



**RESISTENCIA DE VARIOS GENOTIPOS DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) A *Fusarium graminearum* Schwabe CULTIVADOS EN CHIAPAS, MEXICO.**

**[RESISTANCE OF SEVERAL WHEAT (*Triticum aestivum* L.) GENOTYPES TO *Fusarium graminearum* Schwabe CULTIVATED IN CHIAPAS, MEXICO]**

**Carolina Orantes-García<sup>1</sup>, Eduardo R. Garrido-Ramírez<sup>2\*</sup>, Néstor Espinosa-Paz<sup>2</sup>, Ricardo Quiroga-Madrigal<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente s/n, Col. Lajas Maciel, CP. 29014, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; <sup>2</sup>Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP, km 3 carretera Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla 29140 Chiapas, México; <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Chiapas, Campus V Ciencias agronómicas, Villaflores, Chiapas.

\*Email: egarrido\_ramirez@hotmail.com

\*Corresponding author

**RESUMEN**

Se evaluaron nueve genotipos de trigo para determinar su adaptación, rendimiento y resistencia a *Fusarium graminearum*, así como la contaminación del grano por las micotoxinas asociadas a este hongo. Se establecieron dos experimentos en campo durante el ciclo 2001-2002, el primero bajo condiciones de humedad residual en Ocozocoautla y el segundo bajo riego en Jiquipilas. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, en bloques completos al azar con seis repeticiones. En las parcelas grandes se evaluó el efecto de dos tratamientos de inoculación (inoculación en espigamiento e inoculación en grano lechoso) y en las chicas se evaluó el efecto de seis genotipos de trigo. Para el rendimiento de grano se observaron diferencias significativas entre localidades, entre los genotipos evaluados y en la interacción genotipo por localidad; no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos de inoculación. Los mejores rendimientos se obtuvieron en Jiquipilas, destacando el genotipo Rebeca F-2000 en esta localidad y el genotipo L-87 para Ocozocoautla. Respecto a la infección de *Fusarium graminearum*, se observaron diferencias significativas entre localidades y entre genotipos, siendo Rebeca F-2000 el genotipo que presentó mayor tolerancia a la enfermedad. La contaminación por micotoxinas no fue significativa en ambos experimentos.

**Palabras clave:** Roña de la espiga; micotoxinas; inoculación artificial; epidemiología.

**INTRODUCCIÓN**

El trigo es uno de los alimentos más antiguos de la humanidad, económicamente es la especie cultivada más importante en todo el mundo, con China, Estados Unidos, India y Rusia como los principales

**SUMMARY**

Nine wheat genotypes were evaluated to determine its adaptation, yield and resistance to *Fusarium graminearum*, as well as grain contamination with mycotoxins associated to this fungus. Two field experiments were established during 2001-2002 crop season, the first one under residual humidity at Ocozocoautla, and the second one under irrigation at Jiquipilas, both experiments were carried out under artificial inoculation. A Split plot design with a randomized complete block experimental design was used; in the main plot the effect of inoculation treatments (inoculation at heading and inoculation at milky grain stage) was evaluated; in the subplot the effect of six wheat genotypes was evaluated. Statistical differences were observed for grain yield between locations, genotypes and for the location-genotype interaction. No statistical differences were observed for inoculation treatments. The highest grain yield was obtained at Jiquipilas, with Rebeca F-2000; whereas in Ocozocoautla the best genotype was L-87. Regarding infection by *Fusarium graminearum*, there were significant differences between locations and between genotypes; Rebeca F-2000 was the most tolerant genotype to the disease. Mycotoxin contamination was not significant in both experiments.

**Keywords:** Scab; mycotoxins; artificial inoculation; epidemiology.

productores (Ireta, 1986; FAO, 2007). En México se siembran anualmente alrededor de 700,000 ha, los principales estados productores son: Sonora, Baja California, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Tlaxcala, Sinaloa, Hidalgo y Puebla (SIAP, 2008; Villaseñor y Espitia, 2000). En Chiapas se establecieron los

primeros ensayos en 1972, en el Municipio de Teopisca, sobresaliendo las variedades Lerma Rojo S-64 e INIA F-66. Estudios posteriores determinaron que este cultivo es técnica y económicamente viable en la Meseta Comiteca, donde se estimó una superficie potencial de 30,000 ha (Espinosa, 1999).

Entre los factores que limitan su producción a nivel mundial se encuentran las enfermedades foliares y del grano, las cuales son muy variables, pues dependen de factores como susceptibilidad de las variedades cultivadas, estado de desarrollo de las plantas, temperatura, humedad ambiental y prácticas culturales, (FAO, 1997; Wiese, 1987). En Chiapas, aún cuando no se dispone de datos precisos, estudios exploratorios han manifestado que los problemas más importante para la producción de trigo son las enfermedades como roya de la hoja y del tallo (*Puccinia triticina* Eriks., *Puccinia graminis* Pers.; Pers), tizón foliar (*Helminthosporium sativum* Pamm., King y Bakke) y roña de la espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe) (Espinosa, 1999)

Entre estas enfermedades, la roña de la espiga causada por *Fusarium graminearum* (teleomorfo *Gibberella zae* (Schwein.) Petch) está reemergiendo como una de las principales enfermedades del trigo a nivel mundial, afecta todas las clases de trigo (suaves, duros, cristalinos) y otros granos pequeños (triticale, cebada, avena) (McMullen *et al.*, 1997; Stack, 2000). La roña de la espiga provoca que los granos puedan quedar deshidratados y bajos de peso, además de tomar una coloración blanquecina, lo que reduce el rendimiento, la calidad y el valor alimenticio del grano (Zillinsky, 1984; Prescott *et al.*, 1986). Además del daño directo a la planta, los aislamientos de *Fusarium graminearum* pueden producir metabolitos secundarios como las zearalenonas, nivalenol y deoxinivalenol y fumonisinas, que al ser ingeridas por humanos y animales en alimentos contaminados, les provocan efectos tóxicos (Drepper y Renfro, 1990; Marasas *et al.*, 1984; Moreno y Gil, 1991; Wilson, 1999). La Comisión del Codex Alimentarius estudia los límites máximos para las aflatoxinas ya que son una amenaza para la salud humana por lo que deben vigilarse y controlar sus niveles, la Asociación Americana de Laboratorios de Diagnóstico Veterinario ha establecido niveles de advertencia para caballos, cerdos, bovinos de engorda y avicultura. La FDA (Food and Drug Administration) de los Estados Unidos está haciendo estudios para determinar los niveles seguros de fumonisina en el consumo humano (FAO, 1999; Mabbett, 1999; Moreno *et al.*, 2000; Wilson, 1999). Entre las principales estrategias que se han propuesto para el manejo de la roña de la espiga se encuentran el uso de genotipos resistentes (Bai y Shaner, 1994; Groth *et al.*, 1999; Meidaner, 1997; Mesterhazy, 1995; Muthomi *et al.*, 2007); la aplicación de agentes biológicos para su control (Parry

*et al.*, 1995; Riungu *et al.*, 2008), así como mejoras de las técnicas de cultivo, principalmente el manejo de los residuos de la cosecha y la rotación de cultivo (Parry *et al.*, 1995; Pereyra *et al.*, 2004). Ante esta situación, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la resistencia de diversos genotipos de trigo (*Triticum aestivum*) a la infección de *Fusarium graminearum*, bajo condiciones de campo e inoculación artificial.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de muestras de plantas de trigo

Se realizaron muestreos de espigas de trigo dañadas por roña en módulos establecidos en el ciclo agrícola 2000/20001 en la Región de la Meseta Comiteca, Chiapas, por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El tamaño de muestra fue de 30 a 40 espigas con síntomas de la enfermedad, colectadas durante el estado de grano lechoso a madurez fisiológica. Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Fitopatología del Campo Experimental Centro de Chiapas (CECECH), en Ocozocoautla, Chiapas.

### Determinación de especies de *Fusarium*

De las muestras colectadas se seleccionaron 11 genotipos, seis de la localidad de Comitán (Gálvez M-87, Romoga F-96, ROM/PARUS, TRE//TAM200/TRACO, GUI//PRINIA y Temporalera M-87) y cinco de La Trinitaria (NING-8745, JUN/MAYA, AUS-6869, YUMAI 5//MUNIA y Batán F-96); se tomaron 25 espigas de cada genotipo y localidad, posteriormente se cosechó el grano, se homogenizó y se tomaron al azar 50 semillas de cada variedad y se realizaron las pruebas con papel secante y en placa de agar para identificar las especies de *Fusarium* causante de la roña de la espiga en trigo, de acuerdo al manual de laboratorio del CIMMYT (Warham *et al.*, 1998). Las técnicas de montaje fueron de acuerdo a López-Aceves (1984), y para la identificación se observaron al microscopio las características taxonómicas importantes, de acuerdo a Nelson *et al.* (1983) y Leslie y Summerell (2006).

### Aislamientos monospóricos del hongo

Una vez identificada la especie *Fusarium graminearum*, se obtuvieron cultivos monospóricos mediante la técnica de diluciones, en cajas Petri con PDA. Los cultivos monospóricos identificados se transfirieron a tubos con PDA en plano inclinado y tapados con algodón y parafilm, se incubaron por 8 días, después de lo cual se les agregó aceite mineral esterilizado, para su conservación a 4°C.

## Preparación de suspensiones de conidios

La suspensión de conidios para la inoculación artificial en campo se preparó a partir de los cultivos monospóricos obtenidos crecidos en grano de trigo, para lo cual se usaron matraces Erlenmeyer de 100 ml de capacidad con 25 g de trigo, esterilizados a 15 libras de presión durante 30 minutos; una vez enfriados se inocularon con rodajas de cultivos monospóricos de una semana de crecimiento en PDA y se incubaron por 10 días en condiciones de laboratorio; al cabo de este período se agregó 10 ml de agua destilada esterilizada, se agitó brevemente y se obtuvo la suspensión de conidios. La concentración de inóculo se determinó con un hematocítmetro, de acuerdo a French y Hebert (1980), utilizando suspensiones con una concentración de 250,000 conidios\*ml<sup>-1</sup>. La técnica de aplicación fue la propuesta por Stubbs *et al.* (1986) y Eyal *et al.* (1987).

Ubicación de los experimentos. Se establecieron dos experimentos de campo durante el ciclo otoño-invierno 2001/2002. Uno en el municipio de Jiquipilas, a 500 msnm, bajo riego, sembrándose el 12 de octubre de 2001 y el otro en el municipio de Ocozocoautla, a 820 msnm, bajo condiciones de humedad residual, aunque fue necesario la aplicación de un riego de auxilio por las condiciones críticas de precipitación pluvial; la siembra se realizó el 13 de octubre de 2001.

## Diseño de Tratamientos

Los tratamientos se ordenaron de acuerdo a un diseño factorial en donde el factor A estuvo formado por las inoculaciones, con 250,000 conidios\*ml<sup>-1</sup>, realizadas a tres niveles: 1) Testigo (parcelas sin inoculación artificial), 2) Inoculación en etapa de espigamiento y, 3) Inoculación en etapa de grano lechoso. El factor B correspondió a los genotipos Temporalera M-87, Batán F-96, Juchi F-2000, Rebeca F-2000, Tlaxcala F-2000 y Náhuatl F-2000, para la localidad de Jiquipilas y L-86, Rebeca F-2000, L-87, Tlaxcala F-2000, L-32 y Náhuatl F-2000, para la localidad de Ocozocoautla.

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, distribuidas en bloques completos al azar, con seis repeticiones, correspondiendo a las parcelas grandes las inoculaciones y a las parcelas chicas los genotipos de trigo. La parcela grande estuvo formada por 36 surcos de 5 m de largo y la parcela chica por seis surcos de 5 m de largo; el espaciado entre surcos fue de 0.35 m de ancho, considerándose como parcela útil los tres surcos centrales de la parcela chica. La siembra se realizó manualmente, “a chorrillo”; la cosecha se realizó durante el mes de enero de 2002, según el ciclo de cada variedad.

## Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: Porcentaje de espigas dañadas por *Fusarium graminearum*, tomados días después de las inoculaciones (DDI); altura de la planta (cm), longitud de la espiga (cm), porcentajes de espiguillas por espiga, de granos por espiguilla y de granos por espiga; porcentaje de infección final (y), área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) y tasa de infección aparente (r); rendimiento de grano en kg.ha<sup>-1</sup>, cuantificación de micotoxinas (fumonisinas totales y zearalenona) mediante la técnica de Inmunoensayo Enzimático (ELISA) competitivo (Ridascreen® Fast de Lesca S.A. de C.V.) y un espectrofotómetro para placas (BIOTEK EL 301). La cuantificación de micotoxinas se realizó con el programa RIDASOFT WIN.

## Análisis estadísticos

Los datos colectados se sometieron a análisis de varianza (ANDEVA), comparación de medias con la prueba de rango múltiple de Tukey (p≤0.05) y análisis de correlación lineal simple entre variables significativas (p≤0.05), con el programa estadístico MSTATC.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Identificación de *Fusarium graminearum* presente en el grano de trigo

Se obtuvieron 20 aislamientos de *Fusarium graminearum*, en los cuales se observaron que las colonias del hongo produjeron cinco tipos de pigmentaciones, siendo los más frecuentes: el rosa intenso, rosa bajo y rojo carmín. Esta variación de color es típica de esta especie, sobre todo cuando se cultivan en un medio rico en carbohidratos, como el PDA (Moreno, 1988; Romero, 1988). Según Nelson *et al.* (1983), la tonalidad o intensidad de la coloración varía de acuerdo a la edad de la colonia, de la intensidad de luz y temperatura (Figura 1).

De acuerdo a las observaciones al microscopio compuesto y a las comparaciones con claves, así como al desarrollo en medios de cultivo, *Fusarium graminearum* no presenta microconidios, pero presenta macroconidios hialinos, ligeramente curvos (en forma de canoa), con 3 a 7 septos; también se observaron clamidosporas hialinas de forma esférica (Figura 2). Según Warham *et al.* (1998) los macroconidios son más largos y proporcionalmente más estrechos que los de *Fusarium culmorum*. En algunas colonias de *Fusarium graminearum*, no se producen de inmediato conidios y la identificación durante las pruebas de sanidad depende del reconocimiento de las colonias, que crecen con extrema rapidez. Las colonias pueden asemejarse a las

de *Fusarium culmorum* y *Fusarium crookwellense*, pero las de estos últimos hongos se vuelven intensamente pigmentadas con mucha rapidez y normalmente muestran una generosa esporulación. La distinción se hace más evidente a medida que envejecen las colonias. La formación ocasional de peritecios ayuda a distinguir a *Fusarium graminearum* de las especies *Fusarium culmorum* y *Fusarium crookwellense*.



Figura 1. Colonias de *Fusarium graminearum* en semilla de trigo (prueba de papel secante).

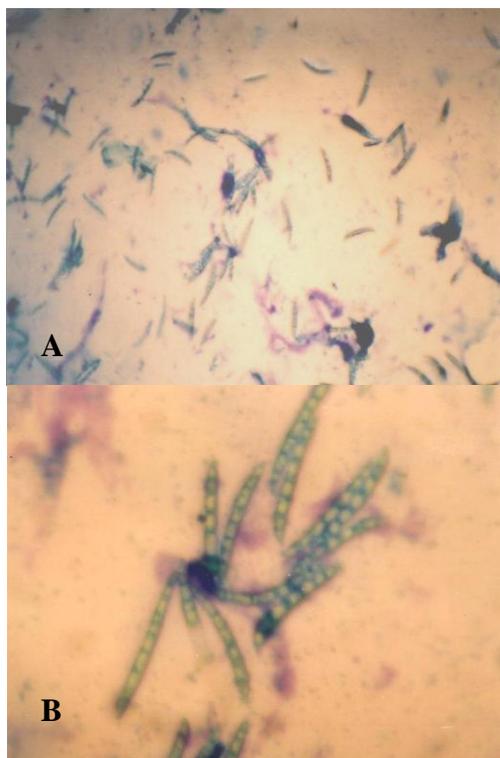


Figura 2. Conidios de *Fusarium graminearum* (A. 10X; B. 40X).

### Aislamientos monospóricos del hongo

Se obtuvieron ocho cultivos monospóricos de *Fusarium graminearum*, cinco del municipio de La Trinitaria y tres de Comitán, de los cuales solamente se utilizaron los aislamientos de La Trinitaria, ya que en la multiplicación del hongo, las muestras de Comitán no presentaron macroconidios, lo cual puede deberse al cultivo sucesivo de estos aislamientos en medio artificial, ya que se ha observado que cuando este hongo se cultiva artificialmente en forma sucesiva, puede sufrir cambios que alteran su forma y fisiología (Nelson *et al.* 1983). En los cultivos monospóricos, las colonias tienden a conservar estables sus características, porque cada una de ellas se origina de una espora que representa un genotipo individual y así se asegura la pureza inicial de la especie (López-Aceves, 1984).

### Rendimiento del grano, cuantificación de micotoxinas y porcentaje de plantas infectadas de trigo (*Triticum aestivum*), en Jiquipilas, Chiapas.

Para las variables rendimiento de grano por hectárea, altura de planta, longitud de la espiga y porcentaje de grano dañado no existió diferencia significativa entre parcelas grandes, es decir, la inoculación de *Fusarium* no tuvo un efecto estadístico significativo en estas variables. Para las variables concentración de fumonisina y concentración de zearalenona la diferencia estadística fue altamente significativa. Asimismo, se observó diferencia altamente significativa por efecto de parcela chica (variedades) para todas las variables evaluadas. En la interacción parcela grande por parcela chica no fue significativa en el rendimiento, longitud de la espiga ni porcentaje de grano dañado, pero si fue significativa para altura de planta y concentración de fumonisina y zearalenona.

En el Cuadro 1 se presentan los datos promedio de los genotipos evaluados en Jiquipilas; se observa que el rendimiento varió desde 655 kg.ha<sup>-1</sup> con la variedad Náhuatl, hasta 1510 kg.ha<sup>-1</sup> con la variedad Rebeca, la cual sobresale por su rendimiento junto con la variedad Batán. Es importante señalar además que la variedad Rebeca tuvo menor porcentaje de grano dañado, así como una menor concentración de fumonisinas y zearalenona. Caso contrario fue la variedad Náhuatl, la cual tuvo menor rendimiento, así como mayor porcentaje de grano dañado y mayor concentración de fumonisinas.

Cuadro 1. Rendimiento de grano, altura de planta, longitud de espiga, porcentaje de grano dañado y concentración de micotoxinas en seis genotipos de trigo en Jiquipilas, Chiapas.

Genotipo	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	Altura de planta (cm)	Longitud de espiga (cm)	% grano dañado	Fumonisin (ppm)	Zearalenona (ppb)
Rebeca	1510 a	51 a	7.0 ab	2.0 b	0.16 b	26.3 c
Batan	1212 ab	45 ab	7.2 ab	3.0 ab	0.22 ab	48.2 abc
Temporalera	900 b	49 a	8.0 a	3.0 ab	0.17 b	45.0 abc
Juchi	750 b	44 ab	6.0 b	2.4 ab	0.30 a	66.0 ab
Tlaxcala	735 b	44 ab	7.0 ab	2.2 ab	0.20 b	75.0 a
Náhuatl	655 b	40 b	6.0 b	4.0 a	0.30 a	36.0 bc
C.V. (%)	7	10	14	10	17	18
DSH	574	7.5	2	2	0.1	33

Medias con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); C.V. = Coeficiente de variación; DSH = Diferencia Significativa Honesta.

El análisis de correlación entre porcentaje de grano dañado y rendimiento mostró una correlación negativa estadísticamente significativa, lo que significa de que a mayor porcentaje de grano dañado menor rendimiento de trigo. En los análisis de correlación entre la concentración de fumonisina y el porcentaje de grano dañado se observó una correlación positiva estadísticamente significativa, lo que significa que a mayor proporción de grano dañado, la concentración de fumonisina (ppm) también es mayor. En lo que respecta a la correlación entre la concentración de zearalenona (ppb) y porcentaje de grano dañado, no fue estadísticamente significativa.

Respecto a la concentración de zearalenona y fumonisina en los genotipos y tratamientos de inoculación evaluados, existió una variabilidad en la respuesta a la inoculación según la variedad y el tratamiento. Estudios preliminares en la región reportan diferencias en la concentración de micotoxinas según la variedad en estudio (Espinosa *et al.*, 2003; Orantes *et al.*, 2001). Los análisis de varianza indican que hay una interacción entre fuentes de variación en ambas micotoxinas evaluadas.

Para el caso de la zearalenona, la concentración detectada fue diferente según la variedad y el tratamiento de inoculación, las cuales se pueden agrupar en tres tipos de respuestas.

Las variedades Rebeca, Náhuatl y Tlaxcala mostraron una tendencia similar, es decir, menor concentración en el testigo sin inocular y mayor concentración con los tratamientos con inoculación, siendo mayor cuando la inoculación se realizó en estado de grano lechoso.

Las variedades Batán y Juchi tuvieron una respuesta similar en el sentido de que la mayor concentración de zearalenona se observó cuando la inoculación se realizó en la etapa de espigamiento, lo cual sería lo esperado dado que se tiene un mayor período de

infección de la planta. Finalmente, la variedad Temporalera presentó una reacción intermedia, ya que si bien la mayor concentración de zearalenona se detectó cuando la inoculación se realizó en la etapa de grano lechoso (como en el primer grupo), la menor concentración se observó cuando se inoculó durante el espigamiento, aún menor que en el testigo sin inocular, lo cual puede ser un indicativo de la infección natural, la cual aún cuando se trató de evitar con aplicación de fungicida, es difícil de evitar, ya que *Fusarium* es un patógeno muy común.

En el caso de fumonisina también se observaron diferencias según la variedad y el tratamiento de inoculación; y se pueden agrupar en tres tipos de respuestas según la concentración.

Las variedades Rebeca, Náhuatl y Juchi presentaron una tendencia similar, con menor concentración en el testigo sin inocular y mayor concentración con los tratamientos de inoculación, siendo mayor cuando la inoculación se realizó en estado de grano lechoso; lo que podría indicar que estas variedades son más susceptibles en esta etapa. Las variedades Temporalera y Batán tuvieron una respuesta similar, con una disminución en la concentración de fumonisina cuando la inoculación se realizó en la etapa de espigamiento, aumentando la concentración en la etapa de grano lechoso. Por último la variedad Tlaxcala, a diferencia del grupo anterior, presentó la menor concentración de fumonisina cuando la inoculación se realizó en la etapa de grano lechoso, observándose que tanto el testigo como la inoculación en grano lechoso mantuvieron la misma concentración, lo cual puede ser un indicativo de la infección natural.

En la Figura 3 se presenta el desarrollo de la enfermedad en las variedades evaluadas, según el tratamiento de inoculación. La enfermedad se presentó primero en el tratamiento de inoculación en espigamiento, como se esperaba, alcanzando mayores

niveles de incidencia de la enfermedad. En los tratamientos testigo e inoculación en grano lechoso, la enfermedad se presentó hasta los 20 DDI, con niveles de enfermedad menores. En general, el desarrollo de la enfermedad fue menor en la variedad Rebeca y mayor en las variedades Tlaxcala y Náhuatl en los tres tratamientos de inoculación. Es importante señalar que

el testigo no debería mostrar ningún síntoma de la enfermedad puesto que no fue inoculado y además se tomaron medidas preventivas como la aplicación de un fungicida, para mantenerlo libre del patógeno, sin embargo, presentó ciertos grados de infección debido a que en condiciones de campo, es difícil asegurar los niveles de infección deseados (Ireta, 1986).

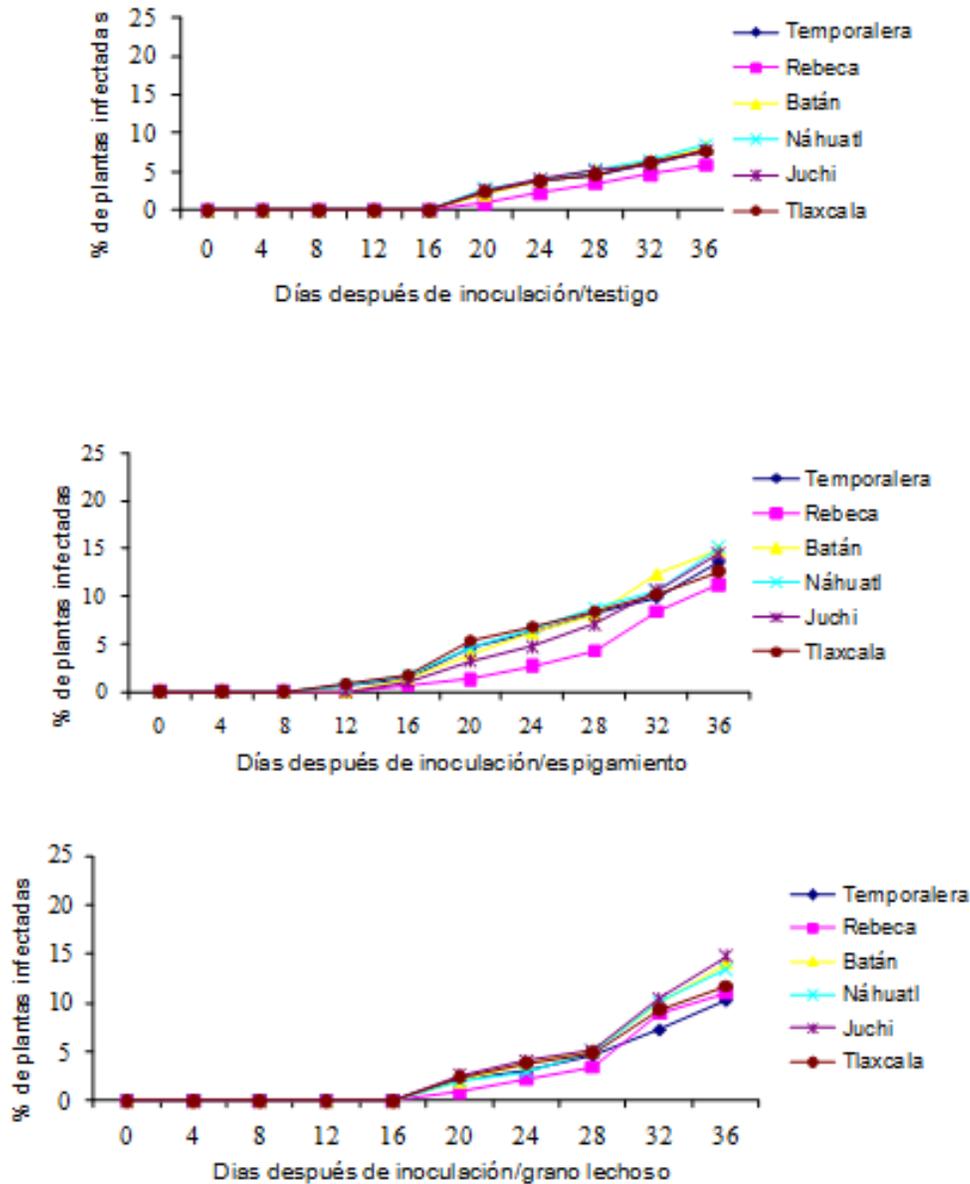


Figura 3. Porcentaje de plantas infectadas en Jiquipilas, Chiapas según tratamiento de inoculación

En el Cuadro 2 se presenta el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), el porcentaje de infección final (y) y la tasa de infección aparente (r), para cada combinación de tratamientos en la localidad de Jiquipilas. En general, se observó mayor porcentaje de infección final (y) y mayor tasa de infección (r) en

los tratamientos inoculados (en espigamiento o en grano lechoso) que en el testigo. En el caso del ABCPE, en algunas variedades se tuvo mayor ABCPE cuando se inoculó en espigamiento, seguido del testigo y de la inoculación en grano lechoso. Una explicación a este resultado es que aún cuando se tiene mayor

infección en grano lechoso, esta comenzó más tarde y por consiguiente el área afectada fue menor, o bien que éstas variedades con menor ABCPE, en el caso de la inoculación en grano lechoso presenten resistencia de planta adulta. Aún cuando los niveles de infección fueron bajos, se pueden notar diferencias en la resistencia o susceptibilidad de las variedades, destacando la variedad Rebeca, por su bajo porcentaje de infección final, menor ABCPE y menor r. Aún cuando hay una interacción entre variedades y tratamientos de inoculación, se observó la tendencia de que las variedades Náhuatl y Batán fueron las más susceptibles, expresado en su mayor porcentaje de infección final, mayor ABCPE y mayor r. Un caso importante en particular fue la variedad Juchi, la cual se comportó como la más susceptible cuando se inoculó en grano lechoso.

### Rendimiento del grano, cuantificación de micotoxinas y porcentaje de plantas infectadas de trigo (*Triticum aestivum*), en Ocozocoautla, Chiapas

Para el efecto de parcela grande (inoculación) no se observó diferencia estadística significativa para las variables rendimiento, altura de planta y longitud de espiga, pero si hubo diferencia altamente significativa en el porcentaje de grano podrido. Entre parcelas chicas (genotipo) si se detectó diferencia estadística significativa para todas las variables evaluadas. La interacción parcela grande por parcela chica no fue estadísticamente significativa en ninguna de las variables evaluadas, por lo que se considera que las diferencias observadas son debido a efecto de los genotipos. Estos efectos de parcela chica se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 2. Porcentaje de infección final, área bajo la curva del progreso de la enfermedad y tasa de infección aparente del experimento en Jiquipilas, Chiapas

Genotipo	TESTIGO			Inoculación en espigamiento			Inoculación en grano lechoso					
	y	ABCPE	r	y	ABCPE	r	y	ABCPE	r			
Temporalera	0.08	18.24	de	.004	0.14	25.14	ab	.005	0.10	14.66	hi	.005
Rebeca	0.06	12.93	i	.003	0.11	15.14	gh	.004	0.11	15.34	fg	.005
Batán	0.08	19.12	cd	.004	0.15	26.62	ab	.006	0.14	19.97	cd	.008
Náhuatl	0.09	20.53	cd	.004	0.15	26.88	a	.005	0.13	17.98	de	.007
Juchi	0.08	18.89	cd	.004	0.14	22.67	bc	.006	0.15	21.05	cd	.008
Tlaxcala	0.08	17.87	de	.004	0.13	27.08	a	.004	0.12	16.55	ef	.006

Medias con la misma letra en genotipos y columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); y = porcentaje de infección final; ABCPE = área bajo la curva del progreso de la enfermedad; r = tasa de infección aparente.

Cuadro 3. Rendimiento de grano, altura de planta, longitud de espiga, porcentaje de grano dañado y concentración de micotoxinas en seis genotipos de trigo en Ocozocoautla, Chiapas.

Genotipo	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	Altura planta (cm)	Longitud de espiga (cm)	% grano dañado	Fumonisinias (ppm)	Zearalenonas (ppb)
L-87	1021 a	52 N.S.	7.1 a	1.5 a	0.25 N.S.	8.45 ab
L-86	970 ab	48	7.0 ab	1.5 a	0.25	4.3 c
L-32	814 ab	47	5.1 c	1.3 ab	0.25	7.65 abc
Rebeca	710 bc	50	6.0 bc	1.4 a	0.27	10.36 a
Náhuatl	670 bc	46	5.2 c	1.1 ab	0.25	7.4 abc
Tlaxcala	472 c	46	5.2 c	1.0 b	0.30	7.78 abc
C.V. (%)	18	16	18	29	15	19
DSH	298	-	1.1	0.5	-	3

Medias con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); N.S. = No significativo; C.V.= Coeficiente de variación; DSH = Diferencia Significativa Honesta.

El análisis de correlación entre el porcentaje de grano dañado y el rendimiento del grano indicó que existió una correlación negativa significativa

estadísticamente, en el sentido de que a mayor porcentaje de grano dañado menor rendimiento de grano.

Los análisis de correlación entre el porcentaje de grano dañado y las concentraciones de zearalenona y fumonisina, indicaron que existió una correlación no significativa estadísticamente.

En la Figura 4 se presenta el desarrollo de la enfermedad en los genotipos evaluados, según el tratamiento de inoculación. Se observó mayor incidencia de la enfermedad en esta localidad que en Jiquipilas, notándose los primeros síntomas en el tratamiento de inoculación en espigamiento (a los 8 DDI en las variedades Náhuatl y la línea L-32 y a los 12 DDI en las demás variedades), con mayor incidencia de la enfermedad. En los tratamientos testigo e inoculación en grano lechoso la enfermedad se presentó hasta los 16 DDI en la variedad Náhuatl y la línea L-32 y a los 20 DDI en las demás variedades, con niveles menores de enfermedad que en el tratamiento de inoculación en espigamiento. En general, el desarrollo de la enfermedad fue menor en la variedad Rebeca, y mayor en las variedades Náhuatl y la línea L-32 en los tres tratamientos de inoculación.

En el Cuadro 4, se presenta el porcentaje de infección final ( $y$ ), el ABCPE y la tasa de infección aparente ( $r$ ), para cada combinación de tratamientos en la localidad de Ocozacoautla. En este caso se presentó mayor incidencia de la enfermedad que en Jiquipilas, sin embargo, al igual que en esa localidad, la variedad Rebeca se comportó como la más tolerante por su menor porcentaje de infección final, menor ABCPE y menor  $r$ , mientras que la línea L-32 fue la más susceptible a la infección de *Fusarium graminearum*. Se observó interacción entre variedades y tratamientos de inoculación.

Respecto a la concentración de zearalenona y fumonisina, se observó variabilidad en la respuesta a la inoculación según la variedad y el tratamiento. Los análisis de varianza indicaron que no hubo diferencia estadística significativas entre las fuentes de variación en zearalenona, pero en el caso de fumonisinas fue altamente significativa en la fuente de variación de parcela grande, que corresponde a las inoculaciones de *Fusarium*.

En la cuantificación de zearalenona, la concentración (ppb) determinada fue diferente según la variedad y el tratamiento de inoculación. Los genotipos evaluados se pueden agrupar en tres tipos de respuestas según la concentración de zearalenona: Náhuatl, L-32 y

Tlaxcala mostraron una tendencia similar, es decir, menor concentración en el testigo sin inocular y mayor concentración con los tratamientos con inoculación, siendo mayor cuando la inoculación se realizó en estado de grano lechoso. Rebeca y L-87 tuvieron una respuesta similar en el sentido de que la mayor concentración de zearalenona se observó en el testigo, disminuyendo en el tratamiento de inoculación en espigamiento y aumentando en la etapa de grano lechoso. Cabe mencionar que Rebeca fue la que más concentración de zearalenona presentó tanto en el testigo como en la inoculación en grano lechoso. Por último, la línea 86 presentó al igual que el grupo anterior más concentración en el testigo, pero la diferencia fue que la concentración disminuyó en la inoculación en espigamiento haciéndose menor en la etapa de grano lechoso, lo cual puede ser un indicativo de la infección natural, la cual aún cuando se trato de evitar con aplicación de fungicida, fue difícil de evitar, ya que *Fusarium* es un patógeno muy común.

Para el caso de fumonisina, L- 86, L-87, Náhuatl, L-32 y Tlaxcala presentaron tendencias similares, es decir todas aumentaron en concentración (ppm), siendo la más alta concentración cuando la inoculación se realizó en la etapa de grano lechoso, únicamente la variedad Rebeca mantuvo la misma concentración en la etapa de espigamiento, pero ésta aumentó en grano lechoso.

Un análisis del desarrollo de la enfermedad en ambas localidades permite apoyar el uso de la inoculación artificial en programas de mejoramiento para resistencia a esta enfermedad, siendo más eficiente la inoculación en la etapa de espigamiento, ya que está es más susceptible de ser infectada que en grano lechoso, lo cual resulta en una mayor ABCPE. Por otro lado, también se observó que en el caso de Jiquipilas se obtuvieron valores de ABCPE menos variables (de 12.93 a 27.08), mientras que en Ocozacoautla esta variación fue mayor (de 8.49 a 63.37). Lo anterior puede deberse a que en este caso se emplearon líneas avanzadas, las cuales podrían presentar mayor variabilidad genética que una variedad comercial ya liberada. Es importante señalar que aún cuando la inoculación artificial puede apoyar a los programas de mejoramiento, se debe tener cuidado durante el proceso, ya que se han observado diferencias según la técnica de inoculación y el tipo de resistencia que se pretenda seleccionar (Engle *et al.*, 2003).

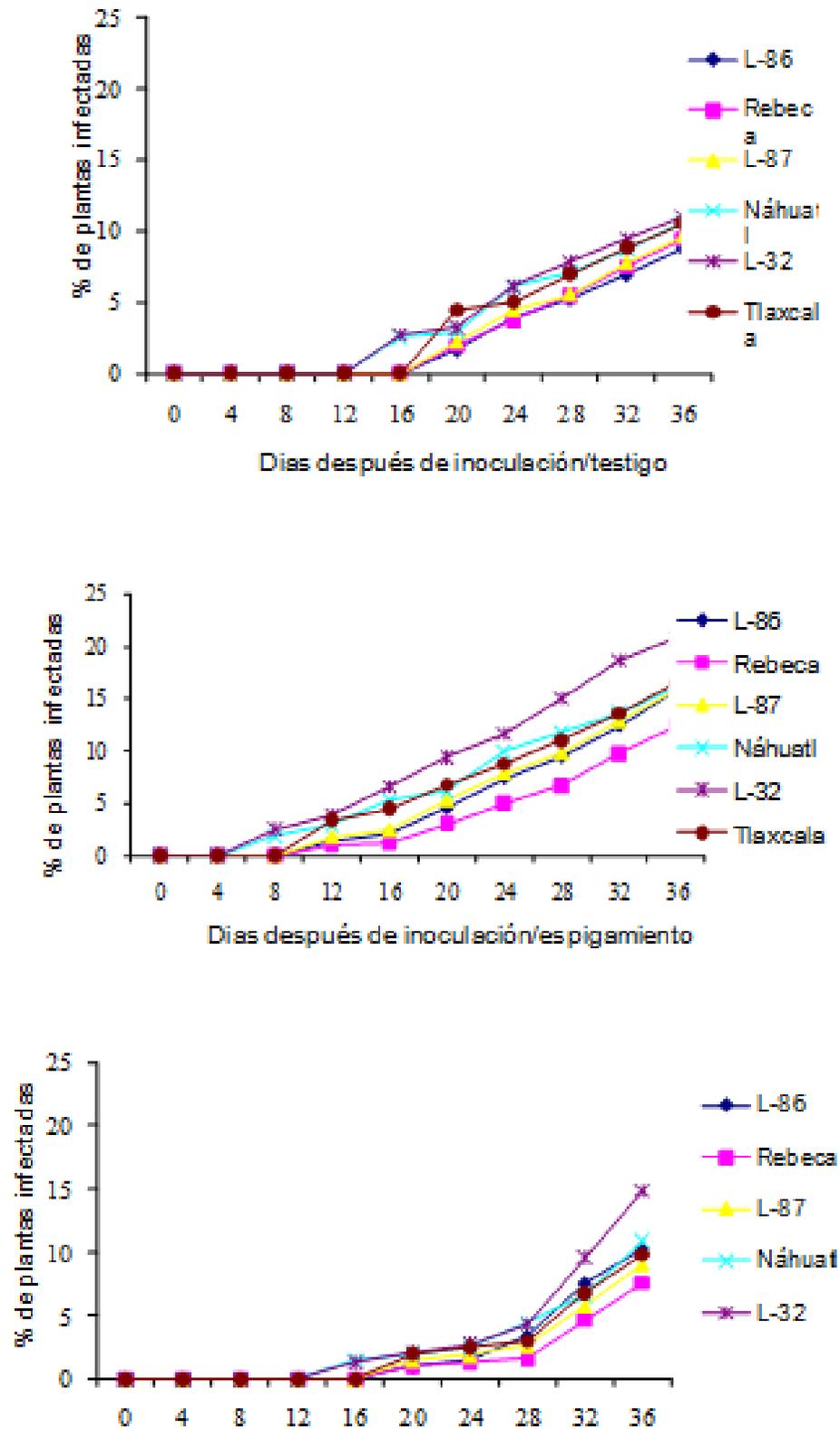


Figura 4. Porcentaje de plantas infectadas en Ocozocoautla, Chiapas, según tratamiento de inoculación.

Cuadro 4. Porcentaje de infección final, área bajo la curva del progreso de la enfermedad y tasa de infección aparente del experimento en Ocozocoautla, Chiapas.

Genotipo	Testigo sin inocular			Inoculación en espigamiento			Inoculación en grano lechoso		
	y	ABCPE	r	y	ABCPE	r	y	ABCPE	r
L-86	0.088	14.69 ef	.004	0.159	30.23 bc	.006	0.102	12.33 ef	.005
Rebeca	0.095	15.48 ef	.005	0.124	22.05 cd	.005	0.076	8.49 f	.004
L-87	0.096	16.51 ef	.005	0.159	32.05 bc	.006	0.090	11.31 ef	.005
Náhuatl	0.107	22.08 cd	.004	0.162	42.08 b	.006	0.109	15.68 ef	.005
L-32	0.110	24.06 cd	.004	0.208	63.37 a	.008	0.148	18.36 de	.007
Tlaxcala	0.106	20.91 cd	.006	0.165	38.18 b	.006	0.098	14.38 ef	.005

Medias con la misma letra en líneas y columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); y = porcentaje de infección final; ABCPE = área bajo la curva del progreso de la enfermedad; r = tasa de infección

## CONCLUSIONES

*Fusarium graminearum* Schwabe fue identificado como el agente causal de la enfermedad roña de la espiga de trigo en Chiapas.

La variedad Rebeca F-2000 en la localidad de Jiquipilas y la línea L-87 en Ocozocoautla presentaron el mayor rendimiento de grano.

Los genotipos que presentaron tolerancia al ataque de *Fusarium graminearum* fueron: La variedad Rebeca F-2000 en ambas localidades y la línea L-86 en Ocozocoautla. La variedad Náhuatl fue la más susceptible en ambas localidades y la línea L-32 en Ocozocoautla.

Las fumonisinas y zearalenona se detectaron en el grano de todas las variedades de trigo, pero en concentraciones por debajo de los límites permisibles por las normas internacionales para consumo humano y animales.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Fundación Produce Chiapas, A. C., el financiamiento del proyecto No. 2689 "Identificación y cuantificación de micotoxinas en granos de cultivos básicos e industriales".

## LITERATURA CITADA

- Bai, G., and Shaner, G. 1994. Scab of wheat: Prospects for control. *Plant Disease*. 78:760-766.
- Drepper, W. J., and Renfro, B.L. 1990. Comparation of methods for inoculation of ears and stalks of maize with *Fusarium moniliforme*. *Plant Disease*. 74:952-956.
- Engle, J. S., Madden, L. V., and Lipps, P. E. 2003. Evaluation of inoculation methods to determine

resistance reactions of wheat to *Fusarium graminearum*. *Plant Disease*. 87:1530-1535.

Espinosa, P. 1999. Evaluación y Selección de Variedades de Trigo en Chiapas. Informe Anual. CECECH-INIFAP. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. 11 p.

Espinosa, P. N., E. R. Garrido R. y Ma. M. Pérez S. 2003. Monitoreo de seis micotoxinas en granos de maíz, trigo, sorgo y cacahuate en Chiapas. X Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Puerto Vallarta, Jalisco, México. pp. 13.

Eyal, Z., Scharen, A. L., Prescott, J.M. y Van Ginkel, M. 1987. Enfermedades del trigo causadas por *Septoria*: Conceptos y métodos relacionados con el manejo de estas enfermedades. México, D.F. CIMMYT. Pp. 1-46

FAO. 1997. Alimentación animal e inocuidad alimentaría. Estudios FAO: Alimentación y Nutrición 69:13. Roma, Italia.

FAO. 1999. Contaminación por micotoxinas de alimentos y piensos. Tercera conferencia Internacional FAO/OMS/PMA sobre micotoxinas. Túnez, Túnez. pp. 6-18.

FAO 2007. Anuario estadístico 2005-2006. Consultado en línea [http://www.fao.org/statistics/yearbook/vol\\_1\\_1/index\\_es.asp](http://www.fao.org/statistics/yearbook/vol_1_1/index_es.asp)

French, R. y Hebert T. 1980. Métodos de investigación fitopatológica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. pp. 30-60.

Groth, J. V., Ozmon, E. A., and Busch, R. H. 1999. Repeatability and relationship of incidence

- and severity measures of scab of wheat caused by *Fusarium graminearum* in inoculated nurseries. *Plant Disease*. 83:1033-1038.
- Ireta, M., J. 1986. Estimación de pérdidas en trigo (*Triticum sp. L.*) causadas por la roña (*Fusarium graminearum* Schw.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Centro de Fitopatología, Montecillo, Texcoco, México. 85 p.
- Leslie, J. F., and Summerell, B. 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA. 388 p.
- López-Aceves, G.F. 1984. Manejo de Hongos Fitopatógenos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 135 p.
- Mabbett, T. 1999. La amenaza de las micotoxinas. *Feeding Times*. 4: 4-20.
- Marasas, W. F. O., Nelson, P. E., Toussoun, T. A. 1984. *Toxigenic Fusarium Species: Identity and Mycotoxicology*. Pennsylvania State University Press, University Park, Pennsylvania, USA. 328 p.
- McMullen, M., Jones, R., and Gallenberg, D. 1997. Scab of wheat and barley: A re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease*. 81:1340-1348.
- Meidaner, T. 1997. Breeding wheat and rye for resistance to *Fusarium* diseases. *Plant Breeding* 116:201-220
- Mesterhazy, A. 1995. Types and components of resistance to *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Breeding* 114:377-386.
- Moreno, M. 1988. *Manual para la Identificación de Hongos en Granos y sus Derivados*. Universidad Nacional Autónoma de México. 1ª. edición. México. pp. 9-104.
- Moreno, M., Badillo M. y Parra F. 2000. Uso de sales del ácido propiónico para inhibir la producción de aflatoxinas en granos almacenados de maíz. *Agrociencia* 34:477-484.
- Moreno, M., E. y Gil G, M. 1991. La biología de *Aspergillus flavus* y la producción de aflatoxinas. UNAM. 1er. Edición. México. pp.1-20.
- Muthomi, J. W., Ndung, J. K., Chemining, G. N., and Wagacha, J.M. 2007. Reaction of some Kenyan wheat cultivars to head blight after inoculations with *Fusarium graminearum*. *Asian Journal of Plant Sciences* 6(4):585-591.
- Nelson, P., Toussoun T., and Marasas W. 1983. *Fusarium* species. An illustrated manual for identification. The Pennsylvania State University Press, University Park, Pennsylvania, USA. 193 p.
- Orantes, G., Espinosa N., Garrido E. y Pérez M. 2001. Determinación de tres micotoxinas en el grano de cuatro líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.). IX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica y II Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica. Veracruz, Ver. México. pp. 9.
- Parry, D. W., Jenkinson, P., and McLeod, L. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals - a review. *Plant Pathol*. 44:207-238.
- Pereyra, S. A., Dill-Macky, R., and Sims, A. L. 2004. Survival and inoculum production of *Gibberella zeae* in wheat residue. *Plant Disease*. 88:724-730.
- Prescott, J., Burnett P., Saari E., Ransom J., Bowman J., De Milliano W., Singh R. and Bekele G. 1986. *Enfermedades y Plagas del Trigo: Una guía para su identificación en el campo*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. pp. 30-35.
- Riungu, G.M., J.W. Muthomi, J. W., Narla, R. D., Wagacha, J.M., and Gathumbi, J. K. 2008. Management of *Fusarium* Head Blight of wheat and deoxynivalenol accumulation using antagonistic microorganisms. *Plant Pathology Journal* 7(1):13-19.
- Romero C., S. 1988. *Hongos Fitopatógenos*. Universidad Autonoma Chapingo, Texcoco, Mex. pp 25-33
- Stack, R. W. 2000. Return of an old Problem: *Fusarium* Head blight to small grains. *Plant Health Progress - Plant Health Reviews – APS Press*. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN, U.S.A. Accession DOI:10.1094/PHP-2000-0622-01-RV
- Stubbs, R., Prescott J., Saari E. y Dubin H. 1986. *Manual de Metodología Sobre las Enfermedades de los Cereales*. Centro

- Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. pp. 1-46.
- Villaseñor, H. y Espitia R. 2000. El Trigo de Temporal en México. Libro Técnico N° 1. Chapingo, Estado de México., México, SAGAR, INIFAP, CIRCE, Campo Experimental Valle de México. 315 p.
- Warham, E.J., Butler L. y Sutton B. 1998. Ensayos para la Semilla de Maíz y de Trigo. Manual de Laboratorio. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. 64 p.
- Wiese, M.V. 1987. Compendium of Wheat Diseases. American Phytopathological Society APS Press, St Paul, Minesota, USA. 124 p.
- Wilson, M. D. 1999. Management of mycotoxins in peanut. Department of Plant Pathology, University of Georgia. Tifton, Georgia, U.S.A. pp. 87.
- Zillinsky, J. 1984. Guía para la identificación de enfermedades en cereales de grano pequeño. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. pp. 61-77.

*Submitted May 05, 2010 – Accepted August 17, 2010*  
*Revised received September 21, 2010*