steffenson, B.J. 1998. *Fusarium* head blight of barley: epidemics, impact, and breeding for resistance. *Technical Quarterly* 35: 177-184.

Steffenson, B.J., and U. Scholz. 2001. Evaluation of *Hordeum* for resistance to Fusarium head blight. *In*: Canty S. M., Lewis, J., Siler, L., and R. W. Ward (eds). 2001 National Fusarium head blight forum proceedings. U. S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 208-211.

Stockwell, A.C., G.C. Bergstrom, and W.C. Da Luz. 2001. Biological control of Fusarium head blight with *Bacillus subtilis* TrigoCor 1448. *In*: Canty S. M., Lewis, J., Siler, L., and R. W. Ward (eds). 2001 National Fusarium head blight forum proceedings. U. S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 91-65

Tomasovic, S., M. Matijasevic, and B. Sesar. 1993. *Fusarium* spp. on wheat with special reference to Fusarium head blight (*F. graminearum* Schw.). *Rachis* 12:41-43.

Urrea, A.C., R.D. Horsley., J. Steffenson, and P. B. Schwarz. 2002. Heritability of Fusarium head blight resistance and deoxynivalenol accumulation from barley accession Cih0 4196. *Crop Science* 42:1404-1408.

Vesonder, R.F., and C.W. Hesseltine. 1981. Metabolites of *Fusarium*. *In*: P.E. Nelson, T.A. Toussound, and C.J. Cook. *Fusarium*, diseases, biology, and taxonomy. The Pennsylvania State University Press. 350-364.

Vivar, H.E. 2001. Two decades of barley breeding. *In*: H.E. Vivar, and A. McNab (eds). *Breeding barley in the new millenium: proceedings of an international symposium*. México, D.F.: CIMMYT. 77-82

Wang, Y.Z. 1997. Epidemiology and managment of wheat scab in China. *In*: Dubin, H.J., L. Gilchrist, J. Reeves., and A. McNab (eds). *Fusarium head scab: global status and future prospects*. México. D.F.: CIMMYT. 97-105.

Wang, Y.Z., and J.D. Miller. 1988. Effects of *Fusarium graminearum* metabolites on wheat tissue in relation to Fusarium head blight resistance. *Journal of Phytopathology* 122:119-125.

Wiese, M. V. 1987. *Compendium of wheat diseases*. St. Paul. USA.: American Phytopathological Society Publication. 112 p.

Wong, L.S.L., A. Tekauz, D. Leisle, D. Abramson, and R.I.H. McKenzie. 1992. Prevalence, distribution and importance of Fusarium head blight in wheat in Manitoba. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 14: 233-238.

Yuen, G., and C.C. Jochum. 2002. Report on induced resistance and field biological control of Fusarium head blight by *Lysobacter enzymogenes* strain C3. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 127.

Zamora, D. M. R. 1986. El Virus del mosaico estriado de la cebada (VMEC) en México. Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Fitopatología. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. 67 p.

Comunicaciones personales:

Dra. Lucy I. Gilchrist Saavedra. 2002. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (CIMMYT). Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

Ph.D. Flavio Capettini. 2002. Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas para Zonas Áridas (ICARDA) y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

Impulsora Agrícola S.A de C.V., 2002. Apan, Hidalgo, México.

CAPITULO II

ESPECIES PATOGENICAS, DISTRIBUCION, SEVERIDAD Y TOXINAS DE LA FUSARIOSIS DE LA CEBADA EN LOS VALLES ALTOS DE MEXICO

CESAR RAMIREZ MARCHAND¹, LUCY I. GILCHRIST SAAVEDRA², CECILIO MENDOZA ZAMORA¹⁺, FLAVIO CAPETTINI M.³, NAHUM MARBAN MENDOZA¹

¹Maestría en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Edo. de México. México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (CIMMYT). Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

³Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas para Zonas Aridas (ICARDA) y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

⁺ qepd

RESUMEN

En muestreos realizados en campos de cebada en los Valles Altos de México durante los años 2001 y 2002, se aislaron 14 especies de *Fusarium*, de las cuales en un primer estudio 8 resultaron ser patogénicas de la fusariosis de la espiga de la cebada. Destacan por su porcentaje de frecuencia en campo *Fusarium avenaceum* (25.5-32.0 %), *F. graminearum* (20.0-23.5%), *F. tricinctum* (6.5-11.0%), *F. subglutinans* (9.2-10.0%), *F. poae* (5.0-9.0%), *M. nivale* (4.6-8.0%), *F. lateritium* (1.3-9.0%) y *F. heterosporum* (5.0%). En el 100 % de los sitios muestreados se detectó la presencia de la fusariosis con severidad promedio en ambos años de 6.21%, una presencia del 100% en los sitios muestreados de *Bipolaris sorokiniana* especie altamente destructiva, así como altas frecuencias de *Alternaria* spp, *Epicoccum nigrum* y *Trichothecium roseum*, este último considerado como altamente toxigénico. En análisis de muestras de

grano de cebada comercial de los ciclos 2001 y 2002, se detectó la presencia de micotoxinas (tricotecenos) en un 96.8% de los sitios muestreados en ambos ciclos en niveles desde 0.03 a 7.10 ppm, registrando que un 67.7% de las muestras del ciclo 2001 y un 32.3% del ciclo 2002 se encuentran por encima de los límites máximos establecidos por la FAO y por importantes industrias cerveceras.

Palabras clave: *Fusarium* sp., *Hordeum vulgare*, tricotecenos.

ABSTRACT

During a sampling studied carried out on barley in the Mexican High Valleys, 2001-2002 fourteen species of *Fusarium* were isolated among them 8 showed pathogenesis inducing Fusarium Head Blight (FHB), with the following frequency range from top to bottom: *F. avenaceum* (25.5-32.0 %), *F. graminearum* (20.0-23.5%), *F. tricinctum* (6.5-11.0%), *F. subglutinans* (9.2-10.0%), *F. poae* (5.0-9.0%), *M. nivale* (4.6-8.0%), *F. lateritium* (1.3-9.0%) y *F. heterosporum* (5.0%). One hundred percent of the field samples showed FHB with a severity average of 6.21% during the two years sampling period. In addition to FHB there were found another barley fungi diseases like *Bipolaris sorokiniana* with 100% incidence and high frequency of *Alternaria* spp., *Epicoccum nigrum* y *Trichothecium roseum*, the former one considered highly toxigenic. Chemical analysis of grain commercial samples from growth periods 2001 and 2002 showed the presence of mycotoxins (trichothecenes) in 96.8% of the sampling places containing about 0.03 throughout 7.10 ppm; among these 67.7% and 32.3% from the growth period 2001 and 2002 respectively were above the maximum limits officially established by FAO and the most important brewing industry.

Key words: *Fusarium* sp., *Hordeum vulgare*, trichothecenes

INTRODUCCION

En México la cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) es sembrada en aproximadamente 301 000 has tanto de temporal como de riego, siendo los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Edo. México y Puebla los principales productores de este cereal (SAGAR, 1999). El área comprendida entre los valles y lomeríos del estado de Hidalgo (Apan y Cd. Sahagún) y el estado de Tlaxcala (Calpulalpan, Tlaxco, Españita y Benito Juárez) representan cerca del 50% del total nacional del área sembrada con cebada, por lo que se le considera la principal zona de producción del cultivo (Impulsora Agrícola S.A de C.V., 2002, comunicación personal).

La fusariosis de la espiga (*Fusarium* spp.) es una enfermedad de gran significancia en trigo y cebada en diversos países del mundo (Parry *et al.*, 1995). Al respecto Nganje *et al.* (2002) mencionan que para los productores de cebada en los EE.UU. las pérdidas económicas debidas a la fusariosis entre los años 1998 al 2000 han sido cada vez más severas, representando un 25.7% del valor de la cebada, y para el año 2000 las pérdidas asociadas a la fusariosis representaron un 35.9% del total de las ventas de este cultivo. Otros reportes de pérdidas económicas debidas a la disminución de rendimientos, así como al castigo de los precios de la cebada por la presencia de toxinas han sido documentados por diversos investigadores (Busch, 1995; McMullen *et al.*, 1997).

La fusariosis en México se le encuentra en trigo en los estados de Jalisco, Michoacán, México, Tlaxcala e Hidalgo (Huerta, 1982; Ireta, 1986), a partir de 1998 la presencia de la fusariosis se ha incrementado en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en los estados de Tlaxcala, Puebla, Hidalgo y el Estado de México (Ireta, 2000; Gilchrist, 2000). Los estudios en México acerca de la fusariosis en cebada son muy reducidos, ejemplos de estos son los realizados por Gutiérrez (2000) y Hernández (1998), quienes reportan a *F. graminearum*,

F. culmorum y *F. avenaceum* causando síntomas en cebada, sin precisar estudios de patogenicidad. Adicionalmente Gutiérrez (2000) identificó a *Fusarium semitectum*, *F. avenaceum*, *F. sambucinum*, *F. poae*, *F. graminearum*, *F. moniliforme*, *F. dimerum*, *F. equiseti* y *F. subglutinans* presentes en grano cosechado, sin embargo la patogenicidad en campo no fue confirmada para cada especie, de estas *F. sambucinum* y *F. dimerum* no han sido reportados en la literatura universal (Gilchrist, 2001).

Las observaciones de incidencia y severidad de la fusariosis de la cebada en México cada año van en aumento en las diferentes áreas de producción, por lo que el escaso conocimiento de esta enfermedad representa una desventaja competitiva ante los mercados internacionales (C. Mendoza Z., 2002; L. Gilchrist S., 2002, comunicaciones personales), ya que en los próximos años de no controlarse las epidemias de la fusariosis, seguramente los productores e industria se verán inmersos en situaciones similares a las que han ocurrido en Asia, Europa, EE.UU. Canadá y Sudamérica, castigo de los precios del producto comercial, limitación de la exportaciones, disminución en los rendimientos y al aumento en los niveles de toxinas en el grano (Dill-Macky y Jones, 1997; Ireta, 2000; McMullen *et al.*, 1997; Nganje *et al.*, 2002; Steffenson, 1998).

Por los antecedentes antes mencionados el presente estudio fue desarrollado con los siguientes objetivos: 1. Determinar las especies causantes de la fusariosis de la espiga de la cebada en campos de productores de los Valles Altos de México, 2. Delimitar la distribución y severidad de la enfermedad en campo, 3. Comprobar la patogenicidad en grano de las especies identificadas y 4. Determinar la presencia y cuantificar los niveles de tricotecenos en grano de cebada comercial de los Valles Altos de México.

MATERIALES Y METODOS

Distribución y severidad de la enfermedad

Toma de muestras. Los muestreos de campo fueron realizados en los ciclos de cultivo 2001 y 2002, considerando la superficie sembrada en cada región de los estados de Tlaxcala e Hidalgo. Se tomaron 30 puntos de muestreo, 16 sitios correspondientes al estado de Tlaxcala y 14 al estado de Hidalgo. Se consideró como un punto de muestreo una superficie aproximada de 5 has sembradas con cebada, en donde se colectaron de forma dirigida 20 espigas con síntomas de la enfermedad (Gilchrist, 2001; Cook, 1981; Parry *et al.*, 1995), esto con la finalidad de obtener la mayor cantidad posible de especies de *Fusarium* presentes en campo, así como identificar otras especies de hongos involucrados con los síntomas de la fusariosis. Las 20 espigas se consideraron como una muestra y un punto de muestreo, por lo que en total el muestreo final de toda la zona consideró 600 espigas por ciclo, mismas que fueron evaluadas para determinar la severidad de la enfermedad, aislar las especies de *Fusarium* y otros hongos y estimar los porcentajes de frecuencia de cada especie aislada.

Evaluación de frecuencia y severidad. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Fitopatología del CIMMYT en Texcoco, Edo. de México. La severidad de la enfermedad se realizó una sola vez durante el ciclo en la etapa de llenado de grano, las espigas fueron evaluadas en un período no mayor a 48 horas después del muestreo con la finalidad de evitar la contaminación con organismos saprófitos. La severidad en la espiga se consideró como el número de granos afectados o enfermos en relación al número de granos totales por espiga, así mismo el porcentaje de severidad de la muestra fue considerada como la suma de granos infectados en toda la muestra, en relación al número total de granos de la muestra (Gilchrist *et al.*, 1997). La frecuencia del daño fue evaluada para los diferentes géneros de hongos, con la finalidad de conocer la proporción de cada uno de ellos en el muestreo del ciclo 2002. La frecuencia de

cada especie fue considerada como el número de granos con presencia de la especie con relación al número total de granos en la muestra.

Identificación de especies

Asilamientos y cultivos monoconidiales. Una vez evaluada la severidad, fueron tomados 30 granos con síntomas por cada muestra, los cuales fueron colocados en cajas petri con papa dextrosa agar (PDA) (anexo 1), incubándose por 5 a 10 días a temperatura ambiente en períodos de 12 horas de luz blanca fría y 12 horas de oscuridad por día (Booth, 1971; Gilchrist *et al.*, 1997; Neergaard, 1977). Una vez confirmado el crecimiento de *Fusarium* sp., se realizaron cultivos monoconidiales para cada aislamiento (Booth, 1971; Burgess *et al.*, 1994; Nelson *et al.*, 1983 y Toussoun y Nelson, 1976). Como auxiliar se utilizó medio de cultivo hoja de clavel agar (HCA) (anexo 2) con la finalidad de obtener características morfológicas óptimas de las estructuras reproductivas (Burgess *et al.*, 1994; Fisher *et al.*, 1982).

Pruebas de patologías (blotters). Con la finalidad de obtener mayor información acerca de los patógenos presentes en los granos, en el ciclo 2002 se realizaron pruebas de patología (blotters) de acuerdo a la técnica de Neergaard (1977) modificada por la unidad de sanidad de semillas del CIMMYT, (anexo 3). Las colonias de hongos se identificaron de acuerdo a Warham *et al.* (1996) y a Zillinsky (1983), determinando así los porcentajes de frecuencia de los géneros de hongos, así como los porcentajes de frecuencia de las diversas especies de *Fusarium*. De las diferentes colonias de *Fusarium* se obtuvieron cultivos monoconidiales.

Identificación de especies de *Fusarium*. Las colonias monoconidiales de *Fusarium* sp. tanto de los blotters (muestreo 2002), como en los aislamientos directos de semilla (muestreo 2001) fueron identificadas de acuerdo a la clasificación de Booth (1971), apoyado con las descripciones y claves

sinópticas de Burgess *et al.* (1994), Nelson *et al.* (1981), Nelson *et al.* (1983) y Toussoun y Nelson (1976). Cuando se presentaron dudas en cuanto a morfología de las estructuras de *Fusarium* sp. en las colonias en PDA, se utilizaron las colonias en HCA, ya que este medio estimula la presencia de estructuras reproductivas (Booth, 1971; Burgess *et al.*, 1994). Todas las colonias fueron conservadas en papel filtro Wathman No. 1 (anexo 4).

Evaluación de la frecuencia de especies. Una vez identificadas las especies de *Fusarium* (ciclo 2001 y 2002) se estimó la frecuencia de especies de *Fusarium*, considerando el número de granos infectados por la especie en relación al número de granos infectados por el género. Por su parte, el porcentaje de presencia de los diferentes hongos (2002) fue estimado considerando el número de muestras en el que se detectó la presencia del hongo en relación al número total de muestras.

Pruebas de patogenicidad

Establecimiento del ensayo en campo. Las pruebas de patogenicidad fueron conducidas en el campo experimental de Atizapán, Estado de México (CIMMYT) (19.10°N, 99.51°W, 2640 msnm) en el ciclo agrícola 2001. Se evaluaron 10 aislamientos correspondientes a 10 especies (Cuadro 1). La unidad experimental constó de dos surcos de 1.5 m de longitud. La siembra se realizó de forma manual, utilizando la variedad Esmeralda, variedad que fue obtenida de la semilla cosechada en el ciclo 2001. El manejo agronómico del ensayo se muestra en el anexo 5. No fue necesario la aplicación de riego por aspersión ya que las precipitaciones diarias fueron favorables para el desarrollo de la enfermedad.

Preparación de inóculo y método de inoculación. Las cepas fueron incrementadas en medio líquido *Mungo bean* (Bekele, 1985) en una concentración de 50×10^3 conidios/ml (Gilchrist, 2001) (anexo 6). Se inocularon

20 espigas en la misma etapa de floración por unidad experimental mediante la incorporación directa de un pequeño trozo de algodón impregnado con la solución de conidios a una flor del tercio medio de la espiga, cubriéndola con una bolsa de papel glicine, con la finalidad de conservar la humedad y evitar infecciones de otros patógenos Gilchrist *et al.* (1997).

Evaluación y confirmación de especies. La evaluación se realizó a los 20 días después de la inoculación. Las espigas que contenían los granos inoculados por cada unidad experimental fueron llevados a laboratorio para la realización de aislamientos monoconidiales y confirmación de las especies inoculadas.

Detección y cuantificación de toxinas

Toma de muestras. Se realizaron muestreos en la etapa de cosecha de los ciclos 2001 y 2002, colectando muestras de 1.5 Kg de grano cosechado por los productores de los Valles Altos de México. El muestro se realizó en bodegas de recepción y acopio establecidos en Calpulalpan, Tlaxcala y Apan, Hidalgo. Las muestras fueron tomadas directamente de los embarques de cada localidad, con la finalidad de conocer la distribución y obtener un número significativo de localidades, mismas que fueran representativas de la región de los Valles Altos.

Detección y cuantificación toxinas. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Toxinas del CIMMYT, Int. En Texcoco, Edo. de México. Las muestras de grano fueron molidas (molino comercial Braun®) y procesadas mediante la técnica de Romer Labs. Inc. (Don fluoroquant™ método #FQD1NC, versión 95.9) (anexo 7).

RESULTADOS Y DISCUSION

Especies asociadas con la fusariosis de la espiga de la cebada en los Valles Altos de México.

Los muestreos para la determinación de especies relacionadas con los síntomas de la fusariosis de la espiga fueron realizados en la etapa de llenado de grano, basado en los síntomas descritos en la bibliografía (Ireta, 2000; Ireta y Gilchrist, 1994; Parry *et al.*, 1995; Zillinsky, 1983). Los síntomas encontrados en campo correspondieron a granos arrugados, vanos, decoloración total o parcial de la espiguilla, coloraciones café marrón oscuro a negro ya sea en la parte inferior de la espiguilla o en su totalidad, decoloración parcial del grano con margen oscuro, hasta presentarse en zonas mas húmedas coloraciones rosáceas, color salmón y crecimiento externo de micelio.

Todos estos síntomas se relacionan con la presencia de *Fusarium* sp., siendo notable el caso de la decoloración parcial con margen oscuro, que corresponde a la presencia de *F. poae*, misma que concuerda con lo descrito por Polley *et al.* (1991) citado por Parry *et al.* (1995). Así mismo un síntoma característico de la presencia de *Fusarium graminearum* es la coloración café oscuro en la espiguilla, sin embargo este síntoma está fuertemente relacionado con la presencia de *Epicoccum* sp., *Alternaria* spp. y *Bipolaris sorokiniana*.

Se aislaron 14 especies de *Fusarium* (Cuadro 1) relacionadas con los diferentes síntomas. Se puede observar que *Fusarium avenaceum*, *F. graminearum*, *F. tricinctum* y *F. subglutinans*, *Microdochium nivale*, *F. lateritium* y *F. poae*, fueron aislados en ambos años de muestreo, sin embargo especies reportadas como patogénicas sólo fueron aisladas en el ciclo 2002, estas corresponden a *F. equiseti*, *F. culmorum* y *M. dimerum*, siendo de especial consideración *F. culmorum*, ya que es una especie altamente toxigénica (Magan *et al.*, 2002).

Cuadro 1. Especies asociadas a la fusariosis de la espiga de la cebada en los Valles Altos de México, 2001-2002.

Especie	Patogenicidad	Sitios con presencia (%)	Frecuencia (%)	
			2002	2001
<i>F. avenaceum</i> (Fr.) Sacc.	<i>P</i>	96.7	25.5	32.0
<i>F. graminearum</i> Scwabe	<i>P</i>	96.7	23.5	20.0
<i>F. trincictum</i> (Corda) Sacc.	<i>P</i>	26.7	6.5	11.0
<i>F. subglutinans</i> (W & R) Nelson, Toussoun & Marasas comb.nov.	<i>P</i>	43.3	9.0	10.0
<i>F. poae</i> (Peck) Wollenw	<i>P</i>	10.0	2.0	5.0
<i>M. nivale</i> (Fr.) Samuels y Hallett	<i>P</i>	13.3	4.5	8.0
<i>F. lateritium</i> Ness (W&R,G,B,J)	<i>P</i>	13.3	1.0	9.0
<i>F. heterosporum</i> Ness (W&R,G,B,J)	<i>P</i>	13.3	0.0	5.0
<i>F. equiseti</i> (Corda) Sacc	<i>nr</i>	33.3	5.0	0.0
<i>F. culmorum</i> (W.G.Sm.)Sacc.	<i>nr</i>	23.3	7.0	0.0
<i>M. dimerum</i> (Penz.) v. Arx	<i>nr</i>	36.7	12.0	0.0
<i>F. sambucinum</i> Fuckel	<i>nr</i>	16.7	4.0	0.0
<i>F. merismoides</i> Corda (W&R,G,B,J)	<i>np</i>	10.0	0.0	1.0
<i>F. stilboides</i> Wollenw. (W&R,G,B,J)	<i>np</i>	10.0	0.0	1.0

p, patogénica; np, no patogénica; nr, prueba no realizada

En los reportes de aislamientos de especies de *Fusarium* en el mundo, se indican a *F. graminearum*, *F. culmorum* y *F. avenaceum* como las principales especies causantes de la fusariosis de la espiga de los cereales (Parry *et al.*, 1995; Saremi *et al.*, 1997), por lo que el presente estudio confirma la predominancia de *F. graminearum* y *F. avenaceum* como las principales especies causantes del problema ya que ambas especies se aislaron en un 96.7% de los sitios, así como por sus altas frecuencias (Cuadro 1). Estos resultados concuerdan con lo reportado en México por Gutiérrez (2000), quien aisló a *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. sambucinum*, *F. poae*, *F. dimerum*, *F. equiseti*, *F. subglutinans*. Sin embargo *F. semitectum* y *F. moniliforme* reportadas por este autor no fueron aisladas en el presente estudio. Es importante considerar a la presencia de *F. sambucinum*, misma que no ha sido reportada anteriormente, no obstante que en el presente estudio no fue realizada la prueba de patogenicidad para esta especie.

Un aspecto importante es la presencia constante de *Bipolaris sorokiniana*, la cual se presentó en el 100% las muestras, tomadas en el 2002, así como otras especies de hongos principalmente saprófitos o parásitos débiles como *Alternaria* sp. y *Epicoccum* sp. (Cuadro 2). Así mismo es importante señalar la fuerte presencia de *Trichothecium roseum*, hongo del cual se han aislado tricotecenos, micotoxinas que afectan la salud humana y animal alrededor del mundo (Desjardins y Proctor, 2001).

Cuadro 2. Porcentaje de presencia de hongos en las patologías del muestreo de los Valles Altos de México, 2002.

Especie	Sitios con presencia del hongo (%)
<i>Fusarium</i> spp. y <i>Microdochium</i> spp. (fusariosis)	100.0
<i>Bipolaris sorokiniana</i> (Sacc.) Shoem.	100.0
<i>Alternaria</i> spp. Nees	96.6
<i>Epicoccum nigrum</i> Link	96.6
<i>Trichothecium roseum</i> Link.	66.7
<i>Gonatobotrys</i> spp. Corda	56.6
<i>Penicillium</i> spp. Link	30.0
<i>Phoma</i> spp. Westend	20.0
<i>Cladosporium</i> spp Link..	16.6
<i>Cephalosporium acremonium</i> Corda	6.7
<i>Aspergillus flavus</i> Link	6.7
<i>Acremoniella</i> spp. Sacc.	3.3

Distribución y severidad de la enfermedad

La presente investigación representa el primer estudio de distribución de la fusariosis reportado para los Valles Altos de México, principal zona productora de cebada en México, confirmando la patogenicidad de la mayoría de los aislamientos y determinando sus frecuencias. En general, se observa que la enfermedad está presente en toda la zona muestreada, ya que del 100% de las muestras que presentaron síntomas se aislaron especies patogénicas de *Fusarium* según la literatura y confirmaron esta característica en las pruebas realizadas. En el muestreo realizado en el 2001, se encontró un rango de severidad entre el 4.12 a 10.31% con un promedio de 6.38% y para el muestreo

del 2002 se presentó un rango entre 4.56 a 10.80% con un promedio de 6.03%. En conjunto, el promedio final de severidad de los dos muestreos fue de 6.21% con un rango entre 4.44 a 8.41% de granos con síntomas (Cuadro 3). Se observa que en general la severidad en ambos años de muestreo fue similar.

Cuadro 3. Distribución y severidad de la fusariosis de la espiga de la cebada en los Valles Altos de México, 2001-2002.

Sitio	% de severidad			Especies
	2002	2001	Promedio	
Adolfo López Mateos, Tlax.	4.56	4.31	4.44	1,2,9,10
Benito Juárez, Tlax.	5.34	6.63	5.99	1,2,6,8,9
Calpulalpan, Tlax.	10.80	4.89	7.84	1,2,8,11,13,14
Francisco y Madero, Tlax.	5.48	6.02	5.75	1,2,3,4,11,12
Magdalena Soltepec, Tlax.	6.52	10.31	8.41	1,2,4,7
Mazaquiahuac, Tlax.	6.71	7.14	6.93	1,2,4,7
Santiaguito, Tlax.	7.72	4.12	5.92	1,2,4,6
San Andrés Buenavista, Tlax.	5.48	6.89	6.19	1,2,3
San Cristóbal, Tlax.	5.48	6.16	5.82	1,2,3,4,10
San José Jiquilpan, Tlax.	6.97	8.45	7.71	1,2,11,12
San Marcos, Tlax.	5.40	8.91	7.16	1,2,4,5,11,12
San Miguel M., Tlax.	5.07	9.04	7.06	1,2,7,9
San Nicolás El Grande, Tlax.	6.09	6.22	6.16	1,2,6,9
Zaragoza, Tlax.	7.22	6.48	6.85	1,2,9,12,14
Zoquiapan, Tlax.	6.70	5.83	6.26	1,2
Zotoluca, Tlax.	5.37	7.41	6.39	1,2,3,4
Apan, Hgo.	9.21	3.91	6.56	1,2,3,4,8,9,11
Acopinalco y Tepetates, Hgo.	5.82	5.26	5.54	1,2,7,13
Almoloya, Hgo.	4.92	6.47	5.70	1,2,3,9,11
Chimalpa y Tlalayote, Hgo.	4.55	6.07	5.31	1,2,5,11
Emiliano Zapata, Hgo.	5.77	4.95	5.36	1,8,9,11
Lázaro Cárdenas, Hgo.	4.67	6.00	5.34	1,2,10,11
La Laguna, Hgo.	3.26	8.63	5.94	1,2,3,4,6,9,10
La Providencia, Hgo.	5.56	6.34	5.95	1,2
Santa Bárbara, Hgo.	6.71	6.56	6.64	1,2,4,9
Santa Clara, Hgo.	4.81	5.71	5.26	1,2,11,13
Santiago Tietlapayac, Hgo.	6.76	5.72	6.24	1,2,4,5,11
San Bartolomé de los T., Hgo.	8.58	5.68	7.13	1,2,4,10,11,12
Tepetlayuca, Hgo.	4.69	6.79	5.74	2,3,4,10,14
Voladores, Hgo.	4.78	4.58	4.68	1,2,10,11
Promedios	6.03	6.38	6.21	

1. *F. avenaceum*; 2. *F. graminearum*; 3. *F. trincictum*; 4. *F. subglutinans* (incluye *F. moniliforme*); 5. *F. poae*; 6. *M. nivale*; 7. *F. lateritium*; 8. *F. heterosporum*; 9. *F. equiseti* (incluye *F. scirpi* var. *compactum*); 10. *F. culmorum*; 11. *M. dimerum*, 12. *F. sambucinum* (incluye *F. tricotheciodes*); 13. *F. merismoides*; 14. *F. stilboides*

Los rangos de severidad encontrados coinciden con lo mencionado con Parry *et al.* (1995) quienes consideran que en general la fusariosis presenta porcentajes de severidad bajos, sin embargo su daño es alto debido a los efectos en la calidad del grano, reducción en el rendimiento y la producción de toxinas, efectos que en su conjunto provocan pérdidas económicas importantes.

Pruebas de patogenicidad

La gama de síntomas descritas en la literatura (Gilchrist, 2001; Cook, 1981; Parry *et al.*, 1995) se reprodujeron en campo, encontrándose tanto en las espiguillas inoculadas por algodón como en los granos aledaños al punto de infección. Los síntomas en los puntos de inoculación fueron claramente diferenciados con referencia a la literatura (Ireta, 2000; Ireta y Gilchrist, 1994; Parry *et al.*, 1995, Zillinsky, 1983), debido a que en el sitio de las pruebas (Atizapán, Edo. de México) existieron condiciones de humedad y temperatura óptimas para el desarrollo de la enfermedad, por lo que en la mayoría de las espiguillas inoculadas se presentó crecimiento micelial color rosa salmón en el exterior del grano, así como los síntomas típicos descritos en el caso de *F. poae* (Polley *et al.* (1991) citado por Parry *et al.*, 1995).

Los reislamientos realizados de los granos inoculados correspondieron a las descripciones de las especies inoculadas, comprobando así su patogenicidad en campo. Para el caso de *F. merismoides* y *F. stilboides* no se presentaron síntomas, por lo que se consideró que estas especies no son patogénicas. Su presencia puede ser debida a que se comportan como saprófitos, así como al reducido conocimiento de estas especies y a su complicada taxonomía, ya que *F. merismoides* es considerada un sinónimo de *F. oxysporum* (Booth, 1971) y considerado como toxigénico (Nelson *et al.*, 1983). Los aislamientos realizados en el ciclo 2002 de las especies *F. equiseti*, *F. culmorum*, *M. dimerum* y *F. sambucinum* no fueron sometidos a pruebas de patogenicidad en campo, por lo

que su confirmación deberá realizarse en un próximo ciclo, ya que estas especies se reportan como patogénicas (Parry *et al.*, 1995).

Detección y cuantificación de deoxinivalenol (DON)

Para el ciclo 2001 un 87.1% de las muestras fueron positivas a la presencia de DON en niveles de 0.05 a 2.10 ppm mientras que en el ciclo 2002 se presentaron un total de 67.7% de muestras con presencia de toxinas en niveles de 0.03-7.10 ppm. En general 96.8% de los granos de las localidades estudiadas (31 localidades) presentaron toxinas en cualquiera de los dos años, lo que representa que toda el área muestreada presenta toxinas en diferentes niveles (Cuadro 4).

La Comunidad Europea recomienda un nivel de tolerancia de 0.5 ppm para cereales comestibles directamente y 0.75 ppm en harina usada como materia prima en productos alimenticios. Alemania, restringe los niveles a 0.35 ppm en pan y pastas; y a 0.10 ppm en cereales comestibles para niños e infantes (Notificación 2002/138/D <http://europa.eu.int/comm/enterprise/tris/>), mientras que en países como Rusia, Estados Unidos y China los niveles máximos tolerados son de 1.0 ppm para trigo de consumo humano (FAO - Codex Alimentarius Commission, 2002), así mismo el Codex Alimentarius Commission ha propuesto un nivel máximo de 0.5 ppm para todos los productos derivados de cereales para consumo humano, excepto para infantes el cual es de 0.1 ppm. (FAO, 2002) por lo que los resultados del presente estudio muestran que siguiendo tal recomendación (0.5 ppm) un 67.7% de las muestras del ciclo 2001 y un 32.3% del ciclo 2002 se encuentran por encima de los límites máximos permitidos, así mismo, estos mismos límites han sido establecidos por Anheuser-Bush, Inc., la cervecera mas importante de los Estados Unidos (Pederson *et al.*, 2001).

Cuadro 4. Detección y cuantificación de micotoxinas (deoxinivalenol + nivalenol) en cebada comercial variedad Esmeralda de los Valles Altos de México (Tlaxcala-Hidalgo), 2001-2002.

Región/Localidad	Concentración de toxinas (ppm)*	
	2001	2002
Almoloya.	2.10	2.50
Apan.	0.90	0.00
Calpulalpan.	1.10	0.00
Chimalpa y Tlalayote	0.10	0.00
Coatlaco	0.83	0.00
Emiliano Zapata	0.05	0.00
La Estancia	2.00	1.00
La Laguna	0.52	0.44
La Soledad	1.70	0.52
La Unión	1.10	0.39
Lagunillas	0.40	0.31
Lázaro Cárdenas	1.70	0.11
Lomorriel	0.80	0.69
Matamoros	1.30	1.00
Ocoteppec	0.00	0.03
Paredón	2.10	0.28
Rancho Nuevo	1.50	0.00
San Andrés Buenavista	2.00	1.80
San Diego	1.40	0.00
San Felipe Sultepec	0.88	0.00
San José Jiquilpan	0.00	0.46
San Juan Ixtimaco	1.80	0.14
San Mateo Actipan	0.17	0.18
Santa Bárbara	0.00	0.00
Santa Clara	0.48	0.82
Santiago Tietlapayac	0.00	0.13
Santiaguito	0.33	0.00
Teapan	1.40	0.68
Tepetlayuca	1.10	0.49
Tierra y Libertad	0.40	0.97
Zotoluca	2.10	7.10
Rango de concentración	0.05-2.10	0.03-7.10
No. de sitios positivos	87.10%	67.7%

* deoxinivalenol + nivalenol

La presencia de toxinas en el grano comercial de cebada en México, es un aspecto importante de considerar, ya que sus efectos pueden manifestar irritación de piel, diarrea, hemorragias, daños neurológicos, abortos, cáncer del esófago y de los pulmones, alteraciones hematológicas, además de que una ingestión crónica de pequeñas cantidades provoca una predisposición a enfermedades infecciosas a través de la supresión del sistema inmunológico (Miller *et al.*, 1985).

El presente estudio representa el primer reporte relacionado con la detección de DON en grano de cebada comercial en México, por lo que es importante considerar sus resultados, ya que efectos en la salud, económicos y sociales presentados en Asia, Europa y Norteamérica pudiesen desarrollarse en México, lo que aunado al bajo desarrollo tecnológico y económico de las regiones productoras (de no ser considerado por autoridades e investigadores), repercutirá fuertemente en un impacto social de gran magnitud, si consideramos que estas áreas poseen condiciones epidemiológicas óptimas para el desarrollo de la fusariosis de la espiga, se corre el riesgo de un incremento de toxinas en el grano de cebada, ya que diversas especies de *Fusarium* producen deoxinivalenol, así como otras toxinas como T-2, H-T2, T-2 tetraol, nivalenol y 15-acetilDON, 3-acetilDON, scirpentriol, neosolaniol, entre otras (Salas *et al.*, 1999), mismas que han sido consideradas como altamente dañinas para la salud humana y animal.

CONCLUSIONES

La incidencia de la fusariosis de la espiga de la cebada es alta en los campos comerciales de cebada en los Valles Altos de México, ya que se presentó en el 100% de los sitios de muestreo.

De las especies aisladas se confirmó su carácter patogénico a: *Fusarium avenaceum*, *F. graminearum*, *F. tricinctum*, *F. subglutinans*, *F. poae*, *M. nivale*,

F. lateritium y *F. heterosporum*. Es necesario confirmar la patogenicidad de las especies encontradas en el muestreo del 2002.

Las especies encontradas con mayor frecuencia fueron: *F. avenaceum*, *F. graminearum* y *F. tricinctum*. La severidad promedio de los dos años de muestreo fue de 5.7%, con un rango de 4.4% a 8.4%.

Se observó una presencia del 100% en los sitios muestreados de *Bipolaris sorokiniana* especie altamente destructiva, así como altas frecuencias de *Alternaria* spp, *Epicoccum nigrum* y *Trichothecium roseum*, este último considerado como altamente toxigénico.

Para el ciclo 2001 un 87.1% de las muestras fueron positivas a la presencia de tricotecenos en niveles de 0.05 a 2.10 ppm mientras que en el ciclo 2002 se presentaron un total de 67.7% de muestras con presencia de toxinas en niveles de 0.03 a 7.10 ppm. En un panorama general se puede concluir que el 96.8% de las localidades presentaron toxinas en cualquiera de los dos años, lo que representa que toda el área muestreada presenta el problema en diferentes niveles.

No tomar medidas a corto plazo para el control y manejo de la enfermedad, puede representar serios problemas en el rendimiento del grano, así como su rechazo en las exportaciones de cerveza debidas a la contaminación con toxinas, con las consecuencias que esto implica para la industria y los agricultores, sin olvidar que el consumo de cerveza producida con malta contaminada tiene efectos negativos en la salud humana de los consumidores nacionales.

LITERATURA CITADA

Bekele, G.T. 1985. Head scab screening methods used in CIMMYT. *In*: R.L. Villarreal, and A.R. Klatt (eds). Wheat for more tropical environments. A proceedings of the International Symposium. CIMMYT.169-173.

Booth, C. 1971. The genus *Fusarium*. Commonwealth Mycol. Inst., Kew, Surrey, England. 237 p.

Burgess, L W., B.A. Summerell, S. Bullock, K.P. Gott, and D. Backhouse. 1994. Laboratory manual for *Fusarium* research. Third edition. University of Sydney. 133 p.

Busch, R. 1995. Breeding for scab resistance. *In*: Proceedings 1994 Regional Scab Forum Research Conference. Minnesota Wheat Research and Promotion Council, Red Lake Falls. Page 3.

Cook, R.J. 1981. *Fusarium* diseases of wheat and other small grains in North America. *In*: Nelson, P.E., T.A. Toussound, R.J. Cook (eds). *Fusarium: diseases, biology and taxonomy*. University Press. 39-52.

Desjardins, E.A. and R.H.Proctor. 2001. Biochemistry and genetics of *Fusarium* toxins. *In*: B.A. Summerell, J.F. Leslie, D. Backhouse, W.L. Bryden and L. Burgess. *Fusarium* Paul E. Nelson memorial symposium. The American Phytopathological Society. 50-69.

Dill-Macky, R., and R. K. Jones. 1997. The effect of previous crops and tillage on *Fusarium* head blight of wheat. *Cereal Research Communications* 25:711-712.

FAO-Codex Alimentarius Commission. 2002. Codex Committee on food additives and contaminants. info@codexalimentarius.nl

Fisher, N.L., L.W. Burgess, T.A. Toussoun, and P.E. Nelson. 1982. Carnation leaves as a substrate and for preserving cultures of *Fusarium* species. *Phytopathology* 72: 151-153.

Gilchrist L., H. Vivar, J. Franco, and J. Crossa. 1997. Comparing *Fusarium graminearum* infection period in wheat and barley. Fifth European Fusarium Seminar. Szeged, Hungary. 739-740.

Gilchrist, L. 2001. Perspectives on Fusarium head blight resistance in barley. *In*: H.E. Vivar, and A. McNab (eds). Breeding barley in the new millenium: proceedings of an international symposium. México, D.F.: CIMMYT. 61-71 p.

Gilchrist, S.L. 2000. Problemas fitosanitarios de los cereales de grano pequeño en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:132-137.

Gilchrist-Saavedra, L., G. Fuentes-Dávila, and C. Martínez-Cano. 1997b. Practical guide to the identification of selected diseases of wheat and barley. México, D.F.: CIMMYT. 64 p.

Gutiérrez, G.M.G. 2000. Patógenos transmitidos vía semilla en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en los Valles Altos de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 105 p.

Hernández, P. D. 1998. Enfermedades del maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) presentes en México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Huerta, E.J. 1982. Informe 1979 Campo Agrícola Experimental CEAJAL, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. SARH. México.

Ireta, M.J. 1986. Estimación de pérdidas de trigo (*Triticum* spp.) causadas por la roña (*Fusarium graminearum* Schw.). Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Estado de México. México.

Ireta, M.J., and L. Gilchrist S. 1994. Roña o tizón de la espiga del trigo. Informe especial de trigo No. 20. México, D.F.: CIMMYT. 25 pp.

Ireta, M.J. 2000. Fusariosis de los cereales. *En*: G. Fuentes D. (ed). Fitosanidad de cultivos básicos. Segunda edición. Sociedad Mexicana de Fitopatología. México. 1-15.

Magan, N., R. Hope., A. Colleate, and E.S. Baxter. 2002. Relationship between growth and mycotoxin production by *Fusarium* species, biocides and environment. *European Journal of Plant Pathology* 108:685-690.

McMullen, M., R. Jones, and D. Gallenberg. 1997. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease* 81:1340-1348.

Miller, J.D., J.C. Young, and D.R. Sampson. 1985. Deoxynivalenol and *Fusarium* head blight resistance in spring cereals. *Journal of Phytopathology* 113:359-367.

Neergaard, P. 1977. *Seed Pathology*, Vol. I and II. John Wiley and Sons, New York.

Nelson, P.E, T.A. Toussoun, and W.F.O. Marasas. 1983. *Fusarium* species. An illustrated manual for identification. The Pennsylvania State University Press. 193 p.

Nelson, P.E., T.A. Toussound, R.J. and Cook. 1981. *Fusarium*: diseases, biology, and taxonomy. University Park: The Pennsylvania State University Press. 457 p.

Nganje, W.E., D.A. Bangsund, F.L. Lesitritz, W.W. Wilson, and N.M. Tiapo. 2002. Estimating the economic impact of a crop disease: the case of *Fusarium* head blight in U.S. wheat and barley. 2002. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National *Fusarium* head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 275-281.

Parry, D.W., P. Jenkinson, and L. McLeod. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals—a review. *Plant Pathology* 44:207-238.

Pederson, J.D., R.D. Horsley, and M.P. McMullen. 2001. Efficacy of fungicides in controlling *Fusarium* head blight on barley genotypes with partial resistance. *In*: Canty S. M., J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2001 National *Fusarium* head blight forum proceedings. U.S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 82-86.

SAGAR. 1999. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural - Centro de Estadística Agropecuaria.

Salas, B., B.J. Steffenson, H.H. Casper, B. Tacke, L.K. Prom, T.G. Fetch Jr., and P.B. Schwarz. 1999. *Fusarium* species pathogenic to barley and their associated mycotoxins. *Plant Disease* 83:667-674.

Saremi, H., D. Backhouse, and Z.W. Burgess. 1997. Mycogeographic survey of *Fusarium* species in South Eastern New South Wales, Australia. *Cereal Research Communications* 25: 611-612.

Steffenson, B.J. 1998. Fusarium head blight of barley: epidemics, impact, and breeding for resistance. Technical Quarterly 35: 177-184.

Toussound, T.A., and P.E. Nelson. 1976. A pictorial guide to the identification of *Fusarium* species according to the taxonomic system of a Snyder and Hansen. Second edition. University Park: Pennsylvania State University Press. 43 p.

Warham, E.J., L.D. Butler, and B.C. Sutton. 1996. Ensayos para la semilla de maíz y de trigo. Manual de laboratorio. México, D.F.:CIMMYT. 84 p.

Zillinsky, F.J. 1983. Common diseases of small grain cereals: a guide to identification. México, D.F.:CIMMYT. 141 p.

Comunicaciones personales

Dra. Lucy I. Gilchrist Saavedra. 2002. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (CIMMYT). Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

Dr. Cecilio Mendoza Zamora. 2002. Qepd. Maestría en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Edo. de México. México.

Impulsora Agrícola S.A de C.V., 2002. Apan, Hidalgo, México.

CAPITULO III

PRODUCCION DE TOXINAS Y DAÑOS INDUCIDOS POR ESPECIES PATOGENICAS DE LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE LA CEBADA

CESAR RAMIREZ MARCHAND¹, LUCY I. GILCHRIST SAAVEDRA², CECILIO MENDOZA ZAMORA¹⁺, FLAVIO CAPETTINI M.³, NAHUM MARBAN MENDOZA¹

¹Maestría en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Edo. de México. México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

³Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas para Zonas Aridas (ICARDA) y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

⁺qepd

RESUMEN

Se realizaron inoculaciones en espigas de cebada variedad Esmeralda con aislamientos de *Fusarium* sp. en Atizapán, Edo. de México en el ciclo 2002 con el fin de evaluar el efecto sobre la severidad en espigas, en los componentes del rendimiento y determinar su producción de tricotecenos (deoxinivalenol y nivalenol). Los resultados indican que no existen diferencias significativas (DMS $\alpha=0.05$) en ningún parámetro evaluado, sin embargo se observa diferente severidad entre aislamientos de *F. avenaceum* (Apan y Calpulalpan), y entre los aislamientos de *F. graminearum* (Apan y CIMMYT). Estos resultados indican la existencia de diferentes poblaciones en la misma especie en los Valles Altos de México. *F. avenaceum* (Apan) y *F. graminearum* (Apan) fueron los mas agresivos presentando la mayor severidad final, mientras que *F. subglutinans* (Apan) y *F. tricinctum* (Almoloya) produjeron el mayor efecto en el rendimiento.

Por otra parte, se detectó la presencia de tricotecenos en las espigas inoculadas con *F. avenaceum* (Calpulalpan), *F. lateritium* (Zapata), *F. subglutinans* (Benito Juárez y Apan), *F. heterosporum* (Zapata), *F. poae* (Zaragoza) y *F. graminearum* (Apan y CIMMYT). Los niveles de tricotecenos fueron relativamente bajos (0.02-2.70 ppm), pero algunos aislamientos señalan niveles sobre lo permitido por los parámetros de salud. Los resultados deben ser confirmados en otros ciclos de evaluación.

Palabras clave: *Fusarium* sp., Valles Altos de México, tricotecenos, pérdidas en rendimiento.

ABSTRACT

Inoculations were carried out in spikes of Esmeralda barley variety to evaluate their effect on the severity of Fusarium Head Blight on the spikes, in the yield components and toxin production of trichothecenes (deoxynivalenol and nivalenol). Isolates used in the experiment were inoculated in Atizapán, Edo. de México, during the 2000 cycle. The results showed that there is not statistical differences (LSD=0.05) in any variable evaluated; however it was observed different severity between the parameters of the isolates of *F. avenaceum* (Apan and Calpulalpan), and between the *F. graminearum* isolates (Apan and CIMMYT). These results indicate differences between populations of the same species in the Mexican High Valleys. *F. avenaceum* (Apan) and *F. graminearum* (Apan) were the most aggressive showing the highest final severity; in contrast *F. subglutinans* (Apan) and *F. tricinctum* (Almoloya) produce the highest effect in yield. On the other hand, the existence of toxins was detected in the grain coming from the inoculated spikes with *F. avenaceum* (Calpulalpan), *F. lateritium* (Zapata), *F. subglutinans* (Benito Juárez and Apan), *F. heterosporum* (Zapata), *F. poae* (Zaragoza) and *F. graminearum* (CIMMYT, Atizapan). The toxins values were relatively low (0.02-2.70 ppm), but some isolates showed

levels over the ranges accepted by the human health parameters. These results need to be confirmed in other evaluation cycles.

Key words: *Fusarium* spp., Mexican High Valleys, trichothecenes, yield losses.

INTRODUCCION

A partir de 1998, la fusariosis de la espiga de los cereales (*Fusarium* spp.) se ha presentado atacando a la cebada (*Hordeum vulgare* L.) en los Valles Altos de México, que incluyen a los estados de Tlaxcala, Puebla, Hidalgo y el Estado de México (Gilchrist, 2000; Ireta, 2000), provocando pérdidas tanto en rendimiento como en la calidad del grano (Gilchrist, 2000).

McMullen *et al.* (1997) indican que los daños de la fusariosis son muy amplios, entre otros la reducción en el peso del grano, la decoloración del mismo, contaminación con micotoxinas y la reducción en la calidad de las semillas, lo que afecta su grado comercial, dificultando su comercialización, exportación y procesamiento. Al respecto Nganje *et al.* (2002) mencionan que para los productores de cebada en los EE.UU. las pérdidas económicas debidas a la fusariosis entre los años 1998 al 2000 han sido cada vez más severas, representando hasta un 25.7% del valor comercial de la cebada, mientras que para el año 2000 las pérdidas asociadas a la fusariosis representaron un 35.9% del total de las ventas del grano de este cultivo.

Entre las especies causantes de la fusariosis de la espiga, se reportan ha *F. avenaceum*, *F. graminearum* y *F. culmorum* como las principales especies toxigénicas, sin embargo otras especies menos agresivas u oportunistas son también productoras de toxinas como *F. poae*, *F. equiseti*, *F. sporotrichoides*, *F. tricinctum*, *F. acuminatum*, *F. subglutinans*, *F. oxysporum*, *F. verticillioides*, *F. semitectum* y *F. proliferatum* (Bottalico y Perrone, 2002). Diversos son los reportes que indican la diferencia de virulencia entre especies así como entre

aislamientos de una misma especie (Birzele *et al.*, 2002; Mesterhazy, 2002; Miedaner *et al.*, 2001). Al respecto Wong *et al.* (1992) señalan que de las especies causantes de la fusariosis de los cereales *F. graminearum* y *F. culmorum* han resultado ser las más virulentas, mientras que Parry *et al.* (1995) mencionan que *F. avenaceum* presenta altas virulencias respecto a otras especies.

Las micotoxinas mas frecuentemente asociada con la fusariosis causada por *F. graminearum* son el deoxinivalenol (DON) y nivalenol (NIV) (Abramson *et al.*, 1998; Bottalico y Perrone, 2002; Salas *et al.*, 1999), *F. poae* produce NIV (Magan *et al.*, 2002; Salas *et al.*, 1999) y *F. avenaceum* se reporta como productora de DON en cultivos líquidos (Abramson *et al.*, 1993). Otros inventarios importantes de las toxinas producidas las especies de *Fusarium* son los compilados por Desjardins y Proctor (2001), Frisvad (1986), Magan *et al.* (2002) y por Vesonder y Hesseltine (1981). Se ha relacionado la capacidad de producción de DON con la agresividad de especies de *Fusarium*, lo que esta fuertemente relacionado con las condiciones ambientales (Mesterhazy, 2002), sin embargo, no siempre se presenta una correlación entre la severidad de la enfermedad con el contenido de toxinas, ya que se ve afectado en algunas ocasiones con el sistema de cultivo (Birzele *et al.*, 2002).

En el ciclo agrícola 2002 y con la finalidad de determinar las especies causantes de la fusariosis de la espiga de la cebada se comprobó la patogenicidad de *F. avenaceum*, *F. graminearum*, *F. tricinctum*, *F. subglutinans*, *F. poae*, *M. nivale*, *F. lateritium* y *F. heterosporum* (Rmz-Marchand *et al.*, 2003), por lo que el presente estudio fue motivado con los siguientes objetivos: 1. Evaluar la virulencia potencial de diferentes aislamientos de *Fusarium* spp. expresado en severidad de la enfermedad en la espiga, 2. Estimar su daño mediante sus efectos en los componentes de rendimiento y 3. Determinar la producción de tricotecenos de cada aislamiento.

MATERIALES Y METODOS

Establecimiento del ensayo en campo. La evaluación de daños inducidos por aislamientos de los diferentes especies de *Fusarium* fue llevada a cabo en el campo experimental de Atizapán, Estado de México (CIMMYT, Int.) (19.10°N, 99.51°W, 2640 msnm) en el ciclo agrícola 2002. Los tratamientos fueron establecidos bajo un diseño de bloques completos al azar, con dos repeticiones por aislamiento. La unidad experimental constó de dos surcos de 1.5 m de longitud, considerando esta como una repetición. La siembra se realizó de forma manual utilizando Esmeralda, variedad que fue obtenida de la semilla cosechada en el ciclo 2001, y de donde se obtuvieron los aislamientos evaluados. El manejo agronómico se muestra en el anexo 5.

Aislamientos utilizados y método de inoculación. Se evaluaron 11 aislamientos monoconidiales obtenidos de muestreos realizados en los Valles Altos de México en el ciclo 2001 en cebada variedad Esmeralda. La patogenicidad de estas aislamientos fue confirmada en estudio anterior (Rmz-Marchand *et al.*, 2003). El incremento de inóculo se realizó en medio líquido *mungo bean* (Bekele, 1985; Evans *et al.*, 2000) (anexo 6). Se etiquetaron 20 espigas en la misma etapa de floración por unidad experimental (Gilchrist *et al.*, 1997; McCallum y Tekauz, 2001) mismas que fueron inoculadas mediante aspersión de solución de conidios (50×10^3 por ml) con un atomizador manual de botella de capacidad de 1 l (Gilchrist *et al.*, 1997; Gilchrist, 2001). Con la finalidad de evitar acarreo de conidios se utilizó una pantalla entre parcelas al momento de la inoculación. No fue necesaria la aplicación de riego por aspersión ya que las precipitaciones diarias fueron favorables para el desarrollo de la enfermedad.

Evaluaciones. La evaluación de la severidad en las espigas inoculadas se realizó a los 7, 14, 21 y 28 días después de la inoculación (ddi), la cual consistió en contabilizar los granos infectados en relación al número total de granos en

cada espiga; esto se realizó en las 20 espigas marcadas por unidad experimental, obteniendo así un porcentaje de severidad en cada lectura. El peso hectolítrico y peso de mil granos fue medido al final de la cosecha de cada tratamiento.

Cuantificación de toxinas. El grano cosechado de cada repetición de forma independiente fue utilizado para análisis de toxinas para la cuantificación de tricotecenos (DON y NIV), el grano fue molido (molino comercial Braun®) y procesado mediante la técnica de Romer Labs. Inc. (Don fluoroquant™ método #FQD1NC, versión 95.9) (anexo 7).

Confirmación de especies. Diez granos inoculados por cada repetición fueron llevados a laboratorio para la realización de aislamientos monoconidiales y confirmación de las especies mediante las claves de Booth (1971), apoyado con las descripciones y claves sinópticas de Burgess *et al.* (1994) y Nelson *et al.* (1983).

Análisis de datos. Los datos obtenidos de severidad, peso hectolítrico y peso de mil granos fueron analizados usando el programa estadístico SAS (versión 8.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). El procedimiento PROC GLM fue usado para análisis de varianza, las medias obtenidas fueron sometidas a comparaciones de medias por Diferencia Mínima Significativa (LSD) con $\alpha=0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación de la severidad en espiga

El comportamiento a través de las lecturas de la severidad de los aislamientos en las espigas se muestra en el Cuadro 1, observándose que la cuarta

evaluación (28 ddi) fue omitida ya que se presentó caída de grano afectando la lectura.

Cuadro 1. Evaluación de la severidad en espigas de cebada variedad Esmeralda inoculadas con aislamientos de especies patogénicas de *Fusarium* spp. en Atizapán, Edo. de México. 2002.

Aislamiento	Origen	% Severidad		
		7 ddi**	14ddi	21ddi
1. <i>F. avenaceum</i>	Apan, Hgo.	3.68 a*	5.31 a	9.60 a
2. <i>F. avenaceum</i>	Calpulalpan, Tlax.	2.87 a	3.75 a	6.15 a
3. <i>F. lateritium</i>	Zapata, Hgo.	2.87 a	4.26 a	7.45 a
4. <i>F. subglutinans</i>	Benito Juárez, Tlax.	2.50 a	4.08 a	6.80 a
5. <i>F. subglutinans</i>	Apan, Hgo.	3.12 a	3.93 a	6.60 a
6. <i>F. trincinctum</i>	Almoleya, Hgo.	3.57 a	4.84 a	6.90 a
7. <i>F. trincinctum</i>	Calpulalpan, Tlax.	2.97 a	4.22 a	7.50 a
8. <i>F. heterosporum</i>	Zapata, Hgo.	2.85 a	4.43 a	8.05 a
9. <i>F. poae</i>	Zaragoza, Tlax.	3.13 a	3.84 a	7.30 a
10. <i>F. graminearum</i>	Apan, Hgo.	3.06 a	5.93 a	8.50 a
11. <i>F. graminearum</i>	CIMMYT	2.18 a	3.25 a	5.75 a
Coeficiente de variación		21.98	23.62	16.53

*medias con la misma letra no son significativamente diferentes (DMS, $\alpha=0.05$);

**ddi, días después de la inoculación.

Los resultados muestran que en ninguna evaluación se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo se muestra que la infección inicial fue mayor en el aislamiento 1 (*F. avenaceum*-Apan, Hgo.) presentando valores mas altos en comparación con el aislamiento 11 (*F. graminearum*-CIMMYT). En la segunda evaluación, se observa una mayor daño del aislamiento 10 (*F. graminearum*-Apan, Hgo.) mostrándose nuevamente que el aislamiento 1 presenta altos niveles de severidad, observándose que el aislamiento 11 presenta los niveles mas bajos de severidad en la espiga. En la evaluación final se confirma que el aislamiento 1 (*F. avenaceum*-Apan, Hgo.) presenta la mayor severidad en la espiga, por su parte la aislamiento 10 vuelve a mostrar valor alto de severidad.

Los resultados muestran que el aislamiento 11 proveniente de aislamientos realizados en 1998 por CIMMYT, presentó los valores más bajos de severidad en las tres evaluaciones, lo que puede corresponder a la pérdida de patogenicidad (L. Gilchrist, 2002 comunicación personal), aunado a que diversos estudios como los realizados por Miedaner *et al.* (2001) indican que que *F. graminearum* presenta variación entre poblaciones en cuanto a los niveles de virulencia, lo que ha sido confirmado por Bai y Shaner (1996) quienes mencionan que existen diferentes grupos genéticos en esta especie, reporte que ha sido documentado por Carter *et al.* (2002).

La recombinación sexual de *F. graminearum* puede explicar la gran diversidad genética entre diversas poblaciones de esta especie, en patógenos como *F. culmorum* la recombinación sexual y/o asexual y la alternancia entre la fase saprofitica y parasítica puede jugar un papel importante en la variación de las poblaciones (Miedaner *et al.*, 2001), mientras que la patogenicidad y agresividad están influidas por las condiciones ambientales y los sistemas de cultivos entre otros factores (Mesterhazy, 2002; Birzele *et al.*, 2002).

Los resultados del presente ensayo muestran que los aislamientos 1 y 10 (*F. avenaceum* y *F. graminearum*) provienen de la región de Apan, Hgo, considerada como una de las principales zonas de recepción y comercialización de grano de cebada, lo que hace suponer que en esta zona existe una mayor recombinación genética de las especies, reflejándose en poblaciones con mayor virulencia, estas diferencias pueden deberse a la recombinación genética descrita por Miedaner *et al.* (2001).

Walker *et al.* (2001) indican que en North Carolina *F. graminearum* presenta una gran variabilidad entre poblaciones en cuanto a su virulencia, lo que hace que en ese estado existan altos riesgos de epidemias. Los resultados del presente estudio muestran una situación similar, ya que los aislamientos

evaluadas de *F. avenaceum* (aislamiento 1 y 2) provenientes de Apan, Hgo, y Calpulalpan, Tlax. respectivamente, aunque no presentaron diferencias significativas, presentan valores diferentes de severidad final, lo que indica un alto riesgo según lo mencionado por Walker *et al.* (2001) ya que esta especie es la principal causante de la fusariosis de la cebada en los Valles Altos de México (Rmz-Marchand *et al.*, 2003).

Al respecto Benyon *et al.* (1997) indican que dentro de *F. avenaceum* existen diferencias entre subespecies en cuanto a su virulencia, reconociendo incluso que algunas subespecies de *F. avenaceum* deben ser consideradas como especies independientes, lo que aunado a que la taxonomía del género es sumamente compleja, conlleva a considerar el llevar a cabo diversas investigaciones al respecto, enfocado principalmente a estudios relacionados con la posible existencia de grupos genéticos dentro de esta especie en los Valles Altos.

En el presente estudio se observa un mayor daño del aislamiento 1 (*F. avenaceum*) que los aislamientos 10 y 11 (*F. graminearum*) lo que es contrario a lo reportado por Wakulinski y Chelkowski (1993) citados por Golinski *et al.* (2002), sin embargo los resultados deben tomarse con discreción ya que Van-Eeuwijk *et al.* (1995) menciona que *F. graminearum* es más agresivo en áreas húmedas, así como diversos reportes indican que existen fuertes interacciones entre el patógeno, la variedad y las condiciones ambientales en la expresión de la virulencia (Birzele *et al.*, 2002; Chelkowski *et al.*, 2000; Mesterhazy, 2002).

El resto de los aislamientos presentaron severidad final menor, lo que concuerda con lo reportado por Jurkovic y Cosic (1997) quienes mencionan que *F. graminearum* es más agresiva que *F. subglutinans* y otras especies, sin embargo los resultados del presente estudio difieren con estos autores ya que *F. avenaceum* (aislamiento 1) presentó severidades mayores que los aislamientos de *F. graminearum*.

Efecto sobre los componentes del rendimiento y la producción de toxinas

Después de la inoculación independiente de los aislamientos evaluados, los promedios de severidad final, el efecto en el peso hectolítrico y en el peso de mil granos, así como los rangos de producción de tricotecenos se presenta en el Cuadro 2. Con base en esta información se observa que no existen diferencias significativas en ninguna evaluación, sin embargo es importante discutir el comportamiento de cada aislamiento.

Cuadro 2. Evaluación del efecto en la severidad final, en los componentes de rendimiento y en la producción de tricotecenos en espigas de cebada variedad Esmeralda inoculadas artificialmente con aislamientos de *Fusarium* sp. en Atizapán, Edo. de México. 2002

Aislamiento	Origen	Severidad final (%)	Peso hectolítrico (g/l)	Peso de mil granos (g)	Toxinas (ppm)**
1. <i>F. avenaceum</i>	Apan, Hgo.	9.60 a*	548.25 a	34.49 a	0.00
2. <i>F. avenaceum</i>	Calpulalpan, Tlax.	6.15 a	555.07 a	35.51 a	0.00-0.06
3. <i>F. lateritium</i>	Zapata, Hgo.	7.45 a	582.83 a	34.79 a	0.00-0.02
4. <i>F. subglutinans</i>	Benito Juárez, Tlax.	6.80 a	535.56 a	35.21 a	0.00-0.05
5. <i>F. subglutinans</i>	Apan, Hgo.	6.60 a	531.02 a	33.30 a	0.08-0.20
6. <i>F. trincinctum</i>	Almoloya, Hgo.	6.90 a	587.68 a	31.64 a	0.00
7. <i>F. trincinctum</i>	Calpulalpan, Tlax.	7.50 a	575.28 a	33.18 a	0.00
8. <i>F. heterosporum</i>	Zapata, Hgo.	8.05 a	570.12 a	35.70 a	0.03-0.22
9. <i>F. poae</i>	Zaragoza, Tlax.	7.30 a	597.98 a	35.81 a	0.00-0.11
10. <i>F. graminearum</i>	Apan, Hgo.	8.50 a	568.96 a	34.93 a	0.92-2.70
11. <i>F. graminearum</i>	CIMMYT	5.75 a	557.32 a	33.63 a	0.21-0.42
Coeficiente de variación		16.53	4.71	67.56	

*medias con la misma letra no son significativamente diferentes (DMS, $\alpha=0.05$)

**deoxinivalenol + nivalenol

Los aislamientos 4 y 5 (*F. subglutinans*) y 11 (*F. graminearum*) presentaron la menor severidad final, sin embargo se observa que *F. subglutinans* (aislamiento

4 y 5) aún y cuando no existen diferencias estadísticas presenta el menor daño en el peso hectolítrico.

El efecto del daño de los aislamientos en el peso de mil granos no presentó diferencias mínimas significativas, sin embargo es importante observar que *F. poae* (aislamiento 8) presenta mayor peso de mil granos, correspondiendo a este mismo aislamiento el valor mas alto en el peso hectolítrico, por lo que en conjunto con los datos de severidad final se puede concluir que *F. poae* presentó los menores efectos en la cebada variedad Esmeralda bajo las condiciones en las que se desarrolló el ensayo.

Por otra parte, los aislamientos 4 y 5 (*F. subglutinans*) presentaron los mayores efectos sobre el peso hectolítrico, no así para en el peso de mil granos donde aún y cuando no se presentaron diferencias estadísticas *F. tricinctum* (aislamientos 6 y 7) presentó la mayor reducción en el rendimiento. Así mismo es importante observar que los aislamientos de *F. avenaceum* (aislamiento 1 y 2) y los de *F. graminearum* (aislamiento 10 y 11) aún y cuando presentaron la mas alta severidad final, no redujeron el rendimiento con relación a los demás aislamientos evaluados.

Con respecto a la producción de tricotecenos (DON y NIV) se observa que *F. avenaceum* fue positivo a la detección de estos compuestos, no obstante que en la mayoría de la literatura se señala como no productora de tricotecenos, aunque Frisvad (1986) cita a Abbas *et al.* (1984) y a Palti (1978) quienes mencionan que *F. avenaceum* produce tricotecenos del tipo B (Fusareron X, DON y nivalenol), así mismo Abramson *et al.* (1993) indican que en cultivos líquidos *F. avenaceum* y *F. poae* producen DON.

Al respecto estudios realizados por Salas *et al.* (1999) detectaron DON en espigas inoculadas con *F. avenaceum*, sin embargo estos autores señalan que los niveles fueron bajos, lo que pudo ser atribuido a que en esas espigas se

encontraron algunas colonias de *F. graminearum*. Esta consideración es importante ya que aún y cuando no se detectaron colonias de otras especies diferentes a *F. avenaceum*, pudiese haber ocurrido alguna contaminación en el presente ensayo, sin embargo los resultados deben ser considerados para su confirmación en posteriores investigaciones.

En el aislamiento 8 (*F. poae*) se detectó la presencia de tricotecenos, resultado que concuerda con diversos reportes (Bottalico y Perrone, 2001; Desjardins y Proctor, 2001; Magan *et al.*, 2002; Salas *et al.*, 1999; Thrane, 2001), mientras que el aislamiento 3 (*F. lateritium*) aún y cuando no existen muchos reportes de la producción de tricotecenos por esta especie, en el presente ensayo se detectaron niveles bajos de estos compuestos, lo que concuerda por lo indicado por Desjardins y Proctor (2001) quienes mencionan que algunos aislamientos de esta especie producen tricotecenos, así como por lo indicado por Frisvad (1986) quien cita a diversos autores quienes mencionan que *F. lateritium* produce tricotecenos del tipo B.

Ambos aislamientos de *F. subglutinans* (4 y 5) fueron positivas a la detección de tricotecenos, aunque estos en niveles bajos, no obstante que esta especie no es reportada como productora de estos compuestos, por lo que se asume que lo indicado por Salas *et al.* (1999) para el caso de *F. avenaceum* pudiera estar ocurriendo en las espigas inoculadas con *F. subglutinans*, aunque nuevamente en el presente ensayo no se aislaron colonias de especies diferentes a esta, por lo que estos resultados al igual que *F. avenaceum* deberán considerarse como una posibilidad que debe confirmarse en estudios posteriores.

Frisvad (1986) cita a diversos autores quienes mencionan que *F. tricinctum* y *F. heterosporum* producen tricotecenos del tipo B (fusareron X, DON y nivalenol), sin embargo los resultados de la presente investigación indican que no se detectaron tricotecenos en las espigas inoculadas con los aislamientos de *F.*

tricinctum, no así para *F. heterosporum* en donde se presentaron niveles bajos de estos compuestos.

Por otra parte es ampliamente conocido que *F. graminearum* es la principal especie productora de tricotecenos (Bottalico y Perrone, 2002; Desjardins y Proctor, 2001; Magan *et al.*, 2002; Salas *et al.*, 1999; Thrane, 2001), encontrando que en el presente estudio los aislamientos de *F. graminearum* presentaron los mas altos niveles de tricotecenos de los aislamientos evaluados, y aunque estos niveles son bajos en comparación con diversos reportes en diferentes partes del mundo, siguen estando sobre los niveles permisibles.

Mesterhazy (2002) y Proctor *et al.* (2002) mencionan que la agresividad de *F. graminearum* depende de la capacidad de la producción de tricotecenos, así como la habilidad de producir toxina está relacionada con el nivel de agresividad, por su parte Atanassov *et al.*, (1994) citados por Evans *et al.* (2000) sugieren que poblaciones de *F. graminearum* que producen mas DON son mas agresivos sobre trigo y reducen mas el peso del grano. Sin embargo, la literatura publicada sugiere que la habilidad de producir tricotecenos no prevee la patogenicidad de *F. graminearum* pero las toxinas pueden servir como factores de virulencia y agresividad del patógeno (Evans *et al.*, 2000).

Esta consideración es importante tenerla presente ya que los resultados muestran que el aislamiento 10 (*F. graminearum*-Apan) presentó mayor severidad y mayor concentración de tricotecenos que el aislamiento 11 (*F. graminearum*-CIMMYT), sin embargo no se observaron diferencias en cuanto al efecto en el rendimiento, lo que sugiere que la virulencia está relacionada con la producción de toxinas, situación que ha sido ampliamente documentada (Mesterhazy, 2002; Perkowski *et al.*, 1996; Proctor *et al.*, 2002), sin embargo no siempre esta directamente relacionada con el efecto del daño en el rendimiento, situación que se observó en los resultados del presente estudio.

Al respecto, Evans *et al.* (2000) mencionan si se establece cuando DON es sintetizado se facilitará el estudio del efecto de fungicidas y el uso de biocontroladores, así mismo Proctor *et al.* (2002) indican que la relación entre la virulencia y la producción de toxinas sugiere la posibilidad de mejoramiento genético mediante variedades que incrementen la resistencia a los tricotecenos. Por su parte Mesterhazy (2002) menciona que en la acumulación de DON, el nivel de resistencia es mucho mas importante que la agresividad de un aislamiento, situación que se ha sido confirmada en estudios como los reportados por Gilchrist *et al.* (2000) en el cultivo de trigo.

Los resultados obtenidos de la presente investigación, muestran que los aislamientos de las especies causantes de la fusariosis de la cebada en los Valles Altos de México son productoras de tricotecenos (DON y NIV), mostrando de una forma general que no existen relaciones directas entre la concentración de DON con el efecto en el rendimiento y con la virulencia del patógeno, sin embargo, se muestra que diversas especies producen tricotecenos y causan daños en el rendimiento en la variedad Esmeralda, variedad que representa mas del 70% de la superficie sembrada con cebada en los Valles Altos de México (IASA, 2002, comunicación personal). Esto último aunado al desconocimiento general acerca de la capacidad toxigénica de las especies en Esmeralda y bajo las condiciones de los Valles Altos, hace necesaria la programación y ejecución de proyectos de investigación que contemplen aspectos de ecología, biología, daños y producción de toxinas de las diferentes especies causantes de la fusariosis de la cebada en la variedad Esmeralda en México.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que no existen diferencias significativas (DMS $\alpha=0.05$) en la severidad en las espigas ni en el efecto en el rendimiento de los aislamientos evaluados.

Se observaron virulencias diferentes entre los aislamientos de *F. avenaceum* (Apan y Calpulalpan), así como entre los aislamientos de *F. graminearum* (Apan y CIMMYT), lo que hace suponer que existen poblaciones con diferente virulencia de estas especies en los Valles Altos.

F. avenaceum (Apan) y *F. graminearum* (Apan) presentaron la mayor severidad final, mientras que *F. subglutinans* (Apan) y *F. tricinatum* (Almoloya) el mayor efecto en el rendimiento, lo que supone la existencia de poblaciones más agresivas en la región de Apan, Hgo.

Se detectó la presencia de tricotecenos en las espigas inoculadas con los aislamientos de *F. avenaceum* (Calpulalpan), *F. lateritium* (Zapata), *F. subglutinans* (Benito Juárez), *F. subglutinans* (Apan), *F. heterosporum* (Zapata), *F. poae* (Zaragoza), *F. graminearum* (Apan) y *F. graminearum* (CIMMYT, Atizapán).

Los niveles de tricotecenos fueron relativamente bajos (0.02-2.70 ppm), pero algunos aislamientos señalan niveles sobre lo permitido por los parámetros de salud.

Los resultados deben ser considerados como parciales, por lo que deben conducirse estudios relacionados con aspectos de ecología, biología, daños y producción de toxinas de las diferentes especies causantes de la fusariosis de la cebada variedad Esmeralda en México.

LITERATURA CITADA

Abramson, D., R.M. Clear, and D. M. Smith. 1993. Trichotecene production by *Fusarium* spp. Isolated from Manitoba grain. Canadian Journal of Plant Pathology 15: 147-152.

Abramson, D., R.M. Clear, E. Usleber, R. Gessler, T. W. Nowicki, and E. Martlbauer. 1998. *Fusarium* species and 8-keto-trichothecene mycotoxins in Manitoba Barley. Cereal Chemistry 75 :137-141.

Benyon, F.H.L., L.W. Burgess, and P.J. Sharp. 1997. Characterization of *Fusarium avenaceum* subspecies *avenaceum*, *nurrugi* and *aywerte*. Cereal Research Communications 25: 579-580.

Birzele, B., A. Meier, H. Hindorf, J. Kramer and H.W. Dehne. 2002. Epidemiology of *Fusarium* infection and deoxynivalenol content in winter wheat in the Rhineland, Germany. European Journal of Plant Pathology 108:667-673.

Booth C. 1971. The genus *Fusarium* Commonwealth Mycol. Inst., Kew, Surrey, England. 237 p.

Bottalico, A., and G. Perrone. 2002. Toxigen *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small grain cereals in Europe. European Journal of Plant Pathology 108: 611-624..

Burgess L W., B.A. Summerell, S. Bullock, K.P: Gott, and D. Backhouse. 1994. Laboratory manual for *Fusarium* research. Third edition. University of Sydney. 133 p.

Carter, J.P., H.N. Rezanoor, D.Holde, A.E. Desjardins, R.D. Plattner, and P. Nicholson. 2002. Variation in pathogenicity associated with the genetic diversity of *Fusarium graminearum*. *European Journal of Plant Pathology* 108: 573-583.

Chelkowski, J., H. Wisniewska, T. Adamski, P. Golinski, Z. Kaczmarek, M. Kosteki, J. Perkowski, and M. Surma. 2000. Effects of *Fusarium culmorum* head blight on mycotoxins accumulation and yield traits in barley doubled haploids. *Journal of Phytopathology* 148: 541-545.

Desjardins, E.A., and R.H. Proctor. 2001. Biochemistry and genetics of *Fusarium* toxins. *In*: B.A. Summerell, J.F. Leslie, D. Backhouse, W. L. Bryden and L. W. Burgess (eds). *Fusarium* Paul E. Nelson Memorial Symposium. The American Phytopathological Society Press. 50-69.

Evans, C.K., R. Dill-Macky, and C.J. Mirocha. 2000. Biosynthesis of deoxinivalenol in spikelets of barley inoculated with macroconidia of *Fusarium graminearum*. *Plant Disease* 84: 654-660.

Frisvad, J.C. 1986. Taxonomic approaches to mycotoxin identification (taxonomic indication of mycotoxin content in foods). *In*: R.J. Cole (ed). *Modern methods in the analysis and structural elucidation of mycotoxins*. Academic Press, Inc. 415-457.

Gilchrist L., H. Vivar., J. Franco and J. Crossa. 1997. Comparing *Fusarium graminearum* infection period in wheat and barley. Fifth European Fusarium Seminar. Szeged, Hungary. 739-740.

Gilchrist, L. 2001. Perspectives on Fusarium head blight resistance in barley. *In*: H.E. Vivar, and A. McNab (eds). *Breeding barley in the new millenium: proceedings of an international symposium*. México, D.F.: CIMMYT. 61-71 p.

Gilchrist, S.L.I. 2000. Problemas fitosanitarios de los cereales de grano pequeño en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:132-137.

Gilchrist, L., C. Velázquez, and J. Crossa. 2000. Pathogenicity and virulence of eight *Fusarium graminearum* isolates originating in four regions of Mexico. *In*: R.W. Ward, S.M. Canty, J. Lewis, and L. Siler. 2000 National Fusarium Head Blight Forum. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. 153-155.

Golinski, P., Z. Kaczmarek, I. Kiecana, H. Wisniewska, P. Kaptur, M. Kostecki, and J. Chelkowski. 2002. *Fusarium* head blight of common Polish winter wheat cultivars-comparison of effects of *Fusarium avenaceum* and *Fusarium culmorum* on yield components. *Journal of Phytopathology* 150: 135-141.

Ireta, M. J. 2000. Fusariosis de los cereales. *En*: G. Fuentes D. (ed). Fitosanidad de cultivos básicos. Segunda edición. Sociedad Mexicana de Fitopatología. México. 1-15.

Jurkovic, D., and J. Cosic. 1997. Influence of *Fusarium* species on wheat seed germination. *Cereal Research Communications* 25: 761-762.

Magan, N., R. Hope, A. Colleate, and E.S. Baxter. 2002. Relationship between growth and mycotoxin production by *Fusarium* species, biocides and environment. *European Journal of Plant Pathology* 108:685-690.

McCallum B.D., and A. Tekauz. 2001. Influence of inoculation method and growth stage of *Fusarium* head blight in barley. *Canadian Journal of Plant Pathology* 24:77-80.

McMullen M., R. Jones, and D. Gallenberg. 1997. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease*. 81:1340-1348.

Mesterhazy, A. 2002. Role of deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in resistance to Fusarium head blight. *European Journal of Plant Pathology* 108:675-684.

Miedaner, T., A.G. Schilling, and H.H. Geiger. 2001. Molecular genetic diversity and variation for aggressiveness in populations of *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum* samples from wheat fields in different countries. *Journal of Phytopathology* 149: 641-648.

Nganje, W.E., D.A. Bangsund, F.L. Lesitritz, W.W. Wilson, and N.M. Tiapo. Estimating the economic impact of a crop disease: the case of Fusarium head blight in U.S. wheat and barley. 2002. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 275-281.

Nelson P.E, T.A. Toussoun, and W.F.O. Marasas. 1983. *Fusarium* species. An illustrated manual for identification. The Pennsylvania State University Press. 193 p.

Parry, D.W., P. Jenkinson, and L. McLeod. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals-a review. *Plant Pathology* 44:207-238.

Perkowski, J., I. Kiecana, U. Schumacher, H-M. Muller, J. Chelkowski, and P. Golinski. 1996. Head blight and biosynthesis of Fusarium toxins in barley kernels field inoculated with *Fusarium culmorum*. *European Journal of Plant Pathology* 102: 491-496.

Proctor, R.H., A.E. Desjardins, S.P. McCormick, R.D. Plattner, N.J. Alexander, and D.W. Brown. 2002. Genetic analysis of the role of trichotecene and fumonisin mycotoxins in the virulence of *Fusarium*. *European Journal of Plant Pathology* 108: 691-698.

Salas, B., B.J. Steffenson, H.H. Casper, B. Tacke, L.K. Prom, T.G. Fetch Jr., and P.B. Schwarz. 1999. *Fusarium* species pathogenic to barley and their associated mycotoxins. *Plant Disease* 83:667-674.

Thrane, U. 2001. Developments in the taxonomy of *Fusarium* species based on secondary metabolites. *In*: B. A. Summerell, J.F. Leslie, D. Backhouse, W.L. Bryden, and L.W. Burgess. *Fusarium* Paul E. Nelson Memorial Symposium. The American Phytopathological Society Press. USA. 29-49.

Van-Eeuwijk, F.A., A. Mesterhazy, Ch. I. Kling, P. Ruckenbauer, L. Saur, H. Burstmayr, M. Lemmens, L.C.P. Keizer, N. Maurin, and C.H.A. Snijders. 1995. Assessing non-specificity of resistance in wheat head blight caused by inoculation with European strains of *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* and *F. nivale* using a multiplicative model for interaction. *Theoretical Applied Genetic* 90: 221-228.

Vesonder, R.F., and C.W. Hesseltine. 1981. Metabolites of *Fusarium*. *In*: P.E. Nelson, T.A. Toussound, and C.J. Cook. *Fusarium*, diseases, biology, and taxonomy. The Pennsylvania State University Press. 350-364.

Walker, S.L., S. Leath, W. M. Hagler Jr., and J.P. Murphy. 2001. Variation among isolates of *Fusarium graminearum* associated with *Fusarium* head blight in North Carolina. *Plant Disease* 85: 404-410.

Wong, L.S.L., A. Tekauz, D. Leisle, D. Abramson, and R.I.H. McKenzie. 1992. Prevalence, distribution and importance of *Fusarium* head blight in wheat in Manitoba. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 14: 233-238.

CAPITULO IV

EFFECTO DE FUNGICIDAS SOBRE LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE LA CEBADA Y SU RELACION CON EL RENDIMIENTO Y PRODUCCION DE TOXINAS

CESAR RAMIREZ MARCHAND¹, LUCY I. GILCHRIST SAAVEDRA², CECILIO MENDOZA ZAMORA¹⁺, FLAVIO CAPETTINI M.³, NAHUM MARBAN MENDOZA¹

¹Maestría en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Edo. de México. México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

³Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas para Zonas Aridas (ICARDA) y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Apdo. Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

⁺qepd

RESUMEN

Espigas de cebada de la variedad Esmeralda cultivadas en la estación experimental de Atizapán, Edo. de México (CIMMYT, Int.) durante el ciclo agrícola 2002 fueron artificialmente inoculadas (50×10^3 conidios /ml) con *Fusarium avenaceum* y *F. graminearum* de forma independiente y tratadas con seis fungicidas comerciales: tiofanato-metil (1.0 K/ha), benomilo (0.5 Kg/ha), tiabendazol (0.5 l/100 l agua), propiconazol (0.5 l/l agua), tebuconazol (1.0 l/ha) y mancozeb (2.0 K/ha). Los tratamientos con tebuconazol, propiconazol y mancozeb presentaron la menor severidad final en de la fusariosis de la espiga causada por *F. avenaceum* (4.62%, 4.71% y 5.34% respectivamente), así mismo tebuconazol y mancozeb presentaron los mayores pesos hectolítricos (538.10 g/l y 544.51 g/l), el peso de mil granos no presentó diferencias

significativas entre tratamientos para esta especie (DMS = 0.05). Respecto a *F. graminearum* el tratamiento con benomilo presentó la menor severidad final de la fusariosis de la espiga causada por *F. graminearum* (4.64%), sin embargo tiofanto-metil y mancozeb indujeron el mejor peso de mil granos (37.53g y 36.23g respectivamente), el peso hectolítrico no presentó diferencias significativas entre tratamientos para esta especie. Tanto benomilo y tebuconazol redujeron los niveles de tricotecenos (deoxinivalenol + nivalenol) (0.14ppm 0.26ppm respectivamente) producido por *F. graminearum*, sin embargo no se presentaron diferencias (DMS = 0.05) con respecto al testigo sin fungicida que presentó una concentración tricotecenos de 1.28 ppm. De forma general se observa que no existe una relación directa entre el fungicida, la severidad final, el efecto en el rendimiento y la producción de toxinas.

Palabras clave: *Fusarium avenaceum*, *F. graminearum*, tricotecenos, rendimiento, severidad.

ABSTRACT

Spikes of barley (cv. Esmeralda) growing in CIMMYT experimental station of Atizapan, Edo. de Mexico during the rain fall period of 2002 were artificially inoculated (50×10^3 conidia/ml) with *Fusarium avenaceum* and *F. graminearum* independently and treated with six commercial fungicide: thiofanate-methyl (1.0 K/ha), benomyl (0.5 Kg/ha), thiabendazole (0.5 l/100 l agua), propioconazole (0.5 l/l agua), tebuconazole (.0 l/ha) and mancozeb (2 K/ha). Tebuconazole, propioconazole, and mancozeb were the best treatment since disease final severity of *F. avenaceum* (4.62%, 4.71% and 5.34% respectively). Also tebuconazole and mancozeb gave the highest hectoliter weight (538.10g/l and 544.51g/l respectively). The weight of 1000 grains did not show significant differences (LSD=0.05) among treatments for this *F. avenaceum*. With *Fusarium graminearum* treatment benomilo showed severity reduction of disease, thiofanate-methyl and mancozeb induce the better 1000 grain weight (37.53%

and 36.23%, respectively. However hectoliter weight showed no significant differences (LSD=0.05) in this specie. Both benomy and tebuconazol reduced the levels of trichothecenes (0.14 ppm and 0.26 ppm respectively) produced by *F. graminearum* eventhough this was different (LSD=0.05) from untreated cheks (1.28 ppm). Generally speaking there was not found a direct relationship between fungicide, final severity, yield and tricothecenes production.

Keys words: *Fusarium avenaceum*, *F. graminearum*, tricothecenes, yield, severity.

INTRODUCCION

La fusariosis de la espiga de la cebada en los Valles Altos de México es causada por diversas especies de *Fusarium* destacando por su alta frecuencia *F. avenaceum* y *F. graminearum* (Rmz-Marchand *et al.*, 2003)

La experiencia de aplicar fungicidas para controlar la fusariosis no ha sido claro, ya que aún y cuando se reducen las pérdidas en el rendimiento, en ocasiones pueden interactuar el germoplasma, el fungicida, el patógeno y las condiciones ambientales, manifestándose un incremento en la concentración de las toxinas en el grano (Gilchrist, 2000; Gilchrist, 2001; Parry *et al.*, 1995; Wang *et al.*, 1997). Puede ocurrir que aún y cuando exista un buen efecto del fungicida sobre la severidad e incidencia de la enfermedad, los niveles de toxinas no cumplen con los estándares exigidos por la industria maltera y cervecera (Pederson *et al.*, 2001), sin embargo se hacen grandes esfuerzos por disminuir los efectos de la enfermedad por medio de estrategias de tipo genético, cultural y químico (Ireta y Gilchrist, 1994) lo que aunado a un mejor entendimiento de la biología del organismo, permitirá el desarrollo de estrategias eficientes de control (Trail *et al.*, 2001).

El estudio del efecto de los fungicidas sobre la fusariosis ha sido desarrollado en su mayor parte en el cultivo de trigo, por lo que se dispone de poca información desarrollada en cebada, aunado a que la investigación desarrollada ha sido llevada a cabo sobre *F. graminearum*, ya que este es el principal patógeno reportado en gran parte del mundo (Parry *et al.*, 1995), por lo que no existen reportes específicos de la evaluación de los fungicidas sobre otras especies, en específico sobre *F. avenaceum*, principal especie causante de la fusariosis en los campos de cebada en México (Rmz-Marchand *et al.*, 2003).

Las investigaciones realizadas indican la poca efectividad de los fungicidas (Gregoire, 2002; Homdork *et al.*, 2002; Pederson y McMullen, 1999) debido principalmente a que varios factores como la etapa y método de aplicación, tipo y ángulo de boquilla, condiciones ambientales, gasto de agua y tipo de adyuvantes, entre otras influyen directamente sobre la efectividad de los mismos (Draper *et al.*, 2002; Gregoire, 2002; Lukach *et al.*, 1999; Needham, 2002; Wang, 1997). Por lo antes expuesto el manejo de la fusariosis debe enfocarse en un contexto de control integrado utilizando tácticas como el mejoramiento genético, los sistemas de cultivo, el manejo de drenajes, la protección con fungicidas y la utilización de biocontroladores entre otras (Gilchrist, 2000; Hershman *et al.*, 2001; Mauler-Machnik y Suty, 1997; McMullen *et al.*, 1997; Wang, 1997).

Diversos fungicidas han sido evaluados para el control de *F. graminearum*, destacando por sus resultados la mezcla de carbendazim + triademefon (Wang, 1997), así como el azoxystrobin y fungicidas relacionados aunque los resultados de estos son inconsistentes en cuanto a su efectividad y producción de toxinas (Magan *et al.*, 2002; Pederson *et al.*, 2000; Pederson y McMullen, 1999; Pirgozliev *et al.*, 2002).

En los Estados Unidos, varias instituciones desarrollan investigación sobre los fungicidas de nueva generación codificados como AMS21619 (prothioconazol

de BAYER) y BAS505 (fungicida experimental de BASF), mismos que presentan buenos resultados en cuanto a reducción de incidencia y severidad, registrando un mayor rendimiento y menor concentración de toxinas (Bloomberg *et al.*, 2002; El-Allaf *et al.*, 2001; El-Allaf *et al.*, 2002; Hershman *et al.*, 2002; Kawamoto *et al.*, 2002). Por su parte Díaz de Ackermann *et al.* (2002) mencionan que metconazol (Caramba) provee buenos resultados en cuanto a la reducción de la severidad de la enfermedad e incremento en los parámetros de rendimientos, estos resultados han sido confirmados por Pirgozliev *et al.* (2002).

El efecto de los triazoles (propiconazol, tebuconazol, metconazol) sobre la fusariosis ha sido en la mayoría de los reportes aceptable (Díaz de Ackermann y Kohli, 1997; El-Allaf *et al.*, 2001; Hershman *et al.*, 2001; Homdork *et al.*, 2000; Magan *et al.*, 2002; Mesterhazy *et al.*, 2002; Pederson y McMullen, 1999), no obstante los resultados de eficiencia son inconsistentes y en la mayoría de las ocasiones no reducen la cantidad de toxina en el grano.

Dill-Macky y Jones (1997) indican que el benomilo es el fungicida más efectivo disponible para los productores en los Estados Unidos, sus efectos positivos han sido documentados también por Pederson y McMullen (1999), sin embargo su uso no es autorizado en cebada, mientras que los tratamientos a la semilla más efectivos han sido el mancozeb, tiabendazol y difeconazol (Dill-Macky, 1997).

El presente estudio fue motivado bajo los siguientes objetivos: 1. Evaluar en campo la efectividad biológica de fungicidas comerciales sobre la severidad causada por *Fusarium avenaceum* y *F. graminearum* de forma independiente, 2. Evaluar en campo el efecto de los fungicidas sobre *F. avenaceum* y *F. graminearum* en los componentes del rendimiento y 3. Evaluar el efecto de la aplicación de fungicidas sobre la producción de tricotecenos de *F. graminearum* en grano de cebada.

MATERIALES Y METODOS

Establecimiento del ensayo y tratamientos evaluados. La evaluación de fungicidas en campo fué llevada a cabo en el campo experimental de Atizapán, Estado de México (CIMMYT) (19.10°N, 99.51°W, 2640 msnm) en el ciclo agrícola 2002. Se evaluaron seis fungicidas presentes en el mercado nacional (tiofanato-metil, propiconazol, tiabendazol, tebuconazol, benomilo y mancozeb a dosis comerciales promedio; productos no autorizados en México para el control de la enfermedad) para el control de *F. graminearum* y *F. avenaceum* de forma independiente. Los tratamientos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental constó de dos surcos de 1.5 m de longitud. La siembra se realizó de forma manual, utilizando Esmeralda, variedad comercial que fue obtenida de la semilla cosechada en el ciclo 2001. La aplicación de los fungicidas se realizó a los 4 días después de la inoculación, con excepción del fungicida de contacto mancozeb que fue aplicado 8 hrs anteriores a la inoculación. La aplicación de los fungicidas se realizó mediante una aspersora presurizada de CO₂ a una presión constante de 40 psi, con boquillas Teejet 8002XR. No fue necesario la aplicación de riego por aspersión ya que las precipitaciones diarias fueron favorables para el desarrollo de la enfermedad. El manejo agronómico del ensayo se muestra en el anexo 5.

Aislamientos utilizados y método de inoculación. Para la inoculación se utilizaron aislamientos monoconidiales obtenidas de aislamientos realizados en muestreos en campos de cebada de los Valles Altos durante el ciclo de cultivo 2001 (*F. graminearum* y *F. avenaceum*). El incremento de inóculo se realizó en medio líquido *mungo bean* (Bekele, 1985; Evans *et al.*, 2000) (anexo 6). Se etiquetaron 20 espigas en la etapa de inicio de floración por unidad experimental (Gilchrist *et al.*, 1997; McCallum y Tekauz, 2001), mismas que fueron inoculadas mediante aspersión de solución de conidios (50×10^3 /ml) con un atomizador manual de botella de capacidad de 1 l (Gilchrist *et al.*, 1997; Gilchrist, 2001).

Evaluaciones. Las evaluaciones de severidad se realizaron a los 7, 14, 21 y 28 días después de la inoculación (ddi), la cual consistió en contabilizar los granos infectados con relación al número total de granos en cada espiga, obteniendo así un porcentaje de severidad en cada lectura. El peso hectolítrico y peso de mil granos fue realizado al final de la cosecha para cada repetición.

Cuantificación de toxinas. El grano cosechado del ensayo con *F. graminearum* fue utilizado para análisis de toxinas para la cuantificación de tricotecenos (deoxinivalenol + nivalenol), con la finalidad de relacionar el efecto del fungicida con la producción de esta toxina. El grano de cada repetición fue molido (molino comercial Braun[®]) y procesadas mediante la técnica de Romer Labs. Inc. (Don fluoroquant [™] método #FQD1NC, versión 95.9) (anexo 7).

Análisis de datos. Los datos obtenidos fueron analizados usando el programa estadístico SAS (versión 8.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). El procedimiento PROC GLM fue usado para análisis de varianza, las medias obtenidas fueron sometidas a comparaciones de medias por Diferencia Mínima Significativa (LSD) con $\alpha=0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de los fungicidas sobre *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc.

Efectos sobre el desarrollo de síntomas de la fusariosis

Los estudios realizados para la evaluación del efecto de los fungicidas sobre *F. avenaceum* han sido poco desarrollados, por lo que el presente estudio presenta resultados preliminares que deberán confirmarse en posteriores ensayos. El Cuadro 1 muestra los resultados obtenidos sobre el desarrollo de la severidad de la fusariosis en espigas; la cuarta evaluación (28 ddi) fue

eliminada ya que se presentó caída de grano, por lo que la lectura de esta evaluación se vio afectada.

Cuadro 1. Evaluación del efecto de fungicidas sobre la severidad de la fusariosis en cebada variedad Esmeralda inoculada con *Fusarium avenaceum* en Atizapán, Estado de México, 2002.

Tratamiento	% de severidad (media)*		
	7 ddi**	14 ddi	21 ddi
1. Cercobin-M (tiofanato-metil 1.0 K/ha)	1.11 abc	3.17 ab	5.61 ab
2. Benlate (benomilo 0.5 Kg/ha)	1.50 b c	4.18 bc	5.97 ab
3. Mertect 340 F (tiabendazol 0.5 l/100 l agua)	1.25 abc	3.84 bc	6.88 bc
4. Tilt 250 CE (propiconazol (0.5 l/l agua)	0.84 ab	2.22 a	4.71 a
5. Folicur 250 EW (tebuconazol 1.0 l/ha)	1.58 c	2.22 a	4.62 a
6. Mancozeb micro 80 (mancozeb 2 K/ha)	0.62 a	4.05 bc	5.34 a
7. Testigo (sin fungicida)	1.79 c	4.72 c	7.94 c
Coeficiente de variación	134.71	71.53	60.02

*medias con la misma letra no son significativamente diferentes (DMS, $\alpha=0.05$);

**ddi, días después de la inoculación.

Los resultados muestran presencia de diferencias significativas entre los tratamientos en las tres evaluaciones de la severidad de la enfermedad. En la primera evaluación (7ddi) se observa que el mancozeb y propiconazol reducen significativamente la infección del patógeno en comparación con el testigo, presentándose mayores severidades en el resto de los tratamientos especialmente tebuconazol y benomilo. El efecto del mancozeb sobre el desarrollo inicial de la enfermedad es debida a su acción preventiva (Uesugi, 1998). En la segunda y tercera evaluación (14 ddi y 21 ddi) el propiconazol y tebuconazol presentaron las menores severidades, mientras que la severidad

en el tratamiento con mancozeb se ve incrementado. En la severidad final de la enfermedad (21 ddi) resalta el efecto del propiconazol y tebuconazol, los cuales presentan los porcentajes mas bajos de severidad, sin embargo, el efecto del mancozeb es estadísticamente igual a estos dos tratamientos y diferentes al testigo.

El tratamiento de tiabendazol presenta los porcentajes de severidad final mas altos, al igual que el benomilo y tiofanato-metil, todos estos pertenecientes al grupo de los bencidimazoles (Hewit, 1998; Uesugi, 1998), mismos que en general presentaron un menor efecto a los triazoles (tebuconazol y propiconazol) y al mancozeb sobre la severidad final de *F. avenaceum*.

Efecto sobre los componentes del rendimiento

El cuadro 2 muestra los resultados de la evaluación del efecto de los fungicidas sobre el peso hectolítrico y peso de mil granos en relación a la severidad final. Se observa que en el peso hectolítrico existieron diferencias significativas de algunos fungicidas con respecto al testigo, destacando los tratamientos de tebuconazol y mancozeb, situación que se refleja también en el peso de mil granos aunque en esta variable no existieron diferencias significativas.

Los tratamientos con tebuconazol y mancozeb presentaron las severidades menores al igual que el propiconazol, aunque este último presentó diferencias significativas con los dos primeros en cuanto al peso hectolítrico. Por otra parte se observa que el tratamiento con tiabendazol aún y cuando presentó alta severidad final obtuvo buenos resultados en cuanto a los componentes del rendimiento. Esto se puede deber a que el daño y expresión de síntomas es superficial sin afectar mayormente el llenado de los granos.

Cuadro 2. Evaluación del efecto de fungicidas sobre el peso hectolítrico, peso de mil granos y severidad final en cebada variedad Esmeralda inoculada con *Fusarium avenaceum* en Atizapán, Estado de México, 2002.

Tratamiento	Peso hectolítrico (g/l)*	Peso de mil granos (g)*	Severidad final (%)*
1. Cercobin-M (tiofanato-metil 1.0 K/ha)	513.75 ab	35.80 a	5.61 ab
2. Benlate (benomilo 0.5 Kg/ha)	500.51 b	35.12 a	5.97 ab
3. Mertect 340 F (tiabendazol 0.5 l/100 l agua)	519.93 ab	36.82 a	6.88 bc
4. Tilt 250 CE (propiconazol (0.5 l/l agua)	493.54 b	35.61 a	4.71 a
5. Folicur 250 EW (tebuconazol 1.0l/ha)	538.10 a	35.97 a	4.62 a
6. Mancozeb micro 80 (mancozeb 2 K/ha)	544.51 a	35.83 a	5.34 a
7. Testigo (sin fungicida)	487.41 b	33.88 a	7.94 c
Coeficiente de variación	3.75	5.79	60.02

*medias con la misma letra no son significativamente diferentes (DMS, $\alpha=0.05$);

**ddi, días después de la inoculación.

Aún y cuando los diferentes estudios han sido realizados sobre *F. graminearum*, es importante considerar que el efecto del tiabendazol ha sido ampliamente estudiado obteniendo en su mayoría buenos efectos (Homdork *et al.*, 2000; Mauler-Machnik y Suty, 1997; McMullen y Lukach, 2000; Meyer *et al.*, 2002). Si consideramos aspectos de costos hay reportes que indican que el costo del fungicida se ve cubierto por el efecto de control sobre otras enfermedades foliares, situación que conlleva a que el rendimiento se vea favorecido (Horsley *et al.*, 2000; McMullen y Milus, 2002; Pederson *et al.*, 2001; Pederson *et al.*, 2002), sin embargo en algunas ocasiones hay un efecto negativo en la producción de toxinas produciéndose un incremento de estas (Draper *et al.*, 2002).

El estudio de la efectividad biológica de fungicidas sobre *F. avenaceum* en cebada ha sido poco documentado, por lo que los resultados del presente estudio deberán confirmarse en posteriores investigaciones, así como el estudio de la relación que existe entre los fungicidas, el genotipo y la producción de toxinas inducidas por *F. avenaceum*, ya que esta especie es la principal causante de la fusariosis de la cebada en los Valles Altos de México (Rmz-Marchand *et al.*, 2003).

Efecto de los fungicidas sobre *Fusarium graminearum* Scwabe

Efectos sobre el desarrollo de los síntomas de la fusariosis

En el Cuadro 3 se muestra el efecto de los fungicidas sobre el desarrollo de la fusariosis causada por *F. graminearum*, la cuarta evaluación (28 ddi) fue eliminada ya que se presentó caída de grano, por lo que la lectura de esta evaluación fue afectada. Se puede observar que se presentan diferencias significativas entre tratamientos en las tres evaluaciones de la severidad, destacando el tratamiento con mancozeb que presenta un alto efecto sobre la infección y desarrollo inicial de la enfermedad, situación que se da debido a su acción preventiva (Uesugi, 1998).

En la segunda y tercera evaluación resalta el efecto presentado por benomilo, propiconazol y tebuconazol, ya que presentaron una menor severidad final, aunque no existieron diferencias significativas con otros tratamientos, pero si fueron diferentes del testigo. En general, el efecto de todos los fungicidas fue significativamente diferente al testigo en la segunda y tercera evaluación de la severidad de la enfermedad (14 y 21 ddi).

Cuadro 3. Evaluación del efecto de fungicidas sobre la severidad de la fusariosis en cebada variedad Esmeralda inoculada con *Fusarium graminearum* en Atizapán, Estado de México, 2002.

Tratamiento	% de severidad (media)*		
	7 ddi**	14 ddi	21 ddi
1. Cercobin-M (tiofanato-metil 1.0 K/ha)	1.29 bc	3.29 ab	5.38 ab
2. Benlate (benomilo 0.5K/ha)	1.25 bc	2.71 a	4.64 a
3. Mertect 340 F (tiabendazol 0.5 l/100 l agua)	1.60 c	4.07 b	6.01 b
4. Tilt 250 CE (propiconazol 0.5 l/l agua)	0.96 b	2.54 a	4.84 ab
5. Folicur 250 EW (tebuconazol 1.0 l/ha)	1.59 c	2.59 a	4.70 ab
6. Mancozeb micro 80 (mancozeb 2K/ha)	0.18 a	3.98 b	5.01 ab
7. Testigo (sin fungicida)	1.19 bc	5.25 c	7.67 c
Coeficiente de variación	124.29	75.20	58.94

*medias con la misma letra no son significativamente diferentes (DMS, $\alpha=0.05$);

**ddi, días después de la inoculación.

El efecto presentado por el tebuconazol concuerda con lo reportado por Hershman y Milus (2002), quienes señalan que este fungicida presenta niveles intermedios de control, así mismo Pederson *et al.* (2000) quienes indican que benomilo y tebuconazol tienen un mismo efecto sobre la severidad, resultados que concuerdan con los obtenidos en el presente estudio y que han sido confirmados por estos mismos autores en diferentes ciclos de evaluación (Pederson *et al.*, 2001).

Los resultados obtenidos del efecto del benomilo y propiconazol muestran que no existen diferencias significativas entre estos dos tratamientos, situación que fué reportada con anterioridad por Pederson y McMullen (1999)

El efecto del tiabendazol presentó una severidad final alta, sin embargo presenta diferencias significativas con el testigo y es estadísticamente igual a los demás tratamientos con excepción del benomilo. Por su parte el tiofanato-metil, a diferencia de lo reportado por Wang (1997), presentó una severidad final de la enfermedad alta, no obstante es igual estadísticamente a varios fungicidas y presenta diferencias significativas con el testigo.

Es importante resaltar que el benomilo presentó los menores porcentajes de severidad en la segunda y tercera evaluación (7 ddi y 14 ddi), lo que concuerda por lo reportado en varios estudios (Dill-Macky, 1997; Dill-Macky y Jones, 1997; Pederson y McMullen, 1999). Al respecto Dill-Macky y Jones (1997) indican que el benomilo es el fungicida más efectivo disponible para los productores en los Estados Unidos en el cultivo de trigo.

Efecto sobre los componentes del rendimiento y la producción de toxinas

Los resultados del efecto de los fungicidas en los componentes del rendimiento y en la reducción de tricotecenos (deoxinivalenol + nivalenol) se presentan en el Cuadro 4. Al respecto, se observa que solamente en el peso de mil granos y severidad final se registraron diferencias significativas entre los tratamientos, destacando el efecto producido por los fungicidas tiofanato-metil y mancozeb, no obstante que no registraron diferencias significativas con los otros tratamientos con excepción del testigo.

Todos los tratamientos con fungicidas presentaron un incremento significativo en el peso de mil granos con respecto al testigo, mientras los fungicidas presentaron incrementos en el peso hectolítrico aunque no se registraron diferencias significativas en este último entre los fungicidas y el testigo.

Se puede observar que el tratamiento con benomilo presenta un incremento (aunque no significativo) en el peso hectolítrico, resultados que concuerdan con Pederson y McMullen (1999) y con Milus y Weight (1999).

Cuadro 4. Evaluación del efecto de fungicidas sobre el peso hectolítrico, peso de mil granos, severidad final y producción de toxinas en cebada variedad Esmeralda inoculada con *Fusarium graminearum* en Atizapán, Estado de México, 2002.

Tratamiento	Peso hectolítrico (g/l)	Peso de mil granos (g)	Toxinas (ppm)**	severidad final*** (%)
1. Cercobin-M (tiofanato metil 1.0 K/ha)	496.05 a*	37.53 a	0.96 a	5.38 ab
2. Benlate (benomilo 0.5 K/ha)	518.90 a	36.52 a b	0.14 a	4.64 a
3. Mertect 340 F (tiabendazol 0.5 l/100 l agua)	504.89 a	35.83 a b	0.96 a	6.01 b
4. Tilt 250 CE propiconazol (0.5 l/l agua)	502.14 a	35.82 a b	1.24 a	4.84 ab
5. Folicur 250 EW (tebuconazol 1.0l/ha)	499.22 a	35.78 a b	0.26 a	4.70 ab
6. Mancozeb micro 80 (mancozeb 2K/ha)	505.35 a	36.23 a	0.85 a	5.01 ab
7. Testigo (sin fungicida)	490.43 a	33.72 b	1.28 a	7.67 c
Coeficiente de variación	3.67	4.51	80.56	58.94

*medias con la misma letra no son significativamente diferentes (DMS, $\alpha=0.05$);

** deoxinivalenol (DON)+ nivalenol (NIV); *** ddi, días después de la inoculación

El benomilo presentó buenos resultados en los parámetros de rendimiento, así como en la severidad final y la menor concentración de toxinas, sus efectos han sido documentados por diversos autores (Pederson y McMullen, 1999; Milus y Weight, 1999), en donde algunos mencionan que la aplicación de este fungicida reduce los niveles de toxinas (Pederson y McMullen, 1999) situación que en el presente ensayo fue observado. Al respecto Dill-Macky y Jones (1997) indican

que el benomilo es el fungicida más efectivo disponible para los productores en los Estados Unidos en el cultivo de trigo, sin embargo su uso no es autorizado en cebada en ese país, situación que es similar en México (Anónimo, 2001; SAGAR, 1999), situación que deberá discutirse en foros entre empresas de plaguicidas e instituciones de investigación.

Draper *et al.* (2002) mencionan que el tebuconazol no reduce las toxinas, ni reduce la severidad, situación que contradice a lo reportado por Meyer *et al.* (2002), quien menciona que el tebuconazol incrementa rendimientos y reduce las toxinas. Sin embargo en el presente estudio se observó que el fungicida no incrementó los rendimientos pero si disminuyó la concentración de toxinas, aunque esta reducción no fue significativa estadísticamente.

McMullen y Lukach (2000) reportan que el propiconazol y el tebuconazol incrementan los rendimientos y reducen la concentración de toxinas, sin embargo, en el presente ensayo no se presentó tal situación, lo que concuerda por lo expuesto por Pederson *et al.* (2001) quienes indican que el tebuconazol no reduce la severidad de la fusariosis, así como tampoco reduce los niveles de toxinas, sin embargo es importante considerar el efecto que el material genético tiene sobre la expresión de resistencia a la producción de toxinas, así como de las condiciones ambientales prevalecientes en cada ensayo durante el período de llenado de grano.

Diversos estudios señalan que aún y cuando los porcentajes de severidad se ven disminuidos con la aplicación de fungicidas pertenecientes al grupo de los triazoles, no existe un efecto directo en el rendimiento y en el contenido de toxina (Muñoz, 2002; Parry *et al.*, 1997; Pederson *et al.*, 1999), situación que en general se observó en los resultados del presente ensayo.

McMullen y Halley (1999) mencionan que las aplicaciones de mezclas con benomilo y mancozeb en trigo reducen la concentración de toxinas, por lo que

esta consideración pudiese ser tomada para las condiciones del presente estudio, ya que el benomilo presentó el nivel mas bajo de toxina mientras que el mancozeb presentó un mayor peso de mil granos.

Aún y cuando no existieron diferencias significativas en cuanto a la producción de toxinas, es importante considerar que solamente el benomilo y el tebuconazol redujeron la producción de toxina a un nivel por debajo de las recomendaciones de la FAO que indica un nivel máximo de 0.5 ppm para todos los productos derivados de cereales para consumo humano (FAO, 2002), mismo límite que es establecido por Anheuser-Bush, Inc., la cervecera mas importante de los Estados Unidos (Pederson *et al.*, 2001).

Es importante considerar la recomendación de la FAO para los cereales destinados para consumo de infantes que indica un nivel máximo de 0.1 ppm (FAO, 2002) este último nivel ningún tratamiento lo superó, presentándose niveles por encima de 1 ppm en los tratamientos con propiconazol y en el testigo. Sin embargo es importante considerar que estos resultados fueron obtenidos bajo condiciones de inoculación artificial y alta presión de inóculo, así mismo las condiciones ambientales fueron óptimas para el desarrollo de la enfermedad pero posiblemente no para el desarrollo de toxinas.

CONCLUSIONES

Los tratamientos con tebuconazol, propiconazol y mancozeb presentaron los mejores resultados en cuanto a la reducción de la severidad de la fusariosis de la espiga de la cebada causada por *F. avenaceum*, mientras que el tebuconazol y mancozeb presentaron los mejores efectos en el peso hectolítrico, el peso de mil granos no presentó diferencias significativas.

El tratamiento con benomilo presentó la mayor reducción de la severidad de la fusariosis de la espiga de la cebada causada por *F. graminearum*, mientras que

el tiofanto-metil y mancozeb presentaron los mejores efectos en el peso de mil granos, el peso hectolítrico no presentó diferencias significativas, mientras que el benomilo y tebuconazol redujeron los niveles de deoxinivalenol aún y cuando no existieron diferencias significativas.

Los resultados del presente ensayo muestran la posibilidad de realizar estudios de efectividad biológica de fungicidas para el control de las diversas especies causantes de la fusariosis de la espiga de la cebada en México, situación que deberá considerarse tanto por autoridades de gobierno, investigadores, industrias y empresas que usan el grano, así como las empresas de plaguicidas agrícolas.

LITERATURA CITADA

Anónimo. 2001. Diccionario de especialidades agroquímicas-PLM. Ediciones PLM S.A. de C.V. México. 1575 p.

Bekele, G.T. 1985. Head scab screening methods used in CIMMYT. *In*: R. L. Villarreal, and A. R. Klatt (eds). Wheat for more tropical environments. A proceedings of the International Symposium. CIMMYT.169-173.

Bloomberg, J.R., D.E. Rasmussen, and T.K. Kroll. 2002. JUA6476 or the control of *Fusarium graminearum* and others diseases in cereals. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 56.

Díaz de Ackerman, M., and M.M. Kohli. 1997. Research on Fusarium head blight of wheat in Uruguay. *In*: Dubin, H.J., L. Gilchrist, J. Reeves., and A. McNab (eds). Fusarium head scab: global status and future prospects. México. D.F.: CIMMYT. 13-18.

Díaz de Ackermann, M., M. Kohli, and V. Ibañez. 2002. Variations in fungicide application techniques to control Fusarium head blight. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 62.

Dill-Macky, R. 1997. Fusarium head blight: recent epidemics and research efforts in the Upper Midwest of United States. *In*: H.J. Dubin, L. Gilchrist, J. Reeves, and A. McNab (eds). Fusarium head scab: global status and future prospects. México. D.F.; CIMMYT. 1-6.

Dill-Macky, R., and R. K. Jones. 1997. The effect of previous crops and tillage on Fusarium head blight of wheat. *Cereal Research Communications* 25:711-712.

Draper, M.A., K.D. Glover, K.R. Ruden, A.L. LeBouc, S.M. Shilling, and G. Lammers. 2002. Uniform fungicide performance trials in South Dakota-2002. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 67-68.

El-Allaf, S. M., P.E. Lipps, L.V. Madden, and A. Johnston. 2001. Effect of foliar fungicides and biocontrol agents on Fusarium head blight development and control in Ohio. *In*: Canty S. M., Lewis, J., Siler, L., and R. W. Ward (eds). 2001 national Fusarium head blight forum proceedings. U. S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 49-53.

El-Allaf, S.M., P.E. Lipps, and L.V. Madden. 2002. Fusarium head blight: epidemics and control. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 69-72.

Evans, C. K., R. Dill-Macky, and C.J. Mirocha. 2000. Biosynthesis of deoxinivalenol in spikelets of barley inoculated with macroconidia of *Fusarium graminearum*. *Plant Disease* 84: 654-660.

FAO-Codex Alimentarius Commission, 2002. Codex committee on food additives and contaminants. Noviembre del 2002. info@codexalimentarius.nl

Gilchrist L., H. Vivar, J. Franco, and J. Crossa. 1997. Comparing *Fusarium graminearum* infection period in wheat and barley. Fifth European Fusarium Seminar. Szeged, Hungary. 739-740.

Gilchrist, L. 2001. Perspectives on Fusarium head blight resistance in barley. *In: Breeding barley in the new millenium: proceedings of an international symposium*. H.E. Vivar, and A. McNab (eds). México, D.F.: CIMMYT. 61-71.

Gilchrist, S.L.I. 2000. Problemas fitosanitarios de los cereales de grano pequeño en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:132-137.

Gregoire, T.D. 2002. An extension agronomist's experiences with fungicide application techniques to improve control of FHB. *In: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings*. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 76

Hershman, D.E., and E.A. Milus. 2002. Analysis of the 2002 uniform wheat fungicide and biocontrol trials across locations. *In: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings*. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA.82-87.

Hershman, D.E., P.R. Bachi, D.M. TeKrony, and D. A. VanSanford. 2001. Management of Fusarium head blight in wheat using selected biological control agents and foliar fungicides, 2001. *In: Canty S. M., Lewis, J., Siler, L., and R.*

W. Ward (eds). 2001 National Fusarium head blight forum proceedings. U. S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 59-63.

Hewitt, H.G. 1998. Fungicides in crop protection. CAB International. 221 p.

Homdork, S., H. Fehrmann, and R. Beck. 2000. Effects of field application of tebuconazole on yield, yield components and mycotoxin content of *Fusarium*-infected wheat grain. *Journal of Phytopathology* 148:1-6.

Horsley, R.D., M.P. McMullen, and J.D. Pederson. 2000. Efficacy of the fungicide folicur in controlling barley Fusarium head blight in genotypes with partial resistance. *In*: R.W. Ward, S.M. Canty, J. Lewis, and L. Siler (eds). 2000 National Fusarium Head Blight Forum. U.S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 89-93.

Ireta, M. J., y L. Gilchrist S. 1994. Roña o tizón de la espiga del trigo. Informe especial de trigo No. 20. México, D.F.:CIMMYT. 25 p

Kawamoto, S.O., C.A. Stockwell, D.J. Otis, W.J. Cox, M.E. Sorrells, and G.C. Bergstrom. 2002. Evaluation of foliar fungicides and bioprotectants for control of Fusarium head blight of winter wheat in New York in 2002. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA.92-95.

Lukach, J., S. Halley, and T. Gregoire. 1999. Effect of fungicides and sprayer nozzles on control of Fusarium head blight (FHB) in wheat. *In*: R.N. Raid (ed). Fungicide and nematicide tests. 54:332.

Magan, N., R. Hope., A. Colleate, and E.S. Baxter. 2002. Relationship between growth and mycotoxin production by *Fusarium* species, biocides and environment. *European Journal of Plant Pathology* 108:685-690.

Mauler-Machnik, A., and A. Suty. 1997. New findings on the epidemiology, importance and control of Fusarium ear blight on wheat. *Cereal Research Communications* 25:705-709.

McCallum, B.D., and A. Tekauz. 2001. Influence of inoculation method and growth stage of Fusarium head blight in barley. *Canadian Journal of Plant Pathology* 24:77-80.

McMullen, M, and J. Lukach. 2000. Uniform fungicide for controlling FHB in barley, ND, 2000. *In*: R.W. Ward, S.M. Canty, J. Lewis, and L. Siler (eds). 2000 National Fusarium Head Blight Forum. U.S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 99.

McMullen, M., and E. Milus. 2002. History and Accomplishments of the USWBSI uniform fungicide and biological control trials, 1998-2002. *In*. S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 96.

McMullen, M., and S. Halley. 1999. Control of Fusarium head blight (FHB) and leaf disease on wheat, 1998. *In*: R.N. Raid (ed). Fungicide and nematicide tests. 54: 335.

McMullen, M., R. Jones and, D. Gallenberg. 1997. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease* 81:1340-1348.

Mesterhazy, A., T. Bartok, and G. Kaszonyi. 2002. New and effective fungicides against the FHB in wheat. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA.100-103.

Meyer, S., J. Jordahl, and M. McMullen. 2002. Uniform barley fungicide and biological agent trials Fargo, ND, 2002. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 104-105.

Milus, E.A., and C.T. Weight. 1999. Evaluation of Quadris and benlate for control of scab in wheat. *In*: R.N. Raid (ed). Fungicide and nematicide tests 54:336.

Muñoz, R. R., 2001. Efecto de la resistencia genética y el control químico de *Fusarium graminearum* S. en la producción de toxinas en cebada (*Hordeum vulgare* L). Tesis Maestría en Ciencias. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Posgraduados. México. 101.

Needham, P. 2002. Practical aspects of ground application of foliar fungicides. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 109.

Parry, D.W., P. Jenkinson, and L. McLeod. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals-a review. *Plant Pathology* 44:207-238.

Pederson, J.D., R. D. Horsley, and M.P. McMullen. 2001. Efficacy of fungicides in controlling *Fusarium* head blight on barley genotypes with partial resistance: *In*: Canty S.M., J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2001 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 82-86.

Pederson, J., and M. McMullen. 1999. Evaluation of fungicides for control of *Fusarium* head blight (FHB) in barley 1998. *In*: R.N. Raid (ed). Fungicide and nematicide tests. 54: 304.

Pederson, J., S. Halley, and M. McMullen. 2000. Evaluation of fungicides for suppression of head and leaf diseases on barley. *In*: R.N. Raid (ed). Fungicide and nematicide tests. 55: 324.

Pederson, J.D., R.D. Horsley, M. McMullen, and K. McKay. 2002. Efficacy of fungicides in controlling barley Fusarium head in lines with partial resistance. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 110.

Pirgozliev, S.P., S.G. Edwards, M.C. Hare, and P. Jenkinson. 2002. Effect of dose rate of azoxystrobin and metconazol on the development of Fusarium head blight and the accumulation of deoxynivalenol (DON) in wheat grain. *European Journal of Plant Pathology* 108: 469-478.

Rmz-Marchand, C., L. I. Gilchrist S., C. Mendoza Z., F. Capettini M., y N. Marbam M. 2003. Especies patogénicas, distribución, severidad y toxinas de la fusariosis de la cebada en los Valles Altos de México. (Resultados en proceso de publicación).

SAGAR. 1999. Guía de plaguicidas autorizados de uso agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. SAGAR, México. 504 p.

SAS Institute Inc. 1999. Copyright (c) 1999 by., Cary, NC, USA. Version 8 (TS M0).

Trail, F., J.R. Xu, P. San Miguel, I. Gaffoor, and C. Kistler. 2001. Expressed sequence tags from developmental stage of *Gibberella zeae*. *In*: Canty S. M., J. Lewis, L. Siler, and R. W. Ward (eds). 2001 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 37.

Uesugi, Y. 1998. Fungicide classes: chemistry, uses and mode of action. *In*: D. Hutson, and J. Miyamoto (eds). Fungicidal activity, chemical and biological approaches to plant protection. John Wiley and Sons. 23-56.

Wang, Y.Z. 1997. Epidemiology and management of wheat scab in China. *In*: Dubin, H.J., L. Gilchrist, J. Reeves, and A. McNab (eds). Fusarium head scab: global status and future prospects. México. D.F.: CIMMYT. 97-105.

CAPITULO V

BUSQUEDA DE RESISTENCIA GENETICA A LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE LA CEBADA Y A OTRAS ENFERMEDADES

CESAR RAMIREZ MARCHAND¹, LUCY I. GILCHRIST SAAVEDRA², CECILIO
MENDOZA ZAMORA¹⁺, FLAVIO CAPETTINI M.³, NAHUM MARBAN
MENDOZA¹

¹Maestría en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola.
Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Edo. de México. México.

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Apdo. Postal
6-641, México, D.F. 06600 México.

³Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas para Zonas Aridas (ICARDA)
y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Apdo.
Postal 6-641, México, D.F. 06600 México.

⁺qepd

RESUMEN

Dentro del programa de mejoramiento genético a la fusariosis de la espiga llevado por ICARDA/CIMMYT, se evaluó la resistencia tipo I y II de 93 genotipos de cebada a *F. graminearum*, así como 51 genotipos para *F. avenaceum*, principales especies causantes de la fusariosis de la espiga de la cebada en los Valles Altos de México. Los resultados muestran que los genotipos con mayor resistencia a *F. avenaceum* fueron Robust, Foster, cruzas de Atahualpa 92, cruzas con Seebe, Kitchin, Hietpas 3, Zander 1, Gob83DH y Penco/Chevron. Por su parte la mayor resistencia a *F. graminearum* la presentaron CEV96046, Robust, Atahualpa 92/2*M81, Morex, M-104, Robust, Reids Triumph, Peatland, Rumanian 20, Beta 14, Lion Selection, cruzas con Seebe, H9302263x/Shyri, Penco/Chevron y Azafrán. Las variedades Esmeralda y M-16 (Valles Altos de México) presentaron resistencia moderada al tipo I y II, lo que es positivo ya que

son factibles de uso en programas de mejoramiento con el objetivo de producir variedades con mayor nivel de resistencia múltiple a enfermedades, mayor calidad maltera y adaptación a las condiciones de temporal de los Valles Altos. A la fecha son nulos los reportes de resistencia de genotipos de cebada a *F. avenaceum*, por lo que el presente estudio es pionero en esta especie, así mismo se presenta la reacción de los genotipos a la infección natural de *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* y al Virus del enanismo amarillo de la cebada, los resultados deberán confirmarse en evaluaciones posteriores.

Palabras clave: *Fusarium graminearum*, *F. avenaceum*, *Puccinia striiformis* f.sp. *hordei*, BYDV, Valles Altos de México.

ABSTRACT

A diverse collection of barley genotypes was evaluated for type I and type II resistance to *Fusarium graminearum* (93 genotypes) and *F. avenaceum* (51 genotypes) at the ICARDA/CIMMYT *Fusarium* head blight (FHB) resistance breeding program. Those fungi species are the main causal agents of barley FHB in the Mexico High Valley. The genotypes that showed the highest levels of resistance to *F. avenaceum* were Robust, Foster, offspring from crosses with Atahualpa 92, offspring from crosses with Seebe, Kitchin, Hietpas 3, Zander 1, Gob83DH and Penco/Chevron. The genotypes that showed the highest levels of resistance to *F. graminearum* were CEV96046, Robust, Atahualpa 92/2*M81, Morex, M-104, Reids Triumph, Peatland, Rumanian 20, Beta 14, Lion Selection, offspring from crosses with Seebe, H9302263x/Shyri, Penco/Chevron and Azafran. Esmeralda and M-16, the main cultivars in the Mexican Highlands, presented moderate type I and type II resistance, what is encouraging regarding their use as resistance sources in a breeding program targeted to that environment. Additional advantages would be their resistance to other diseases, enhanced malting quality and adaptation to that environment. Genotypic reaction to natural infection of *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* and Barley Yellow

Dwarf Virus (BYDV) is also reported in this study. There are no previous reports of testing of barley for resistance to *F. avenaceum*, for what results should be confirmed in following research.

Keys words: *Fusarium graminearum*, *F. avenaceum*, *Puccinia striiformis* f.sp. *hordei*, BYDV, Mexico High Valley.

INTRODUCCION

En 1984 el programa de mejoramiento contra la fusariosis (*Fusarium* spp.) iniciado por el programa ICARDA/CIMMYT no fue muy popular ya que se argumentó que esta enfermedad no era considerada un problema en Africa y América (Vivar, 2001); sin embargo, a partir de los años noventas y hasta la fecha esta enfermedad representó el principal problema de la cebada en los EE.UU., Canadá, algunos países de Europa, China y países del Cono Sur en Sudamérica, afectando el rendimiento y la calidad del grano debido a la producción de toxinas (Dill-Macky y Jones, 1997; Dubin y Ruckenbauer, 1997; Gilchrist, 2001; Ireta, 2000; McMullen *et al.*, 1997; Steffenson, 1998; Vivar, 2001; Wong *et al.*, 1992), Al respecto Nganje *et al.* (2002) mencionan que el impacto de la fusariosis no sólo se manifiesta en los productores de los granos, sino que repercute en otros sectores económicos a nivel local y regional, así mismo indican que por cada dólar de pérdida debida a la fusariosis, al menos dos dólares se ven reflejados en la economía de otros sectores.

En general las medidas de control aplicadas a la fusariosis han sido sólo parcialmente efectivas (Parry *et al.*, 1995), debido a que la incidencia y severidad de la enfermedad está fuertemente influenciada por el ambiente, sobre todo por la temperatura y la humedad (Wang, 1997), además de que existen fuertes interacciones entre condiciones ambientales, el huésped, el patógeno y el cultivar, obteniendo reacciones diferentes en cada tipo de interacción (Gilchrist, 2001). Al respecto Gilchrist (2000) y McMullen *et al.*

(1997) menciona que el mejoramiento genético hacia la fusariosis de la espiga utilizando métodos convencionales apoyado con marcadores moleculares es el pilar fundamental para el manejo de la enfermedad, sin embargo solo el 1% de miles de genotipos de trigo y cebada evaluados alrededor del mundo han mostrado resistencia, estos deben ser incorporadas dentro de variedades que tengan adaptabilidad y posean características de rendimiento y calidad para cada región (McMullen *et al.*, 1997)

Los tipos de resistencia mas claros y aceptados a nivel mundial son el tipo I (a la penetración inicial) y tipo II (a la invasión de granos adyacentes) descritos por Schroeder y Christensen (1963). Así mismo se han propuesto otros tipos de resistencia como el tipo III (habilidad para inhibir la síntesis de toxinas o degradarlo) propuesta por Miller y Arnison (1986) y la resistencia tipo IV (tolerancia a altas concentraciones de toxinas sin presentar efectos negativos en el crecimiento) propuesta por Wang y Miller (1988). Sin embargo, en la actualidad y a pesar de un sin número de investigación al respecto, los conceptos y nomenclatura de los tipos de resistencia no han sido claramente definidos, por lo que grupos de trabajo se encuentran en discusión para homogeneizar criterios al respecto (Bushnell, 2002). La mayor dificultad en la búsqueda de resistencia radica en que la mayoría de los investigadores se han enfocado a seleccionar todos los mecanismos de resistencia en forma conjunta, utilizando un solo método de inoculación y evaluación (Gilchrist, 2000), las diferencias entre metodologías utilizadas para la evaluación de genotipos ha conllevado a que se obtengan inconsistencias en los resultados (Mesterhazy, 1997).

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en coordinación con el Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas para Zonas Aridas (ICARDA) mantiene un programa de investigación sobre cebada con base en México, en donde se incluyen estudios enfocados al mejoramiento genético hacia diferentes enfermedades entre estas la fusariosis (Gilchrist *et al.*,

1997). Después de varios años de pruebas bajo inoculaciones artificiales en la estación experimental de CIMMYT en Atizapán (Toluca), México, varias líneas de cebadas tanto de 2 hileras como de 6 hileras han sido seleccionadas por su resistencia tipo I y II, cuya semilla se ha distribuido a los programas nacionales alrededor del mundo para su estudio y uso en programas de mejoramiento genético (Vivar, 2001; Franckowiak, 2002), sin embargo los resultados han sido obtenidos para *Fusarium graminearum*, por lo que es de suma importancia el desarrollo de investigación sobre *F. avenaceum*, ya que esta especie es la principal causante de la fusariosis de la espiga de la cebada en los Valles Altos de México (Rmz-Marchand *et al.*, 2003).

El presente estudio fue motivado con la finalidad de evaluar líneas de cebada provenientes de diversos programas de mejoramiento del mundo (EE.UU., Brasil y Canadá), como parte del programa de mejoramiento genético de cebada ICARDA/CIMMYT con los siguientes objetivos: 1. Evaluar en campo genotipos de cebada para determinar fuentes de resistencia genética (tipo I y II) a la fusariosis de la espiga de la cebada causada por *F. graminearum*, 2. Evaluar genotipos de cebada para determinar fuentes de resistencia genética (tipo I y II) a la fusariosis de la espiga de la cebada causada por *F. avenaceum*, y 3. Evaluar los genotipos a la infección natural de la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) y al Virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) enfermedades que a su vez interaccionan negativamente con la manifestación de la resistencia a *Fusarium*.

MATERIALES Y METODOS

Establecimiento del ensayo en campo. La evaluación de genotipos en campo fue llevada a cabo en el campo agrícola experimental de Atizapán, Estado de México (CIMMYT) (19.10°N, 99.51°W, 2640 msnm) en el ciclo agrícola 2002. Los genotipos fueron establecidos en diseño completamente al azar con una sola repetición debido a la poca disponibilidad de semilla. La unidad

experimental constó de dos surcos de 1.5 m de longitud, realizando la siembra de forma manual. No fue necesario la aplicación de riego por aspersión ya que las precipitaciones diarias fueron favorables para el desarrollo de la enfermedad. El manejo agronómico del ensayo se muestra en el anexo 5.

Genotipos evaluados. Como parte del programa de mejoramiento múltiple a enfermedades de cebada ICARDA/CIMMYT se evaluó la expresión de resistencia a *F. graminearum* de 85 genotipos provenientes de 5 programas de mejoramiento (Alberta, Brasil, Canadá, Minnesota y USDA) así como las variedades Esmeralda y M-16 provenientes de los Valles Altos de México, en comparación con 6 testigos cuya reacción de resistencia a *F. graminearum* ha sido identificada por ICARDA/CIMMYT. Por otra parte y debido a que *F. avenaceum* es la principal especie causante de la fusariosis en los Valles Altos de México (Rmz-Marchand *et al.*, 2003), se evaluaron 43 genotipos provenientes de 4 programas internacionales de mejoramiento (Brasil, Canadá, Minnesota, USDA), así como las variedades mexicanas (Esmeralda y M-16) en comparación con 6 testigos con reacción conocida pero a *F. graminearum*.

Aislamientos utilizados y método de inoculación. Para la inoculación se utilizaron cepas monoconidiales (*F. graminearum* y *F. avenaceum*) obtenidas de aislamientos realizados en muestreos en campos de cebada de los Valles Altos durante el ciclo de cultivo 2001. Para ambas especies el incremento de inóculo se realizó en medio líquido *mungo bean* (Bekele, 1985; Evans *et al.*, 2000) (anexo 6). Se evaluaron de forma independiente dos tipos de resistencia para ambas especies: para el tipo I (infección inicial) se etiquetaron 20 espigas en la misma etapa de floración por unidad experimental (Gilchrist *et al.*, 1997; McCallum y Tekauz, 2001) mismas que fueron inoculadas mediante aspersión dirigida de solución de conidios (50×10^3 /ml) con un atomizador manual de botella de capacidad de 1 l (Gilchrist *et al.*, 1997; Gilchrist, 2001), la resistencia tipo II (de invasión en la espiga) fue evaluada mediante inoculación por algodón, inoculando 20 espigas en la misma etapa de floración incorporando

directamente un pequeño trozo de algodón impregnado con la solución de conidios (50×10^3 /ml) a una flor del tercio medio de la espiga, cubriéndola con una bolsa de papel glicine con la finalidad de conservar la humedad y evitar infecciones de otros microorganismos (Bekele, 1985; Gilchrist *et al.*, 1997).

Evaluaciones. La evaluación de la resistencia tipo I se realizó contabilizando los puntos de penetración del hongo sin considerar el número total de granos dañados, el grado de severidad fue determinado relacionando el número total de puntos de penetración con el número total de granos. El tipo II, fue evaluado contabilizando el número de granos invadidos a partir del punto de inoculación con relación al número de granos totales. La evaluación de la resistencia tipo I se llevó a cabo a los 30 días después de la inoculación (ddi) y el tipo II a los 40 ddi. Con la finalidad de obtener información adicional que permita realizar mejoramiento múltiple a diversas enfermedades en donde se incluye la fusariosis, se tomó la lectura de infección natural de la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f.sp. *hordei*) (Roelfs *et al.*, 1992) y de la infección natural del Virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) (Bertschinder, 1994) ambas a las 13 semanas después de la siembra.

RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación de resistencia genética a *F. avenaceum*

En el cuadro 1 se presentan los resultados de la evaluación de genotipos evaluados para la búsqueda de resistencia genética (tipo I y II) a *F. avenaceum*, así como la reacción a la infección natural de roya y BYDV. De los 43 genotipos sembrados para la evaluación de resistencia a *F. avenaceum* sólo fue posible tomar la lectura a 39 genotipos, a las dos variedades mexicanas y a cinco testigos, el cuadro 3 muestra los genotipos que fueron descartados por fuerte infección natural de roya, de BYDV o por espigamiento tardío.

Cuadro 1. Resultados de la evaluación de genotipos de cebada inoculados artificialmente con *F. avenaceum* para la búsqueda de fuentes de resistencia tipo I y II en Atizapán, Edo.de México. 2002.

No.	Hileras	Pedigree	Roya*	BYDV**	Severidad (%)			
					Tipo I		Tipo II	
					Media	Rango	Media	Rango
Brasil								
2	2	CEV 96048	90	3	6.02	3.33-12.50	7.67	3.57-12.5
3	2	CEV 96059	80	2	4.27	0-7.69	6.25	2.94-9.38
4	2	PFC 86125.12	40	2	10.63	8.33-13.64	8.93	4.17-18.18
6	2	PFC 9205	40	2	10.00	4.17-13.64	8.54	4.17-13.64
7	2	PFC9214	60	2	8.91	3.13-14.29	17.24	9.38-29.17
8	6	Robust	80	3	2.88	1.28-5.56	2.78	1.39-5.56
9	6	Foster	90	4	2.44	0-4.55	8.39	4.17-12.96
10	2	Logan-Bar	80	4	4.30	0-9.09	7.32	4.55-16.67
11	2	Henni	50	3	8.50	4.55-12.5	5.15	3.33-9.09
13	2	Gunther	20	2	4.86	3.85-7.69	13.91	7.69-19.23
14	2	Thuringia	0	1	4.86	0-10.0	12.67	7.69-18.18
Minnesota								
15	6	Manker	TR	0	4.73	1.19-8.33	3.51	1.39-4.55
16	6	Larker	90	4	3.38	1.67-5.56	4.85	2.08-6.25
17	6	Morex	90	4	2.95	1.85-4.17	3.58	1.85-5.00
18	6	Robust	90	3	2.11	1.52-3.33	4.35	1.52-7.58
19	6	Excel-Bar	90	3	6.74	3.70-11.90	5.70	3.03-8.33
21	6	Stander-Bar	90	3	3.56	2.38-5.56	3.42	1.39-6.25
22	6	M104	80	3	3.38	1.39-5.56	3.21	1.39-4.55
23	6	Zhedar#1/Stander-Bar/Foster/3/M84	90	3	2.60	1.67-4.55	3.65	1.39-5.56
24	6	Atah92/2*M81	80	3	2.48	1.52-4.55	3.03	1.39-4.17
25	6	Atah92/2*M81	50	5	3.22	1.05-4.55	3.69	1.52-5.56
27	6	PFC 88209/Mnbrite	60	4	3.31	1.39-4.55	2.56	1.52-6.25
Valles Altos de México								
33	6	Esmeralda	10	2	5.11	2.78-7.14	8.33	3.70-14.29
34	6	M-16	TR	3	3.43	1.52-8.33	3.94	1.67-8.33
Canadá								
1	2	H93125/Seebe	20	2	0.50	0-3.57	8.79	5.26-12.50
15	2	H93126/Seebe	70	3	2.52	0-8.33	5.40	3.13-9.38
17	2	H93126/Seebe	60	4	0.87	0-3.85	10.31	6.67-14.29
23	2	H93126/TR129	0	4	1.38	0-6.67	8.14	6.67-10.71
24	2	H95009/97047	30	4	2.93	0-7.14	11.68	6.25-15.63
29	2	H95009/97047	TR	2	2.79	0-6.67	5.32	3.57-8.33
32	2	H95009/97047	30	2	5.62	2.78-9.38	5.76	2.94-9.38
34	2	H93021263X/Shyri	70	3	3.54	0-7.14	9.83	6.25-15.63
39	2	H93021263X/Shyri	50	2	2.33	0-6.25	11.55	5.88-16.67
40	2	Metcalfe	20	3	2.24	0-3.85	25.64	14.29-33.33

Cuadro 1 (continuación). Resultados de la evaluación de genotipos de cebada inoculados artificialmente con *F. avenaceum* para la búsqueda de fuentes de resistencia tipo I y II en Atizapán, Edo.de México. 2002.

No.	Hileras	Pedigree	Roya *	BYDV**	Severidad (%)			
					Tipo I		Tipo II	
					Media	Rango	Media	Rango
USDA								
4	2	Kitchin-Bar	30	3	1.89	0-3.33	12.11	6.67-17.86
12	6	O315	20	3	5.67	2.78-9.09	12.52	6.06-19.70
13	6	CI4095	40	3	4.89	2.78-8.33	8.23	3.33-15.15
18	6	Zander 1	30	2	2.83	1.19-4.55	4.40	2.78-7.58
19	6	Hietpas 3	20	1	2.10	1.19-3.85	5.25	3.70-8.33
21	6	Beaver Dam 8	20	3	3.40	1.28-5.13	8.05	5.95-11.54
29	2	ZDM 2661	40	5	-	-	7.67	5.56-13.33
Testigos								
1	2	Gob83DH	10	1	0.45	0-4.17	6.42	3.57-10.71
2	2	Atahualpa 92	TR	1	9.27	3.57-15.38	6.90	3.33-11.54
3	2	Azafran	0	1	3.18	0-9.09	5.40	3.85-9.09
4	6	Penco/Chevron-Bar	10	1	0.49	0-1.85	2.87	1.39-5.00
36	2	Gob89DH	0	5	7.73	3.85-12.5	9.84	6.67-20.83
40	6	Penco/Chevron-Bar	0	2	4.02	1.39-8.93	2.52	1.39-5.00

* evaluación en campo de la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) según lo indicado por Roelfs *et al.* (1992); ** escala de evaluación en campo de BYDV según Bertschinger (1994).

De los genotipos evaluados provenientes del programa de Brasil, Robust presentó la mayor resistencia tipo I y II, ya que los porcentajes de severidad fueron los mas bajos de este grupo, sin embargo presenta un alto nivel de infección de roya y un nivel intermedio de BYDV, por lo que su uso en programas de mejoramiento múltiple a enfermedades debe considerarse como posibilidad enfocada principalmente a la resistencia a la fusariosis. Por otra parte, el genotipo Foster presentó un nivel de resistencia tipo I similar a Robust, sin embargo en el tipo II presenta un porcentaje mayor de severidad, por lo que considera factible de utilización para la resistencia tipo I. Al respecto de estas dos genotipos Evans *et al.* (2000) reportan a Robust con susceptibilidad moderada a *F. graminearum*, por lo que este genotipo presenta una reacción similar a *F. avenaceum* bajo las condiciones del presente ensayo.

En el grupo de genotipos provenientes del programa de Minnesota se observa que nuevamente Robust presenta el valor mas bajo de severidad en la evaluación de resistencia tipo I, sin embargo no expresó resistencia tipo II con respecto al resto de genotipos del grupo de Minnesota. Así mismo se observa que los genotipos provenientes con cruzas de Atahualpa 92 presentaron niveles bajos de severidad, lo que concuerda con reportes para *F. graminearum* (Gilchrist *et al.*, 1997; Franckowiak, 2002), es importante observar que el testigo Atahualpa 92 identificado en el programa de cebada ICARDA/CIMMYT presentó un alto porcentaje de severidad, por lo que se deduce que los genotipos provenientes de Minnesota con cruzas de Atahualpa 92 presentan mayor resistencia a *F. avenaceum* que el genotipo Atahualpa 92 de ICARDA/CIMMYT, es importante hacer notar que este último presentó menor daño a roya y BYDV. Franckowiak (2002) menciona que el genotipo codificado como PFC88209 es una línea que ha sido evaluada en diferentes programas de mejoramiento debido a su alto nivel de resistencia a *F. graminearum*, expresión que no fue observada en *F. avenaceum* en el presente ensayo, ya que su nivel de resistencia fue intermedio, por lo que el genotipo puede ser incorporado a los programas de mejoramiento hacia *F. avenaceum*.

Por su parte las variedades mexicanas evaluadas (Esmeralda y M-16) manifestaron una susceptibilidad moderada a *F. avenaceum*, observando que M-16 presentó una mayor severidad que Esmeralda en ambos tipos de resistencia. Así mismo estas variedades presentaron bajo daño de roya y BYDV, lo que es positivo desde el punto de vista de la factibilidad de su uso en programas de mejoramiento, con el objetivo de producir variedades con mayores niveles de resistencia a *F. avenaceum* y adaptación a los Valles Altos de México, ya que la variedad Esmeralda presenta alta calidad maltera y es sembrada en mas del 70% de la superficie sembrada con cebada en los Valles Altos.

En el grupo de genotipos provenientes del programa de Canadá se observa que las cruzas con Seebe presentaron una alta resistencia tipo I, sin embargo los niveles de resistencia tipo II son moderados, así mismo se observa que el genotipo 1 de Canadá (H93125/Seebe) presenta la mayor resistencia tipo I así como un daño reducido de roya y bajo daño de BYDV, por lo que se considera a este genotipo como la principal fuente de resistencia a *F. avenaceum* del grupo de genotipos de Canadá evaluados. Por su parte los genotipos evaluados con cruzas de Shyri han sido reportados con alta resistencia a *F. graminearum* (Gilchrist *et al.*, 1997; Vivar, 2001), sin embargo los resultados de la presente evaluación muestran una susceptibilidad moderada a *F. avenaceum*, por lo que es altamente recomendable su estudio bajo las condiciones de México con esta especie.

De los genotipos evaluados del programa de mejoramiento de USDA, presentaron los mayores niveles de resistencia Kitchin-Bar y Hietpas 3 para tipo I y Zander 1 para el tipo II. Al respecto Skoglund y Menert (2002) mencionan que Hietpas 3 ha sido incorporado a diversos programas de mejoramiento a *F. graminearum*, por lo que los resultados del presente ensayo confirman que este genotipo presenta resistencia a la fusariosis incluyendo *F. avenaceum*, lo que aunado a que se observaron bajos niveles de daño de roya y BYDV hace que Hietpas 3 sea considerado con amplia factibilidad de ser objeto de cruzas para el mejoramiento a todas las enfermedades evaluadas.

Los diferentes testigos evaluados e identificados por el programa ICARDA/CIMMYT de mejoramiento genético, presentaron bajos niveles de infección a roya y BYDV a excepción de Gob89DH que presentó un nivel 5 de BYDV. De los testigos evaluados Gob83DH y Penco/Chevron-Bar presentaron alta resistencia tipo I, mientras que Penco/Chevron-Bar presentó la mejor reacción al tipo II. Al respecto Gilchrist *et al.* (2001) mencionan que genotipos provenientes de cruzas con Atahualpa y Azafrán presentan resistencia a *F. graminearum*, sin embargo en el presente ensayo los niveles de severidad en

ambos tipos de resistencia fueron moderados, no obstante que estos genotipos y Gob89DH presentaron los valores de severidad mas altos entre los testigos evaluados.

En general se observa que los genotipos provenientes de los programas de Brasil, Minnesota y algunos de Canadá presentaron fuertes infecciones de roya, por lo que su uso debe enfocarse a un mejoramiento múltiple a diversas enfermedades, enfoque que ha sido documentado por Bockus *et al.* (2001) y por Vivar (2001), ya que el uso comercial de genotipos en campos de productores dependerá de la adaptabilidad en cada región, así como de su resistencia múltiple a factores bióticos (Vivar *et al.*, 1997), consideración que es importante ya que las variedades mexicanas (Esmeralda y M-16) presentaron niveles intermedios de resistencia a *F. avenaceum* y buena reacción a roya y BYDV por lo que el uso de estas variedades es recomendable en los programas de mejoramiento.

A la fecha no existen reportes de la evaluación de genotipos de cebada a la infección de *F. avenaceum*, por lo que el presente reporte es considerado como punto de partida para posteriores evaluaciones de genotipos hacia esta especie, ya que *F. avenaceum* es el principal patógeno causante de la fusariosis de la espiga de la cebada en los Valles Altos de México (Rmz-Marchand *et al.*, 2003).

Evaluación de resistencia genética a *F. graminearum*

En el cuadro 2 se presentan los resultados de la evaluación de genotipos evaluados para *F. graminearum*, así como la reacción a la infección natural de roya y BYDV. De los 85 genotipos sembrados para la evaluación de resistencia a *F. graminearum* solo fue posible tomar la lectura a 70 genotipos, a las dos variedades mexicanas y a seis testigos. Al igual que en la evaluación de *F. avenaceum* el Cuadro 3 muestra los genotipos descartados.

Cuadro 2. Resultados de la evaluación de genotipos de cebada inoculados artificialmente con *F. graminearum* para la búsqueda de fuentes de resistencia tipo I y II en Atizapán, Edo. de México. 2002.

No.	Hileras	Pedigree	Roya *	BYDV**	Severidad (%)			
					Tipo I		Tipo II	
					Media	Rango	Media	Rango
Brasil								
1	2	CEV 96046	0	0	2.86	0-7.14	6.62	5.56-8.33
2	2	CEV 96048	90	3	12.35	9.09-18.75	16.47	10.71-23.08
3	2	CEV 96059	80	2	4.90	3.13-9.38	10.34	6.67-17.86
4	2	PFC 86125.12	40	2	13.29	7.69-19.23	12.96	8.33-20.83
5	6	PFC 88210	TR	3	4.65	2.38-8.33	-	-
6	2	PFC 9205	40	2	13.52	10.71-17.86	-	-
8	6	Robust	80	3	3.38	2.56-6.25	3.17	1.52-5.56
11	2	Henni	50	3	10.83	7.14-14.29	12.50	6.67-17.06
12	2	Diamalt	TR	1	4.57	0-8.33	-	-
13	2	Gunther	20	2	5.18	3.57-8.33	-	-
14	2	Thuringia	0	1	9.09	3.85-13.64	15.09	11.54-20.83
Minnesota								
15	6	Manker	TR	0	5.28	3.33-6.67	5.59	2.78-6.41
16	6	Larker	90	4	6.02	4.17-8.33	7.26	5.00-10.0
17	6	Morex	90	4	4.72	2.08-7.41	3.82	1.67-5.00
18	6	Robust	90	3	4.81	2.78-6.67	4.32	2.78-6.06
19	6	Excel-Bar	90	3	5.75	4.17-6.94	3.16	1.39-4.55
22	6	M104	80	3	5.78	4.17-8.33	3.43	1.28-5.00
23	6	Zhedar#1/Stander /Foster/3/M84	90	3	4.76	3.03-6.67	6.79	2.78-9.72
24	6	Atah92/2*M81	80	3	3.12	1.39-5.56	5.75	2.78-9.09
25	6	Atah92/2*M81	50	5	5.97	3.70-8.33	4.97	3.03-7.41
26	6	PFC 88209/Lacey	40	4	4.88	2.78-6.41	5.01	3.03-8.33
27	6	PFC 88209/MNbrite	60	4	4.65	1.52-7.41	4.05	1.67-8.33
28	6	Frederikson/ Stander-BAR//M81	70	4	4.53	3.33-5.95	-	-
USDA								
3	2	Chevalier-Bar	30	4	-	-	13.11	6.67-21.43
7	6	Reids Triumph	90	3	2.10	0-4.44	5.22	2.78-9.09
8	2	Golden Pheasant	80	2	-	-	14.79	10.0-21.43
11	6	Vozdvizhenko	90	3	6.32	3.33-11.11	6.67	4.17-9.09
14	2	Honan Wang Ta Mai	60	4	-	-	23.08	13.33-34.62
15	6	Peatland	70	4	3.09	1.19-5.56	-	-
17	6	Rumanian 20	90	3	-	-	4.76	2.99-6.94
20	6	Seed Stocks 1148-1	90	3	7.44	3.03-11.90	7.19	3.85-10.0
22	6	Beta 14	80	2	-	-	4.53	3.33-5.56
24	6	Lion Selection	40	2	-	-	3.36	1.85-6.25
25	6	Chevron Selection	50	3	4.00	1.39-6.67	9.60	3.03-15.00
26	2	Fredrikson	60	4	-	-	17.03	13.33-21.43
28	6	Isogenic	50	5	4.50	2.38-8.33	9.54	3.70-16.67
30	2	MI MAI 114	70	3	4.04	2.78-6.67	16.76	11.54-22.22

Cuadro 2 (continuación). Resultados de la evaluación de genotipos de cebada inoculados artificialmente con *F. graminearum* para la búsqueda de fuentes de resistencia tipo I y II en Atizapán, Edo. de México. 2002.

No.	Hileras	Pedigree	Roya *	BYDV**	Severidad (%)			
					Tipo I		Tipo II	
					Media	Rango	Media	Rango
Valles Altos de México								
33	6	Esmeralda	10	2	3.25	2.08-6.25	4.89	2.08-8.33
34	6	M-16	TR	3	6.10	3.70-8.33	7.26	4.17-10.42
Canada]								
2	2	H93125/Seebe	80	2	2.43	0-6.25	4.64	3.13-7.69
6	2	H93125/Seebe	40	3	1.75	0-6.67	3.92	3.13-7.69
8	2	H93125/Seebe	30	4	3.26	0-6.67	3.87	3.13-6.67
10	2	H93125/Seebe	90	3	2.81	0-7.14	6.80	3.33-11.54
12	2	H93126/Seebe	30	3	6.77	3.33-14.29	5.19	3.13-11.54
13	2	H93126/Seebe	40	4	0.88	0-5.0	4.69	3.33-7.69
14	2	H93126/Seebe	90	2	4.01	0-6.67	5.44	2.78-9.38
16	2	H93126/Seebe	10	3	7.41	3.13-12.5	11.06	3.33-25.00
18	2	H93126/Tr129	90	4	9.88	4.17-13.33	6.39	3.33-10.71
19	2	H93126/Tr129	90	4	13.16	10.0-16.67	7.14	3.33-10.71
20	2	Metcalf	10	3	8.12	3.57-16.67	12.02	6.67-23.08
21	2	H93126/Tr129	40	4	10.08	6.67-12.5	5.50	3.57-8.33
25	2	H95009/97047	0	3	9.18	7.14-11.54	5.53	3.33-7.69
26	2	H95009/97047	20	3	12.03	8.33-15.00	5.56	3.85-9.09
27	2	H95009/97047	TR	2	13.86	11.54-16.67	5.73	4.17-9.09
28	2	H95009/97047	0	2	10.31	5.88-15.38	4.96	3.13-9.38
30	2	H95009/97047	TR	1	11.81	8.33-18.18	5.64	3.33-7.69
31	2	H95009/97047	0	1	10.31	6.67-12.5	9.15	3.13-17.86
33	2	H95009/97047	TR	2	11.50	8.33-15.00	5.61	3.33-8.33
35	2	H93021263x/Shyri	50	1	10.38	6.25-13.36	5.17	3.13-9.38
36	2	H93021263x/Shyri	70	1	3.60	0-7.14	6.11	3.33-10.71
37	2	H93021263x/Shyri	80	2	15.13	10.0-17.86	4.53	3.13-7.14
41	2	H93021263x/Shyri	60	2	11.03	8.33-13.64	6.96	3.57-10.71
42	2	H93021263x/Shyri	20	2	8.30	6.25-10.71	4.84	3.33-7.14
43	2	H93021263x/Shyri	80	2	11.98	8.33-16.67	15.45	7.14-21.43
44	2	H93021263x/Shyri	10	1	7.79	6.25-11.54	4.44	3.33-8.33
45	2	H93021263x/Shyri	10	1	12.60	9.38-16.67	12.80	6.67-17.86
46	2	H93021263x/Shyri	0	1	10.43	7.14-12.50	7.08	3.33-11.54
47	2	H93021263x/Shyri	0	1	9.04	5.88-11.76	9.28	6.25-15.63
48	2	H93021263x/Shyri	80	1	12.86	10.00-18.75	5.02	3.13-7.69
Alberta								
29	2	I92130/TR238	10	5	4.41	0-7.69	5.88	3.13-8.33
30	2	I92130/TR238	TR	6	7.07	3.57-11.54	-	-
31	2	I92130/TR238	20	6	6.94	3.33-11.54	4.23	3.33-7.14

Cuadro 2 (continuación). Resultados de la evaluación de genotipos de cebada inoculados artificialmente con *F. graminearum* para la búsqueda de fuentes de resistencia tipo I y II en Atizapán, Edo.de México. 2002.

No.	Hileras	Pedigree	Roya *	BYDV**	Severidad (%)				
					Tipo I		Tipo II		
						Media	Rango	Media	Rango
Testigos									
1	2	Gob83DH	10	1	1.86	0-7.14	8.90	3.33-23.08	
2	2	Gob89DH	20	2	7.75	3.33-11.54	4.92	3.33-7.69	
3	2	Gob98DH	20	1	6.23	0-15.00	11.74	5.0-22.73	
4	2	Atahualpa 92	TR	1	8.79	3.57-12.5	7.09	3.33-14.29	
5	2	Azafran	0	1	2.84	0-7.14	4.09	3.33-8.33	
6	6	Penco/Chevron-Bar	10	1	0.49	0-1.52	4.71	2.56-8.33	

* evaluación en campo de la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) según lo indicado por Roelfs *et al.* (1992); ** escala de evaluación en campo de BYDV según Bertschinger (1994).

Los resultados de la evaluación de los genotipos provenientes de Brasil muestran una amplia variabilidad en cuanto al tipo de reacción de resistencia. Los genotipos CEV96046 y Robust presentaron los niveles mas bajos de severidad en ambos tipos de resistencia (I y II), por lo que se consideran las mejores fuentes de resistencia en este grupo, sin embargo Robust presentó un alto índice de roya. Al respecto Robust ha sido reportada con manifestación de resistencia a *F. graminearum* (Evans *et al.*, 2000; Gilchrist *et al.*, 2001).

En general los genotipos evaluados del programa de Minnesota presentaron un nivel moderado de resistencia en ambos tipos (I y II) destacando para el tipo I el genotipo Atahualpa 92/2*M81 (No. 24) y para el tipo II los genotipos Morex, M-104 y Robust, este último presentó niveles a la evaluación del mismo genotipo proveniente de Brasil. Así mismo los genotipos de Minnesota presentaron una alta susceptibilidad a la infección natural de roya y BYDV, por lo que se recomienda realizar programas de mejoramiento múltiple (Bockus *et al.*, 2001; Vivar, 2001). La resistencia manifestada por las cruces de Atahualpa ha sido reportada por diversos investigadores (Franckowiak, 2002; Gilchrist *et al.*, 1997; Vivar, 2001).

Las variedades de los Valles Altos de México presentaron un nivel intermedio de resistencia tipo I y II, lo que es positivo desde el punto de vista de la factibilidad de uso en programas de mejoramiento con el objetivo de producir variedades con mayores niveles de resistencia múltiple a enfermedades y adaptación a las condiciones de temporal de los Valles Altos, lo que aunado a la calidad maltera de la variedad Esmeralda conlleva a que esta variedad represente una fuente importante de selección para el mejoramiento genético.

Los genotipos evaluados provenientes del programa de USDA presentaron en general resistencia moderada al tipo I y susceptibilidad al tipo II, de estos resaltan los genotipos Reids Triumph y Peatland para la resistencia tipo I concordando con lo mencionado por Skoglund y Menert (2002), quienes indican que Peatland es utilizada en diversos programas de mejoramiento. Por otra parte en la manifestación de la resistencia tipo II destacan los genotipos Rumanian 20, Beta 14 y Lion Selection, así mismo es importante señalar que genotipos reportados como resistentes como Chevron Selection y Frederickson (Belina *et al.*, 2002; Steffenson y Scholz, 2001) en el presente ensayo manifestaron alta susceptibilidad a la resistencia tipo II, por su parte Seeds Stocks 1148-1 considerada como resistente (Belina *et al.*, 2002; Skoglund y Menert, 2002; Steffenson y Scholz, 2001) en el presente estudio mostró una susceptibilidad intermedia a *F. graminearum*. Genotipos considerados con alta posibilidad de mejoramiento provenientes del programa de USDA como lo son Mammoth Winter entre otros (Skoglund y Menert, 2002) fueron descartados en el presente estudio debido a que presentaron alto daño de roya, de BYDV o bien presentaron escape a la inoculación por su espigamiento tardío (cuadro 3).

Los resultados muestran que en general los genotipos provenientes del programa de Canadá presentaron altos niveles de severidad causada por *F. graminearum*. Se observa que las cruzas con Seebe muestran mayor resistencia tipo I, destacando los genotipos con número de acceso 6 y 8 que también presentan niveles bajos de roya con respecto al resto de cruzas con

Seebe, la resistencia tipo II en estas cruzas (Seebe) presentaron una resistencia moderada. Por otra parte se observan que algunos genotipos de cruzas con Shyri presentan resistencia moderada tipo II, destacando el número de acceso 44, así mismo este genotipo presenta bajos niveles de roya y de BYDV. Al respecto diversos reportes indican que cruzas con Shyri son resistentes a *F. graminearum* (Gilchrist *et al.*, 2001; Vivar *et al.*, 1997). Al respecto Vivar (2001) menciona que estas cruzas presentan resistencia múltiple a enfermedades bajo las condiciones de México, lo que se reflejó en el genotipo 44 (H9302263x/Shyri). Es importante observar que en general los genotipos de Canadá que proveen resistencia a roya y BYDV presentan alta susceptibilidad a *F. graminearum*, sin embargo esta relación no ha sido establecida en la literatura, por lo que su estudio representa una interesante línea de investigación.

Con respecto a la evaluación de los genotipos provenientes del programa de Alberta se observa que en general presentan resistencia moderada en ambos tipos (I y II), así como niveles bajos de roya, sin embargo presentan un fuerte daño de BYDV, por lo que su utilización puede ser enfocada hacia inducción de resistencia a roya.

El genotipo Chevron ha sido reportado con alta resistencia a *F. graminearum* (Gilchrist, 2001; Evans *et al.*, 2000; Skoglund y Menert, 2002), situación que se confirma en el testigo Penco/Chevron-Bar, presentando alta resistencia tipo I y resistencia moderada tipo II, así mismo presenta baja infección de roya y de BYDV por lo que se considera a este testigo como altamente resistente. Así mismo Azafran (Shyri/Gloria/Copal/3/Shyri/Grit) es considerada por Gilchrist *et al.* (2001) como resistente a *F. graminearum* confirmando en el presente estudio un nivel medio de resistencia. Por otra parte Atahualpa ha sido reportado como resistente a *F. graminearum* (Franckowiak, 2002; Gilchrist *et al.*, 1997; Vivar, 2001), sin embargo en el presente estudio Atahualpa 92 presentó alta susceptibilidad a *F. graminearum*, lo que pudo deberse a una evaluación tardía

ya que esta variedad es precoz, por lo que pudo haberse contaminado con organismos saprófitos.

Cuadro 3. Genotipos evaluados para resistencia a la fusariosis que fueron descartados por fuerte daño de enfermedades o escape a la inoculación en Atizapán, Edo. de México, 2002.

No.	Pedigree	Roya*	BYDV**	Escape (tardía)
Canadá				
3	H93125/Seebe	*		
4	H93125/Seebe	*		
7	H93125/Seebe	*		
9	H93125/Seebe	*		
11	H93126/Seebe	*		
22	H93126/TR129	*		
38	H93021263x/Shyri	*		
USDA				
1	Mammoth Winter			*
2	Golden Grain			*
5	Reed Triumph	*	*	
6	California, Bar,	*	*	
9	Stella-Bar	*		
10	Oderbrucker 73	*		
16	Ures-Bar	*		
23	Mizohegyser	*		
27	C115258			*
Minnesota				
20	Royal, Bar	*		
Alberta				
32	Hor1629/Hor 0356		*	

*infección natural de roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*); **infección natural de Virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV)

Análisis general de la expresión de resistencia

En general se observa que varios genotipos que presentan resistencia a la fusariosis son susceptibles a la roya y BYDV, esta situación ha sido también documentada por Urrea *et al.* (1999), por lo que el mejoramiento genético de la cebada debe ser enfocada a la obtención de genotipos con resistencia múltiple a diversas enfermedades (Bockus *et al.*, 2001; Capettini *et al.*, 2001)

La expresión de la resistencia está basada en diferentes factores, de una forma compleja interacciones entre el clima, genotipo y virulencia del aislamiento producen una reacción de resistencia diferente, la severidad en la espiga es el resultado entre estos factores (Gilchrist, 2001); esta consideración es importante ya que la expresión de resistencia en los diferentes genotipos evaluados presentaron variabilidad con respecto a los reportes en la literatura, lo que puede deberse a las variaciones de las condiciones en las que se llevó a cabo el ensayo, condiciones propicias en humedad y temperatura para el desarrollo de la enfermedad. Al respecto Franckowiak (2001) indica que la expresión de la resistencia de los genotipos varía entre localidades en donde se lleva la evaluación.

La producción de micotoxinas por parte del patógeno en relación a cierto genotipo es un aspecto importante de considerar, ya que la virulencia y expresión de resistencia (tipo III y IV) está relacionado con la producción de estos compuestos (Proctor *et al.*, 2002), por lo que el estudio de la relación existente entre ambas especies en la producción de toxinas con relación a la resistencia de los genotipos evaluados deberá ser analizada en estudios posteriores, sin embargo este tipo de investigación requiere de la cooperación de instituciones de investigación, universidades, industria y productores, ya que estos estudios requieren de fuerte financiamiento por los altos costos que representa la detección y cuantificación de toxinas.

Es importante considerar que diversas fuentes de resistencia a la fusariosis están basadas en cebadas de dos hileras, representando esto problemas en el mejoramiento para genotipos de seis hileras (Smith, 2001), lo que representa un punto importante ya que las variedades comerciales en México son de seis hileras (Esmeralda), representando esto un punto interesante para los programas de mejoramiento a la fusariosis dentro de un programa de mejoramiento múltiple enfocado a variedades que sean adaptables a las condiciones de México.

Finalmente la evaluación de la resistencia de genotipos de cebada a *F. avenaceum* y *F. graminearum* es difícil de evaluar bajo inoculaciones en campo, por lo que los aspectos más importantes a considerar son: el origen y agresividad de aislamiento utilizado, la concentración de inóculo, el tipo de inoculación, así como las condiciones ambientales prevalecientes durante la inoculación y durante el período de infección en ambos tipos de resistencia (I y II) entre otros factores.

CONCLUSIONES

Los genotipos que presentan la mayor posibilidad de mejoramiento a *F. avenaceum* fueron Robust y Foster (Brasil), Robust (Minnesota), genotipos con cruzas de Atahualpa 92 (Minnesota), genotipos con cruzas con Seebe (Canadá), Kitchin-Bar, Hietpas 3 y Zander 1 (USDA), Gob83DH y Penco/Chevron-Bar (CIMMYT).

A la fecha son nulos los reportes de la evaluación de genotipos de cebada a la infección de *F. avenaceum*, por lo que el presente reporte es considerado como punto de partida para posteriores evaluaciones de genotipos hacia esta especie, ya que *F. avenaceum* es el principal patógeno causante de la fusariosis de la espiga de la cebada en los Valles Altos de México.

Los genotipos que presentan la mayor posibilidad de ser utilizados en mejoramiento a *F. graminearum* fueron CEV96046 y Robust (Brasil), Atahualpa 92/2*M81, Morex, M-104 y Robust (Minnesota), Reids Triumph, Peatland, Rumanian 20, Beta 14 y Lion Selection (USDA), cruzas con Seebe y H9302263x/Shyri (Canadá), Penco/Chevron-Bar y Azafran (CIMMYT).

Las variedades de los Valles Altos de México presentaron un nivel intermedio de resistencia tipo I y II, lo que es positivo desde el punto de vista de la

factibilidad de uso en programas de mejoramiento con el objetivo de producir variedades con mayores niveles de resistencia múltiple a enfermedades y adaptación a las condiciones de temporal de los Valles Altos, lo que aunado a la calidad maltera de la variedad Esmeralda conlleva a que esta variedad represente una fuente importante de selección para el mejoramiento genético.

En general la evaluación de genotipos para la búsqueda de resistencia a la fusariosis de la espiga de la cebada presenta diferentes factores difíciles de controlar, especialmente la adaptabilidad de los genotipos externos que se ven dañados por enfermedades como la roya, BYDV y enfermedades foliares, por lo que la búsqueda de resistencia genética debe enfocarse en un contexto de mejoramiento múltiple a diversos factores bióticos y abióticos.

LITERATURA CITADA

Bekele, G.T. 1985. Head scab screening methods used in CIMMYT. *In*: R. L. Villarreal, and A. R. Klatt (eds). Wheat for more tropical environments. A proceedings of the International Symposium. CIMMYT. 169-173.

Belina, K.M., W.J. Wingbermuehle, and K.P. Smith. 2002. Genetic diversity of new Fusarium head blight resistant barley sources. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 16.

Bertschinger, L. 1994. New procedure for the effective field screening of cereals for symptomatic tolerance to barley yellow dwarf luteoviruses. *In*: L. Bertschinger (ed). Barley Yellow Dwarf Newsletter15: 14. CIMMYT, México D.F., México.

Bockus, W.W., J.A. Appel, R.L. Bowden, A.K. Fritz, B.S. Gill, T.J. Martin, R.G. Sears, D.L. Seifers, G.L. Brown-Guedira, and M.G. Eversmeyer. 2001. Success stories: breeding for wheat disease resistance in Kansas. *Plant disease* 85: 453-461.

Buschnell, W.R. 2002. Designating types of scab resistance: a discussion. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 200.

Capettini A., H. Vivar, L. Gilchrist, and M. Henry. 2001. Building Up multiple disease resistance in barley. *In*: Reeves, J., A. McNab, and S. Rajaram (eds). Proceedings of the Warren E. Kronstand Symposium. México. D.F.: CIMMYT.

Dill-Macky, R., and R.K. Jones. 1997. The effect of previous crops and tillage on Fusarium head blight of wheat. *Cereal Research Communications* 25:711-712.

Dubin, H. J., and P. Ruckebauer. 1997. Foreword. *In*: Dubin, H.J., L. Gilchrist, J. Reeves, and A. McNab (eds). Fusarium head scab: global status and future prospects. México D.F.; CIMMYT.

Evans, C. K., R. Dill-Macky, Mirocha C.J.. 2000. Biosynthesis of deoxinivalenol in spikelets of barley inoculated with macroconidia of *Fusarium graminearum*. *Plant Disease* 84: 654-660.

Franckowiak, J. D. 2001. Accumulating genes for disease resistance in two-rowed barley for North Dakota. *In*: H.E. Vivar, and A. McNab (eds). Breeding barley in the new millennium: proceedings of an international symposium. México, D.F.: CIMMYT. 39-46 p.

Franckowiak, J.D. 2002. Variety development and uniform nurseries: FHB resistance in barley. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 232-233.

Gilchrist, L. 2001. Perspectives on fusarium head blight resistance in barley. *In*: H.E. Vivar, and A. McNab (eds). Breeding barley in the new millenium: proceedings of an international symposium. México, D.F.: CIMMYT. 61-71 p.

Gilchrist, L., M. Van Ginkel, S. Rajaram, H. Vivar, and F. Capettini. 2001. Germoplasm contribution of the CIMMYT wheat program to the U.S. wheat and barley scab initiative. *In*: Canty S. M., Lewis, J., Siler, L., and R. W. Ward (eds). 2001 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 176-179.

Gilchrist, L., S. Rajaram, A. Mujeeb-Kazi, M. Van Ginkel, H. Vivar, and W. Pfeiffer. 1997. Fusarium scab screening program at CIMMYT. *In*: Dubin, H.J., L. Gilchrist, J. Reeves., and A. McNab (eds). Fusarium head scab: global status and future prospects. México. D.F.: CIMMYT. 7-12.

Gilchrist, S.L.I. 2000. Problemas fitosanitarios de los cereales de grano pequeño en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:132-137.

Ireta, M. J. 2000. Fusariosis de los cereales. *En*: G. Fuentes D. (ed). Fitosanidad de cultivos básicos. Segunda edición. Sociedad Mexicana de Fitopatología. México. 1-15.

McCallum B.D., and A. Tekauz. 2001. Influence of inoculation method and growth stage of Fusarium head blight in barley. *Canadian Journal of Plant Pathology* 24:77-80.

McMullen, M., R. Jones, and D. Gallenberg. 1997. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease*. 81:1340-1348.

Mesterhazy, A. 1997. Methodology of resistance testing and breeding against *Fusarium* head blight in wheat and results of the selection. *Cereal Research Communications* 25:631-637.

Miller, J.D., and P.G. Arnison. 1986. Degradation of deoxinivalenol by suspension cultures of *Fusarium* head blight resistance wheat cultivar Frontana. *Canadian Journal Plant Pathology* 8: 147-150.

Nganje, W.E., D.A. Bangsund, F.L. Lesitritz, W.W. Wilson, and N.M. Tiapo. Estimating the economic impact of a crop disease: the case of *Fusarium* head blight in U.S. wheat and barley. 2002. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National *Fusarium* head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 275-281.

Parry, D.W., P. Jenkinson, and L. McLeod. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals-a review. *Plant Pathology* 44:207-238.

Proctor, R.H., A.E. Desjardins, S.P. McCormick, R.D. Plattner, N.J. Alexander, and D.W. Brown. 2002. Genetic analysis of the role of trichotecene and fumonisin mycotoxins in the virulence of *Fusarium*. *European Journal of Plant Pathology* 108: 691-698.

Rmz-Marchand, C., L. I. Gilchrist, C. Mendoza Z., F. Capettini, y N. Marbam M. 2003. Especies patogénicas, distribución, severidad y toxinas de la fusariosis de la cebada en los Valles Altos de México. (En proceso de publicación).

Roelfs, A. P., R.P. Singh, y E.E. Saari. 1992. Las royas del trigo: conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, D.F. CIMMYT. 81p.

Shroeder, H.W., and J.J. Christensen. 1963. Factors affecting the resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* 53:831-838.

Skoglund, L.G., and J.L. Menert. 2002. Evaluation of the national small grains collection of barley for resistance to fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation. *In*: S.M. Canty, J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2002 National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat and Barley Scab Initiative. USA. 213-215.

Smith K. 2001. Variety development and uniform nurseries: FHB resistance in barley. *In*: Canty S. M., Lewis, J., Siler, L., and R. W. Ward (eds). 2001 National Fusarium Head Blight forum proceedings. U. S. Wheat & Barley Scab Initiative USA. 274.

Steffenson, B. J. 1998. Fusarium head blight of barley: epidemics, impact, and breeding for resistance. *Technical Quarterly* 35: 177-184.

Steffenson, B.J., and U. Scholz. 2001. Evaluation of *Hordeum* for resistance to Fusarium head blight. *In*: Canty S. M., J. Lewis, L. Siler, and R.W. Ward (eds). 2001. National Fusarium head blight forum proceedings. U.S. Wheat & Barley Scab Initiative. USA. 208-211.

Urrea, C.A., Horsley, R.D., Schwartz, P.B., and B.J. Steffenson. 1999. Genetic diversity and characterization of barley genotypes with partial resistance to Fusarium head blight. 16th. American Barley Researcher Workshop. Idaho. Falls.

Vivar, H.E. 2001. Two decades of barley breeding. *In*: H. E. Vivar, and A. McNab (eds). *Breeding barley in the new millenium: proceedings of an International Symposium*. México, D.F.: CIMMYT. 77-82.

Vivar, H.E., L. Gilchrist, P. Hayes, L. Zonghen, L. Seffenson, B. Franco, and M. Henry. 1997. Head Scab resistance barley for malting and food. *Cereal Research Communications* 25: 693-697.

Wang, Y.Z. 1997. Epidemiology and management of wheat scab in China. *In*: Dubin, H.J., L. Gilchrist, J. Reeves, and A. McNab (eds). *Fusarium head scab: global status and future prospects*. México. D.F.: CIMMYT. 97-105.

Wang, Y.Z., and J.D. Miller. 1988. Effects of *Fusarium graminearum* metabolites on wheat tissue in relation to *Fusarium* head blight resistance. *Journal of Phytopathology* 122:119-125.

Wong, L.S.L., A. Tekauz, D. Leisle, D. Abramson, and R.I.H. McKenzie. 1992. Prevalence, distribution and importance of *Fusarium* head blight in wheat in Manitoba. *Canadian Journal of Plant Pathology* 14: 233-238.

LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE LA CEBADA: ESPECIES, DISTRIBUCIÓN, DAÑOS, TOXINAS Y PERSPECTIVAS DE MANEJO EN LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO

CÉSAR RAMÍREZ MARCHAND. MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL. DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO. 56230. CHAPINGO, EDO. DE MÉXICO. MÉXICO.

DISCUSION GENERAL

La fusariosis de la espiga de la cebada se encuentra ampliamente distribuida en los Valles Altos de México, ya que se presentó en el 100% de los sitios de muestreo, por lo que su distribución y severidad a la fecha no está influida por las condiciones topográficas del los Valles Altos de México.

Las pruebas de patología realizadas en campo en el 2001, muestran que las especies causantes de la fusariosis de la espiga de la cebada en los Valles Altos de México fueron: *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. graminearum* Scwabe, *F. tricinctum* (Corda) Sacc, *F. subglutinans* (W&R) Nelson, Toussoun & Marasas, *F. poae* (Peck) Wollenw, *M. nivale* (Fr.) Samuels y Hallett, *F. lateritium* Ness (W&R,G,B,J), *F. heterosporum* Ness (W&R,G,B,J), encontrando que las especies con mayor porcentaje de frecuencia son *F. avenaceum*, *F. graminearum* y *F. tricinctum* respectivamente.

F. equiseti (Corda) Sacc, *F. culmorum* (W.G.Sm.)Sacc, *M. dimerum* (Penz.) v. Arx y *F. sambucinum* Fuckel, son reportadas como patogéncias, sin embargo en el presente en estudio no se realizaron pruebas de patogenicidad para estas especies ya que solamente se les asiló en el 2002.

F. merismoides Corda (W&R,G,B,J) y *F. stilboides* Wollenw. (W&R,G,B,J) no fueron patogénicas, sin embargo la confirmación de la especie deberá ser realizada por los especialistas en el tema en el mundo, ya que la taxonomía de

las especies del género *Fusarium* es sumamente complicada y aún no se definen claramente las relaciones entre especies.

F. avenaceum y *F. graminearum* presentaron una mayor severidad de espiguillas dañadas (9.62% y 8.52% respectivamente), sin embargo, *F. subglutinans* causó un mayor daño en el rendimiento, lo que aunado a su alta capacidad toxigénica, la hace una especie sumamente importante.

La severidad promedio de los dos años de muestreo fue de 5.68%, con un rango de 4.44% a 8.41%, lo que concuerda con una gran cantidad de reportes a través del mundo. El comportamiento de ambos años fue similar en cuanto a porcentajes de severidad y distribución de especies.

Se observó una incidencia del 100% de los sitios muestreados de *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.), así como de *Alternaria* sp. y *Epicoccum* sp., además de otros 8 géneros de hongos saprófitos y parásitos débiles. En los muestreo en campo, se observó que el síntoma en campo de la Fusariosis puede confundirse fácilmente con el daño de *Bipolaris* sp., y *Epicoccum* sp., por lo que deben realizarse patologías para su correcta identificación.

Se detectó la presencia de micotoxinas (deoxinivalenol) en un 87.10% de las muestras, en niveles desde 0.05 a 2.10 ppm. Esto significa que el 16.1% de las muestras presentan niveles superiores a las establecidas por la FDA, así como un 64.5% de las muestras se encuentran encima de los límites establecidos por Anheuser-Bush, Inc., la cervecera mas importante de los Estados Unidos.

No tomar medidas a corto plazo para el control y manejo de la enfermedad, puede representar serios problemas en el rendimiento del grano, así como su rechazo en las exportaciones de malta y cerveza, lo que repercutirá fuertemente en la economía de los agricultores y el impacto social que esto representa.

Los fungicidas triazoles y mancozeb presentaron un mejor efecto en el control de *F. avenaceum*, mientras que los bencimidazoles son mas efectivos para el control de *F. graminearum*. En general se recomienda la utilización de diferentes fungicidas, iniciando con la aplicación preventiva y si es necesario un aplicación de fungicidas sistémicos, considerando parámetros económicos, los cuales no fueron considerados en este estudio, mismos que son claros indicadores de las tácticas que se deben considerar para realizar un manejo integrado de la enfermedad.

Los genotipos que contienen cruzas de Seebe y Atahualpa, se comportaron con resistencias homogéneas a los dos tipos de resistencia y a las dos especies de *Fusarium*. Por su parte los genotipos mexicanos presentaron niveles intermedios de resistencia a ambas especies, lo que es positivo desde un punto de vista de la posibilidad de su uso en programas de mejoramiento, con el objetivo de producir variedades con mayores niveles de resistencia y adaptación a los Valles Altos de México.

Es necesario conocer mas sobre la biología y comportamiento de las especies causantes de la fusariosis, ya que de esto dependerá realizar controles eficientes con fungicidas.

La manifestación de resistencia a la fusariosis de la cebada es complicada ya que existen diversos factores como el tipo de espiga, número de hileras, condiciones ambientales, concentración de inóculo, entre otras.

La búsqueda de resistencia genética debe realizarse en forma individual para cada tipo de resistencia, así como en un contexto de mejoramiento general para varias enfermedades.

LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA DE LA CEBADA: ESPECIES, DISTRIBUCIÓN, DAÑOS, TOXINAS Y PERSPECTIVAS DE MANEJO EN LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO

ANEXOS

Anexo 1. Preparación de cajas petri con PDA

20 grs de PDA comercial (Bioxon®). Se agrega el PDA a 1000 ml de agua destilada y se divide la mezcla en dos matraces Erlenmeyer de 1000 ml, estos se colocan en autoclave por 20 minutos a 15 psi, 120 °C. Una vez concluido el tiempo en la autoclave, se enfría el medio de cultivo a 51 °C en un baño maría, con la finalidad de que el medio se vuelva manejable para el vaciado a las cajas petri. Posteriormente y bajo la campana de flujo laminar, se agrega sulfato de estreptomicina al 0.1% al medio de cultivo antes de vaciar a las cajas de petri, disolviendo y uniformizando el medio. Finalmente se vacía el medio de cultivo a las cajas petri para su posterior uso.

Anexo 2. Preparación de cajas petri con hoja de clavel agar (HCA)

20 grs de agar bacteriológico comercial (Bioxon®). Se agrega el agar a 1000 ml de agua destilada y se divide la mezcla en dos matraces Erlenmeyer de 1000 ml, estos se colocan en autoclave por 20 minutos a 15 psi, 120 °C. Una vez concluido el tiempo en la autoclave, se enfría el medio de cultivo a 51 °C en un baño maría, con la finalidad de que el medio se vuelva manejable para el vaciado a las cajas petri. Posteriormente y bajo la campana de flujo laminar, se agrega sulfato de estreptomicina al 0.1% al medio de cultivo antes de vaciar a las cajas de petri, disolviendo y uniformizando el medio. Se vacía el medio agar-agua a las cajas, antes de que solidifique el medio se agregan trozos de hoja de clavel (aprox. 1 pieza de 5 mm² por 2 ml de agar). La preparación de las hojas

de clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) inicia con el cultivo de plantas de clavel, estas deberán estar libres de cualquier residuo de plaguicidas, las hojas se cosechan y se cortan en pedazos de 5 mm² y son secadas a aire forzado a 70^oC por 3 a 4 horas, las hojas son colocadas en un contenedor de aluminio (5 cm diámetro por 9cm de alto) y se esteriliza con radiación gamma de una fuente de Cobalto 60 (2.5 megarads) (Burgess *et al.*, 1994; Fisher *et al.*, 1982; Nelson *et al.* 1983).

Anexo 3. Realización de pruebas de patologías

Tomar 30 granos con síntomas de la enfermedad por cada sitio de muestreo, cubrirlos con una solución de hipoclorito de sodio al 10%, agregar de dos a tres gotas de Tween 20 y se mantiene por 3 minutos en agitación. Se realiza un triple enjuague con agua destilada estéril y se colocan los granos en papel filtro. Una vez secos los granos, se colocan en espacios uniformes sobre tres capas de papel secante previamente humedecido con agua destilada en cajas transparentes de plástico (blotter), mismas que fueron selladas con parafilm y etiquetadas de acuerdo al número de muestra. Se colocan las cajas en una incubadora a 20^oC durante 24 horas (12 h con luz blanca fría y 12 h de oscuridad cada día). Posteriormente se colocan las cajas en un congelador a una temperatura de -15 ^oC a -20 ^oC durante 24 horas. Finalmente las cajas se incuban nuevamente a 20^oC, durante 12 días mas (12 h luz blanca fría, 12 h oscuridad cada día). El crecimiento de los hongos sobre cada grano se observa al microscopio estereoscópico y microscopio compuesto para la identificación de los mismos.

Anexo 4. Conservación de colonias

Esta técnica tiene la ventaja de evitar transferencias sucesivas y la pérdida de la patogenicidad de las cepas. Los aislamientos de *Fusarium* spp., se

conservaron en papel filtro Whatman No. 1, en donde el aislamiento monoconidial fue transferido a PDA e incubado en una cámara de luz fría por 3 días a temperatura ambiente en períodos de 12 horas de luz blanca fría y 12 horas de oscuridad. Se colocó encima del crecimiento micelial un papel filtro Whatman No. 1 esterilizado, estos fueron colocados nuevamente en la cámara de luz bajo las mismas condiciones, por el período necesario para que el crecimiento de la colonia cubra la parte superior del papel filtro. Se retiró el papel filtro con el crecimiento micelial de la colonia, envolviéndolo por ambas partes con papel secante esterilizado y cubierto con papel aluminio en toda su superficie. Técnica desarrollada por el laboratorio de Fitopatología del CIMMYT.

Anexo 5. Manejo agronómico de los ensayos de patogenicidad, evaluación de severidad de cepas, evaluación de variedades y fungicidas.

Los ensayos se fertilizaron con una mezcla de dosis 150-46-60. Se realizó el control de plagas con carbofurán (Furadán 5 G Ultra) granulado, en dosis de 20 Kg de producto comercial por ha al momento de la siembra. Se aplicó Folimat (ometoato a dosis de 1.0 lt de producto comercial /ha) para el control de pulgones en época de amacollamiento. Se controlaron las malezas de hoja ancha y ciperáceas con la utilización de la mezcla de herbicidas Sempra (halosulfuron metilo a 100 g producto comercial /ha)+ Brominal 240 CE (bromoxinil a dosis de 1.0 L de producto comercial /ha). Se controlaron segundas generaciones de hoja ancha y papa silvestre con Starane 2M (fluroxipir a dosis de 750 ml de producto comercial /ha). El control de hoja angosta fue realizado de forma manual. El riego artificial no fue necesario.

Anexo 6. Preparación de medio “mungo bean” (Bekele, 1985)

20 grs de frijol chino (*Vigna radiata*). Se agrega el frijol chino a 1000 ml de agua destilada y se hierven durante 20 minutos. Se filtra la suspensión a través

de gasas, se vacía la solución a matraces Erlenmeyer de 500 ml, de preferencia 150 ml de solución por matraz. Los matraces se esterilizan en autoclave por 20 minutos a 15 psi, 120°C. Al finalizar la esterilización, los matraces se dejan enfriar a temperatura ambiente, una vez fríos, se conservan a refrigeración (4°C), hasta su utilización. De cada cepa se tomaron tres rodajas de 1 cm de diámetro cada una con crecimiento micelial, se adicionaron estas a un matraz con 150 ml de medio Mungo bean se mantuvieron en agitación constante durante 5 días en condiciones normales de laboratorio. Transcurrido el período se transfirió un mililitro del medio de cultivo a un tubo de ensaye con 9 ml de agua destilada estéril, la mezcla fue homogeneizada y se contabilizó el número de conidios por mililitro mediante la utilización de un hematocitómetro (Hausser™) para ajustar y obtener una concentración final de 50,000 conidios por mililitro. La cantidad de solución final para cada cepa dependió de la superficie a inocular. Una vez preparadas las soluciones se mantuvieron en refrigeración por un máximo de 24 horas, período en el cual se realizó la inoculación.

Anexo 7. Protocolo para la extracción y cuantificación de toxinas (Deoxinivalenol y Nivalenol). Técnica de Romer Labs, Inc., DON Fluoroquant™, Método # FQD1NC, Versión 95.9

Extracción. Pesar 20 gramos de la muestra previamente molida. Limpiar la espátula entre muestras con acetona. Agregar 80 ml de solución de acetronilo-agua (86/14). Tapar cada matraz (250 ml) con papel aluminio. Agitar durante una hora a 150 rpm. Filtrar a través de papel filtro Whatman 2V. Limpiar el material con una solución de cloro al 10%.

Purificación. Sacar del congelador los calibradores y el control para que estén a temperatura ambiente al momento de ser utilizados. Colocar 4 ml del extracto en un tubo de 15 x 85. Pasar la columna Mycosep # 225 iniciando en la parte

superior del tubo, deslizar la columna lentamente hasta alcanzar la base del tubo. Con una pipeta Pasteur tomar el filtrado y colocarlo en otro tubo de 15 x 85. Pipetear 1.5 ml del filtrado y colocarlo en otro tubo de 12 x 75 (cuvete).

Calibradores y control. Agitar con movimientos circulares cada uno de los frascos para mezclarse perfectamente. Transferir 1.5 ml del calibrador LOW (color verde) a un tubo de 12 x 75 mm. Transferir 1.5 ml del calibrador HIGH (color rojo) a un tubo de 12 x 75 mm. Transferir 1.5 ml del CONTROL (color amarillo) a un tubo de 12 x 75 mm. Tapar bien el sobrante de las soluciones y guardarlas en el congelador. Proseguir el protocolo tratando las muestras, los calibradores y el control exactamente igual.

Evaporación. Colocar las muestras (incluyendo los calibradores y el control) en una plancha calibrada a 70⁰C. Tapar los tubos con los tapones del evaporador múltiple conectado a una bomba de vacío. Secar durante 30 minutos. Cerrar las llaves que no se utilicen.

Derivación. Adicionar 1.5 ml del "reactivo A" a cada tubo, incluyendo los calibradores y el control. Tener cuidado al colocar el reactivo para que deslice por la pared del tubo y no salpique hacia fuera. Colocar 50 µl del "reactivo B" a cada tubo, incluyendo los calibradores y el control. Adicionar el reactivo lentamente, sin tocar la paredes del tubo. Tapar cada tubo y agitar durante 10 segundos. Poner los tubos en la plancha a 50⁰C durante 10 minutos. Enfriar los tubos sumergiéndolos en agua por 30 segundos. Secar los tubos completamente con papel. No tocar la base del tubo y revisar que este no se encuentre roto antes de colocarlo en el fluorómetro.

