

Resistencia de Variedades e Híbridos de Maíz (*Zea mays*) a *Sporisorium reilianum* y su Rendimiento de Grano

Resistance of Varieties and Hybrids of Corn (*Zea mays*) to *Sporisorium reilianum* and Grain Yield

Jesús Gaudencio Aquino Martínez, Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), Laboratorio de Fitopatología, Conjunto SEDAGRO s/n, Metepec, edo. México, CP 52140, México; **Alberto Sánchez Flores**, Universidad Politécnica de Tecamac, Calle Libertad s/n, col. Centro, San Pedro Atzompa, Tecamac, edo. México, CP 55771, México; **Andrés González Huerta y Jesús Ricardo Sánchez Pale**, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, edo. México, CP 50200, México. Correspondencia: jg_aquino@hotmail.com

(Recibido: Mayo 03, 2010 Aceptado: Diciembre 21, 2010)

Aquino Martínez, J. G., Sánchez Flores, A., González Huerta, A. y Sánchez Pale, J. R. 2011. Resistencia de Variedades e Híbridos de Maíz (*Zea mays*) a *Sporisorium reilianum* y su Rendimiento de Grano. Revista Mexicana de Fitopatología 29:39-49.

Resumen. En Metepec, México, durante 2006 se comparó la respuesta al carbón de la espiga *Sporisorium reilianum*, de 35 variedades e híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). Semilla de 36 genotipos, sin inocular (ensayo 1, E1) o inoculada con *S. reilianum* (ensayo 2, E2), se sembró en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones (parcela útil de 16 m²), con el fin de identificar genotipos resistentes al patógeno. A los 245 días después de la siembra (dds), se obtuvieron los siguientes resultados: En E1, el 94.4% de los genotipos fueron altamente resistentes (AR) y 5.6% moderadamente resistentes (MR) a carbón de la espiga; y en E2, el 8.3% de los genotipos fueron inmunes (I), 77.8% altamente resistentes (AR) y 13.9% moderadamente resistentes (MR). Se encontraron variedades e híbridos comerciales con resistencia ($\leq 3\%$ de incidencia) a *S. reilianum* y buen rendimiento de grano ($>8 \text{ t ha}^{-1}$), como Niebla, H-52, Almoloya de Juárez, Z-60, HID-17, Cóndor, H-40, H-33, AS-722, AS-721, H-50, HS-2 y Promesa. Estos podrían recomendarse para la siembra comercial, iniciar un programa de mejoramiento genético o generar tecnología en el área de estudio.

Palabras clave adicionales: Carbón de la espiga, *Sporisorium reilianum*, resistencia genética, análisis multivariado.

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante en el estado de México con 573,000 ha cultivadas, una producción

Aquino Martínez, J. G., Sánchez Flores, A., González Huerta, A. and Sánchez Pale, J. R. 2011. Resistance of Varieties and Hybrids of Corn (*Zea mays*) to *Sporisorium reilianum* and Grain Yield. Revista Mexicana de Fitopatología 29:39-49.

Abstract. The response to head smut *Sporisorium reilianum* of 35 maize commercial varieties and hybrids (*Zea mays* L.) were compared in Metepec, Mexico in the year 2006. Non inoculated seed of 36 genotypes (trial 1, T1) and inoculated seed (trial 2, T2), were planted under a randomized block design with three replications (usable plot of 16 m²), in order to identify resistant genotypes to the pathogen. At 245 days after sowing (das), the following results were obtained: In T1, 94.4% of the genotypes were highly resistant (HR) and 5.6% moderately resistant (MR) to head smut; and in T2, 8.3% of the genotypes were immune (I), 77.8% highly resistant (HR) and 13.9% moderately resistant (MR). Varieties and commercial hybrids with resistance (incidence of $\leq 3\%$) to *S. reilianum* and good grain yield ($>8 \text{ t ha}^{-1}$) were found, such as Niebla, H-52, Almoloya de Juárez, Z-60, HID-17, Condor, H-40, H-33, AS-722, AS-721, H-50, HS-2 and Promesa. These may be recommended for commercial planting, to start a breeding program or to generate technology in the field of study.

Additional keywords: Corn head smut, *Sporisorium reilianum*, genetic resistance, multivariate analysis.

Corn (*Zea mays* L.) is the crop of most importance in the state of Mexico, with 573,000 hectares cultivated and an estimated production of 1'801,330 tons and average grain yield of 3.1 t ha⁻¹ (SEDAGRO, 2007). The main production area is the

estimada en 1'801,330 toneladas y rendimiento promedio de grano de 3.1 t ha^{-1} (SEDAGRO, 2007). La principal zona productora es el Valle de Toluca-Atlacomulco con alrededor de 250,000 ha y rendimientos de 2.5 a 6.5 t ha^{-1} (Niño *et al.*, 1998). Con la siembra de híbridos y variedades de alto rendimiento se han introducido enfermedades de importancia cuarentenaria, como el carbón de la espiga causado por el hongo *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon y Fullerton (sin. *Sphacelotheca reiliana* Kühn) (SAGARPA, 2002). La enfermedad está presente en los estados de Jalisco, Durango, Hidalgo, Puebla, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Oaxaca, Sonora, Tamaulipas y Aguascalientes, entre otros (Sánchez, 1988; CESAVEM, 2006). En el estado de México, el carbón se detectó en 2003 afectando maíces criollos y mejorados; actualmente se halla distribuido en 38 municipios, en donde se presentan pérdidas que pueden alcanzar 20% del rendimiento de grano (CESAVEM, 2006).

S. reilianum f. sp. *zeae* ocasiona una infección sistémica y la producción de soros que sustituyen parcial o totalmente a la espiga y mazorca durante la floración. Los soros envuelven las teliosporas del hongo, éstas germinan en el suelo, producen un basidio de cuatro células y cada célula da origen a una basidiospora haploide (Ingold, 1994). Las formas haploides compatibles se fusionan para producir la hifa dicariótica infecciosa que penetra la raíz del maíz. En la planta, el hongo actúa como endófito biotrófico en el meristemo floral (Martínez *et al.*, 2000), que es totalmente invadido durante la esporogénesis (Martínez *et al.*, 2002). La esporulación en la mazorca puede ser independiente de los soros en la espiga, aunque las plantas con carbón apical generalmente llenan la mazorca con teliosporas del hongo (Wang y Wang, 1989). El control químico del patógeno se basa en el tratamiento a la semilla con fungicidas sistémicos (Martínez y Ledesma, 1990; Wright *et al.*, 2006), el cual es costoso y no elimina por completo al hongo (Stienstra *et al.*, 1985; Pradhanang y Ghimire, 1996); algunos productos pueden retrasar el crecimiento de la planta (Pradhanang y Ghimire, 1996), mientras que otros reducen la germinación de la semilla y la resistencia de la planta al patógeno (Stromberg *et al.*, 1982). La resistencia genética es la alternativa más factible y económica para el manejo de la enfermedad, pero es necesario identificar los genotipos de maíz con alto rendimiento y respuesta al carbón. Por lo antes expuesto, y buscando alternativas viables al problema descrito, se evaluaron 35 variedades e híbridos de maíces comerciales para los Valles Altos del estado de México, con el propósito de determinar la incidencia de carbón de la espiga y su efecto sobre el rendimiento de grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2006 en condiciones de temporal en el Municipio de Metepec, estado de México, localizado geográficamente a $19^{\circ}15' \text{ N}$, $99^{\circ}33' \text{ O}$, y a una altitud de 2580 m. Este sitio se caracteriza por un clima templado subhúmedo con lluvias en verano [Cb (W2) (W) bi], y presencia de heladas desde octubre hasta enero (INEGI, 1998). El suelo donde se desarrolló el trabajo presentó las

Valley of Toluca-Atlacomulco with about 250,000 ha and yields of 2.5 to 6.5 t ha^{-1} (Niño *et al.*, 1998). With the planting of high yielding hybrids and varieties, diseases of quarantine importance have been introduced such as corn head smut caused by *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon and Fullerton fungus (also known as *Sphacelotheca reiliana* Kühn) (SAGARPA, 2002). The disease is present in the states of Jalisco, Durango, Hidalgo, Puebla, Queretaro, Guanajuato, Michoacan, Oaxaca, Sonora, Tamaulipas and Aguascalientes, among others (Sánchez, 1988; CESAVEM, 2006). In 2003 smut was found in the state of Mexico, affecting native and improved corn; to this day it has been found in 38 municipalities, where losses occur that reach up to 20% of grain yield (CESAVEM, 2006).

S. reilianum f. sp. *zeae* causes systemic infection and production of sori that partially or totally replace the tassel and the ear during flowering. Sori involve the teliospores of the fungus, these germinate in the ground, produce a four-celled basidium and each cell gives rise to a haploid basidiospore (Ingold, 1994). The compatible haploid forms fuse to produce the infectious dikaryotic hyphae that penetrates the root of the maize. Once in the plant, the fungus acts as a biotrophic endophyte in the floral meristem (Martínez *et al.*, 2000), which is completely overrun during sporogenesis (Martínez *et al.*, 2002). Sporulation on the ear can be independent from the sori in the tassel, although plants with apical smut generally fill the ear with teliospores of the fungus (Wang y Wang, 1989). Chemical control of the pathogen is based on seed treatment with systemic fungicides (Martínez y Ledesma, 1990; Wright *et al.*, 2006), which is costly and does not completely eliminate the fungus (Stienstra *et al.*, 1985; Pradhanang y Ghimire, 1996); some products may stun plant growth (Pradhanang y Ghimire, 1996), while others reduce seed germination and the plant's resistance to the pathogen (Stromberg *et al.*, 1982). Genetic resistance is the most feasible and economic alternative for the disease management, but it is necessary to identify maize genotypes with high yield and response to smut. For the reasons stated above, and to seek viable alternatives to the problem described, 35 commercially recommendable maize varieties and hybrids to Valles Altos, state of Mexico were evaluated to determine the incidence of head smut and its effect on grain yield.

MATERIALS AND METHODS

Study area. The study was carried out during the spring-summer cycle of 2006 under rainfed conditions in the town of Metepec, state of Mexico, geographically located at $19^{\circ}15' \text{ N}$, $99^{\circ}33' \text{ W}$, and altitude of 2,580 m. This site is characterized by a temperate sub-humid climate with summer rains [Cb (W2) (W) bi], and the presence of occasional freezes from October to January (INEGI, 1998). The ground where the work was carried out presented the following physical and chemical characteristics: sandy loam texture (sand 60%, silt 24%, clay 16%), pH 5.6; organic matter content, 0.2%; P, 232 ppm; K, 340 ppm; Ca, 1437 ppm; and assimilable Mg, 398 ppm.

Genetic material and experimental design. The

siguientes características físicas y químicas: textura franco arenosa (arena 60%, limo 24%, arcilla 16%); pH de 5.6; contenido de materia orgánica, 0.21%; P, 232 ppm; K, 340 ppm; Ca, 1437 ppm; y Mg asimilable, 398 ppm.

Material genético y diseño experimental. El material genético consistió de 35 variedades e híbridos comerciales recomendados para los Valles Altos del estado de México y una línea experimental, procedentes de diferentes centros de investigación, instituciones de enseñanza superior y empresas de semillas (Cuadro 1). La semilla de los distintos genotipos, se obtuvo sin tratamiento, gracias a la colaboración

genetic material consisted of 35 commercial varieties and hybrids recommended for Valles Altos, state of Mexico and one experimental line that belongs to different research centers, higher education institutions and commercial seed companies (Table 1). The seed of the different genotypes was obtained untreated, thanks to the collaboration of the National Seed Inspection and Certification Service (SNICS), state of Mexico branch, though the materials were developed by the companies. The study consisted of two trials, each one by date of sowing; each trial was established under an experimental randomized complete block design with three

Cuadro 1. Variedades e híbridos de maíz (*Zea mays*) evaluados para valorar su respuesta a *Sporisorium reilianum*, en el municipio de Metepec, estado de México.

Table 1. Varieties and maize (*Zea mays*) hybrids evaluated to measure their response to *Sporisorium reilianum*, in the town of Metepec, state of Mexico.

Tratamiento/genotipo	Tipo registrado	Cruza	Ciclo vegetativo	Institución/ empresa
A-9995	Híbrido	Trilineal	Intermedio	Asgrow
Almoleya de Juárez	Variedad	Polinización libre	Intermedio	ICAMEX
AS-721	Híbrido	Doble	Tardío	Aspros
AS-722	Híbrido	Trilineal	Tardío	Aspros
AS-820	Híbrido	Trilineal	Intermedio	Aspros
CML-239	Línea	Autofecundación	Intermedio	CIMMYT
Cóndor	Híbrido	Trilineal	Intermedio	Asgrow
Criollo de Zinacantepec	Criollo	Polinización libre	Tardío	Productor
Cromo-034	Híbrido	Trilineal	Intermedio	Cromo Seeds
HID-15	Híbrido	Doble	Intermedio	ICAMEX
HID-17	Híbrido	Doble	Intermedio	ICAMEX
HIT-3	Híbrido	Trilineal	Intermedio	ICAMEX
HIT-7	Híbrido	Trilineal	Tardío	ICAMEX
HIT-9	Híbrido	Trilineal	Precoz	ICAMEX
ICAMEX M-10	Variedad	Polinización libre	Precoz	ICAMEX
Ixtlahuaca	Variedad	Polinización libre	Intermedio	ICAMEX
Negro Carioca	Variedad	Polinización libre	Tardío	ICAMEX
Niebla	Híbrido	Trilineal	Tardío	Ceres
Nieve	Híbrido	Trilineal	Tardío	Ceres
H-33	Híbrido	Doble	Tardío	INIFAP
H-40	Híbrido	Doble	Intermedio	INIFAP
H-44	Híbrido	Doble	Intermedio	INIFAP
H-48	Híbrido	Doble	Intermedio	INIFAP
H-50	Híbrido	Doble	Intermedio	INIFAP
H-52	Híbrido	Doble	Intermedio	INIFAP
H-58	Híbrido	Doble	Intermedio	INIFAP
HS-2	Híbrido	Trilineal	Tardío	C.P.
Oro Ultra	Variedad	Sintético	Intermedio	UNAM
Promesa	Híbrido	Trilineal	Tardío	C.P.
Puma 1075	Híbrido	Trilineal	Intermedio	UNAM
Sintético Amarillo	Variedad	Sintético	Intermedio	ICAMEX
Triunfo	Variedad	Sintético	Tardío	ICAMEX
Volcán	Híbrido	Trilineal	Tardío	Ceres
VS-2000	Variedad	Sintético	Tardío	ICAMEX
VS-3030	Variedad	Sintético	Tardío	ICAMEX
Z-60	Híbrido	Simple	Intermedio	Hartz Seed

Ciclo vegetativo: Tardío, días a floración masculina (>100); intermedio, días a floración masculina (90-100), y precoz, días a floración masculina (<90).

del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semilla (SNICS), Delegación Estado de México. El estudio consistió de dos ensayos, uno por fecha de siembra; cada ensayo se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones y 36 tratamientos, consistentes en los diferentes genotipos de maíz. La parcela experimental útil fue de cuatro surcos de cinco m de largo por 0.8 m de ancho (16 m^2).

Establecimiento de los ensayos. Los dos ensayos se establecieron en un terreno con antecedentes de carbón de la espiga. En el primer ensayo (E1) establecido el cinco de abril de 2006, la semilla sin inocular se sembró en el suelo infestado naturalmente, mientras que en el segundo (E2) establecido 19 días después, los granos se inocularon con teliosporas de *S. reilianum* obtenidas de mazorcas con carbón colectadas en cultivos comerciales de maíz de la zona. Un día antes de la siembra, la testa del grano se humedeció con Kem-kol (Kemtek Ltda., Bogotá, Colombia), un adherente para productos biológicos, y luego se espolvoreó con teliosporas del hongo empleando un frasco tipo salero hasta cubrir totalmente la superficie del grano. La siembra manual consistió en depositar tres semillas cada 42 cm a una profundidad aproximada de 10 cm, pero sólo se dejaron dos plantas por sitio para manejar una densidad de 60,000 plantas ha^{-1} .

Variables de estudio. La respuesta a la infección por *S. reilianum*, se registró durante la floración de la planta mediante la observación visual de síntomas de carbón tanto en la espiga como en la mazorca de cada genotipo. La incidencia (%), se determinó como el cociente entre plantas con síntomas de carbón y el total de plantas en la unidad experimental, multiplicado por 100 (Njuguna, 2001; Williams-Alanis *et al.*, 2009); se consideró planta enferma aquella con presencia de soros en la espiga, en la mazorca o en ambas (Quezada, 2010). Los valores de incidencia se transformaron con la raíz cuadrada de arco seno para disminuir el error experimental debido a los porcentajes (Steel y Torrie, 1986). La resistencia o susceptibilidad de los genotipos se determinó considerando la incidencia promedio de carbón por tratamiento en cada ensayo, con base en la escala de Njuguna (1998, 2001), donde: 0%, inmune (I); 1-9%, altamente resistente (AR); 10-29%, moderadamente resistente (MR); 30-49%, susceptible (S); y 50-100%, muy susceptible (MS). La cosecha se realizó a los 245 días de la siembra (dds) y el rendimiento de grano (RG) se estimó de acuerdo con De la Cruz (2008).

Análisis estadístico. Para cada variable se hizo el análisis de varianza de los datos con el paquete estadístico Sistema para el Análisis Estadístico (SAS) versión 8 (1999). Cuando los valores de F para las fuentes de variación de interés fueron significativos se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al nivel de significancia de 5%. También se hizo un análisis de correlación lineal simple entre las variables registradas. El análisis de componentes principales se realizó para obtener el biplot entre los genotipos y las variables evaluadas (Sánchez, 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incidencia de carbón de la espiga. En el primer

replicaciones and 36 treatments, consisting of the different maize genotypes. The usable experimental plot was four rows that measured 5 m long by 0.8 m wide (16 m^2).

Establishment of the trials. Both trials were established in an area with a history of head smut. In the first trial (T1) established on April 5th, 2006, the non-inoculated seed was planted in naturally-infested soil, while the seed of the second trial (T2), established 19 days later, was inoculated with *S. reilianum* teliospores obtained from ears with smut collected from local commercial maize crops. One day before sowing, the seed coat layer was moistened with Kem-kol (Kemtek Ltd., Bogota, Colombia), an adherent for biological products, and was then dusted with teliospores of the fungus using a salt-shaker like jar to completely cover the grain surface. Sowing was performed manually by placing three seeds every 42 cm at an approximate depth of 10 cm, but only two plants were left to grow per site to achieve a density of 60,000 plants ha^{-1} .

Study variables. The response to infection by *S. reilianum*, was registered during the plant's anthesis period by visual observation of smut symptoms both in the tassel and in the ear of each genotype. Incidence (%) was determined as the ratio of plants with symptoms of smut by the total number of plants in the experimental unit, multiplied by 100 (Njuguna, 2001; Williams-Alanis *et al.*, 2009); a plant was considered infected when there was presence of sori in the tassel, the ear or in both (Quezada, 2010). Incidence values were transformed the arcsine square root to reduce the experimental error due to the percentages (Steel and Torrie, 1986). The resistance or susceptibility of genotypes was determined by considering the average incidence of smut per treatment in each trial, based on the Njuguna scale (1998, 2001), where: 0%, immune (I); 1-9%, highly resistant (AR); 10-29%, moderately resistant (MR); 30-49%, susceptible (S); and 50-100%, very susceptible (MS). Harvest was performed 245 days after sowing (das) and grain yield (RG) was calculated according to De la Cruz (2008).

Statistical analysis. An analysis of variance was performed from the data of each variable with the statistical package Statistical Analysis System (SAS) version 8 (1999). When the values of F for the sources of variation of interest were significant, Tukey's test for comparison of means was applied at a significance level of 5%. There was also a simple linear correlation analysis between the registered variables. The principal component analysis was performed to obtain the biplot between the genotypes and the evaluated variables (Sánchez, 1995).

RESULTS AND DISCUSSION

Head smut incidence. In the first trial (T1), non-inoculated seed, CML-239 had the highest incidence of head smut with 14.1%, another 18 genotypes were statistically similar with incidences of 2.9-10.9%, the remaining 17 materials averaged between 0.3-2.4%, of which Almoloya de Juarez (0.3%), Criollo de Zinacantepec, H-33, H-40, VS-3030, Condor and Niebla (0.9%) stand out. In the second trial (T2), the genotypes with the highest incidence were Oro Ultra and Nieve with 15.9 and 14.6%, respectively; another

ensayo (E1), sin inocular la semilla, la línea CML-239 presentó la mayor incidencia de carbón de la espiga con 14.1%, otros 18 genotipos fueron estadísticamente iguales con incidencias de 2.9-10.9%; los 17 materiales restantes tuvieron promedios entre 0.3-2.4%, de éstos destacan Almoloya de Juárez (0.3%), Criollo de Zinacantepec, H-33, H-40, VS-3030, Cóndor y Niebla (0.9%). En el segundo ensayo (E2), los genotipos con la incidencia más alta fueron Oro Ultra y Nieve con 15.9 y 14.6%, respectivamente; otros 12 genotipos fueron iguales estadísticamente con promedios de 5.5-11.3% como: ICAMEX M-10, Negro Carioca, VS-2000, Triunfo, H-48, H-58, Volcán, Puma 1075, HIT-7, HIT-3, AS-820 y CML-239. Otros cuatro genotipos presentaron incidencias de 4.4-5.1% (H-33, Cromo-034, Ixtlahuaca y A-9995); un tercer grupo de 15 materiales mostraron incidencias de 1.1-3.9%, como Niebla, VS-3030, H-52, HID-17, H-50, H-44, H-40 y HID-15, entre otros, y el cuarto grupo de tres genotipos con 0% de incidencia (HIT-9, Criollo de Zinacantepec y Sintético Amarillo) (Cuadro 2). En la segunda fecha de siembra (E2) con semilla inoculada, 25 de los 36 genotipos presentaron incidencias más altas de carbón que en la primera fecha (E1), lo cual se relacionó con una mayor cantidad de inóculo de *S. reilianum* en la semilla y una alta probabilidad de infectar la radícula del maíz. Al respecto Whythe y Gevers (1988) encontraron que la incidencia de carbón fue superior cuando la semilla se inoculó (99.3%) que sin inocularla (27.6%). Bajo las condiciones de Valles Altos, Pérez y Bobadilla (2004), y Pérez *et al.* (2006), registraron valores de incidencia similares a los encontrados en el Valle de Toluca en algunos genotipos comerciales, otros tuvieron valores más altos que los observados en los dos ensayos realizados en este estudio.

En E1, sin inoculación de semilla, se observaron dos tipos de respuesta de los genotipos al carbón de la espiga: uno de 18 materiales con incidencias de 2.9-14.1%, y otro con incidencias de 0.3-2.4%. En E2, la presencia de una mayor cantidad de inóculo de *S. reilianum* permitió diferenciar cuatro tipos de respuesta: el primero con incidencias de 5.5-15.9%, el segundo de 4.4-5.1%, el tercero de 1.1-3.9% y el cuarto con 0% de incidencia de carbón (Cuadro 2). Esta variabilidad fue reportada por Stromberg *et al.* (1984), Whythe y Gevers (1988), Njuguna (2001), Pérez y Bobadilla (2004), Pérez *et al.* (2006) y Quezada (2010), cuyos ensayos se hicieron con semilla inoculada. Lo anterior sugiere la inoculación obligada de la semilla en los estudios de resistencia de genotipos de maíz al carbón de la espiga (Whythe y Gevers, 1988; Quezada, 2010), aunque en los dos ensayos los materiales susceptibles se comportaron de manera similar al presentar altos valores de incidencia. En las plantas infectadas de los diferentes genotipos de maíz, las "espiguillas" o florecillas de la espiga fueron sustituidas por teliosporas, también se presentó la proliferación de espiguillas y en algunos casos filodia de brácteas. Las mazorcas fueron reemplazadas por soros, dentro de los cuales se observaron teliosporas agrupadas en una masa de color negro. Se observaron espigas y mazorcas parcialmente invadidas por el hongo, así como plantas enanas con espiga o mazorca totalmente invadidas de carbón. Los síntomas y

12 genotipos fueron estadísticamente similares con promedios de 5.5 a 11.3% tales como: ICAMEX M-10, Negro Carioca, VS-2000, Triunfo, H-48, H-58, Volcán, Puma 1075, HIT-7, HIT-3, AS-820 y CML-239. Cuatro otros genotipos presentaron incidencias entre 4.4 y 5.1% (H-33, Cromo-034, Ixtlahuaca y A-9995); un tercer grupo de 15 materiales mostró incidencias de 1.1-3.9%, tales como Niebla, VS-3030, H-52, HID-17, H-50, H-44, H-40 y HID-15, entre otros, y el cuarto grupo de tres genotipos con 0% de incidencia (HIT-9, Criollo de Zinacantepec y Sintético Amarillo) (Tabla 2). En la segunda fecha de siembra (T2, con semilla inoculada) 25 de los 36 genotipos presentaron una mayor incidencia de smut que en la primera fecha (T1), lo cual se asoció con una mayor cantidad de *S. reilianum* inóculo en la semilla y una alta probabilidad de infección de la raíz del maíz. Al respecto Whythe y Gevers (1988) encontraron que la incidencia de smut fue mayor en semilla inoculada (99.3%) que en semilla no inoculada (27.6%). Bajo las condiciones de Valles Altos, Pérez y Bobadilla (2004), y Pérez *et al.* (2006), registraron valores de incidencia similares a los encontrados en el Valle de Toluca en algunos genotipos comerciales, otros tuvieron valores más altos que los observados en los dos ensayos realizados en este estudio.

En T1 (sin inoculación de semilla), se observaron dos tipos de respuesta de los genotipos al carbón de la espiga: uno de 18 materiales con incidencias de 2.9-14.1%, y otro con incidencias de 0.3-2.4%. En T2, la presencia de una mayor cantidad de inóculo de *S. reilianum* permitió diferenciar cuatro tipos de respuesta: el primero con incidencias de 5.5-15.9%, el segundo de 4.4-5.1%, el tercero de 1.1-3.9% y el cuarto con 0% de incidencia de carbón (Tabla 2). Esta variabilidad fue reportada por Stromberg *et al.* (1984), Whythe y Gevers (1988), Njuguna (2001), Pérez y Bobadilla (2004), Pérez *et al.* (2006) y Quezada (2010), cuyos ensayos se hicieron con semilla inoculada. Lo anterior sugiere la inoculación obligada de la semilla en los estudios de resistencia de genotipos de maíz al carbón de la espiga (Whythe y Gevers, 1988; Quezada, 2010), aunque en los dos ensayos los materiales susceptibles se comportaron de manera similar al presentar altos valores de incidencia. En las plantas infectadas de los diferentes genotipos de maíz, las "espiguillas" o florecillas de la espiga fueron sustituidas por teliosporas, también se presentó la proliferación de espiguillas y en algunos casos filodia de brácteas. Las mazorcas fueron reemplazadas por soros, dentro de los cuales se observaron teliosporas agrupadas en una masa de color negro. Se observaron espigas y mazorcas parcialmente invadidas por el hongo, así como plantas enanas con espiga o mazorca totalmente invadidas de carbón. Los síntomas y

Genotipo resistencia a la enfermedad. En el ensayo E1 (sin inoculación de semilla) 34 genotipos (94.4%) fueron clasificados como altamente resistentes (AR) y dos (5.6%) como moderadamente resistentes (MR) al smut: CML-239 (14.1%) y HIT-3 (10.9%) fueron los más susceptibles al patógeno. En el ensayo E2 (semilla inoculada) dos genotipos (5.6%) fueron inmunes (I), 29 materiales (80.5%) fueron altamente resistentes (AR) y cinco genotipos (13.9%) moderadamente resistentes (MR) (Tabla 2). Por otro lado, Stromberg *et al.* (1984), Njuguna (2001), Pérez y

Cuadro 2. Incidencia (%) de carbón de la espiga (*Sporisorium reilianum*) en cada fecha de siembra y clasificación de las variedades e híbridos comerciales de maíz por su respuesta al patógeno.

Table 2. Incidence (%) of head smut (*Sporisorium reilianum*) in each planting date and classification of the varieties and commercial hybrids of maize by response to the pathogen.

Genotipo	Semilla sin Inocular		Semilla inoculada	
	Espigas con carbón (%)	Reacción a <i>S. reilianum</i>	Espigas con carbón (%)	Reacción a <i>S. reilianum</i>
A-9995	3.1 ab	AR	5.1 bcd	AR
Almoleya de Juárez	0.3 b	AR	2.4 cd	AR
AS-721	2.9 ab	AR	2.8 cd	AR
AS-722	1.6 b	AR	3.4 cd	AR
AS-820	8.2 ab	AR	10.7 abc	MR
CML-239	14.1 a	MR	11.3 abc	MR
Cóndor	0.8 b	AR	3.6 cd	AR
Criollo de Zinacantepec	0.5 b	AR	0.0 d	I
Cromo-034	6.7 ab	AR	4.8 bcd	AR
HID-15	2.4 b	AR	3.9 cd	AR
HID-17	1.2 b	AR	2.8 cd	AR
HIT-3	10.9 ab	MR	10.6 abcd	MR
HIT-7	4.6 ab	AR	7.7 abcd	AR
HIT-9	2.2 b	AR	0.0 d	I
ICAMEX M-10	4.4 ab	AR	5.5 abcd	AR
Ixtlahuaca	3.6 ab	AR	4.9 bcd	AR
Negro Carioca	1.8 b	AR	5.6 abcd	AR
Niebla	0.9 b	AR	1.1 cd	AR
Nieve	8.1 ab	AR	14.6 ab	MR
H-33	0.7 b	AR	4.4 bcd	AR
H-40	0.8 b	AR	3.9 cd	AR
H-44	3.0 ab	AR	3.6 cd	AR
H-48	5.0 ab	AR	7.0 abcd	AR
H-50	3.0 ab	AR	2.9 cd	AR
H-52	0.8 b	AR	1.8 cd	AR
H-58	5.3 ab	AR	7.3 abcd	AR
HS-2	3.9 ab	AR	2.2 cd	AR
Oro Ultra	7.1 ab	AR	15.9 a	MR
Promesa	3.2 ab	AR	2.8 cd	AR
Puma 1075	3.7 ab	AR	7.6 abcd	AR
Sintético Amarillo	1.7 b	AR	0.0 d	I
Triunfo	2.2 b	AR	6.6 abcd	AR
Volcán	3.4 ab	AR	7.5 abcd	AR
VS-2000	2.4 b	AR	6.3 abcd	AR
VS-3030	0.8 b	AR	1.8 cd	AR
Z-60	1.6 b	AR	1.4 cd	AR

Los promedios aritméticos con la misma letra dentro de columna son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). I= Inmune; AR= Altamente resistente; MR= Moderadamente resistente.

signos observados en la espiga y la mazorca concuerdan con los reportados por Stromberg *et al.* (1984), Sánchez (1988), Bagget y Kean (1989), Wang y Wang (1989) y Pataky (1999).

Resistencia de los genotipos a la enfermedad. En el ensayo E1 (semilla sin inocular) 34 genotipos (94.4%) se clasificaron como altamente resistentes (AR) y dos (5.6%) como moderadamente resistentes (MR) al carbón:

Bobadilla (2004) and Pérez *et al.* (2006), detected genotypes highly resistant, moderately resistant and susceptible to *S. reilianum*, with incidences above 30%, these and other researchers, noted that there were different degrees of resistance to the pathogen in commercial and experimental genotypes (Whyte and Gevers, 1988; Duan *et al.*, 1992; Njuguna, 2001; Wang *et al.*, 2008; Quezada, 2010). Due to the presence of partial invasion in both tassel and ear in highly

CML-239 (14.1%) y HIT-3 (10.9%) fueron los más susceptibles al patógeno. En el ensayo E2 (semilla inoculada) dos genotipos (5.6%) fueron inmunes (I), 29 materiales (80.5%) altamente resistentes (AR) y cinco (13.9%) moderadamente resistentes (MR) (Cuadro 2). En cambio, Stromberg *et al.* (1984), Njuguna (2001), Pérez y Bobadilla (2004) y Pérez *et al.* (2006), detectaron genotipos altamente resistentes, moderadamente resistentes y susceptibles a *S. reilianum*, con incidencias superiores al 30%; éstos y otros investigadores observaron que existen diferentes grados de resistencia al patógeno en genotipos comerciales y experimentales (Whyte y Gevers, 1988; Duan *et al.*, 1992; Njuguna, 2001; Wang *et al.*, 2008; Quezada, 2010). Debido a la presencia de invasiones parciales de espiga y mazorca tanto en genotipos altamente resistentes como en moderadamente resistentes en los dos ensayos, así como la existencia de diferentes grados de respuesta de los materiales al patógeno, es conveniente hacer un ajuste a la escala de resistencia empleada en este estudio (Njuguna, 1998 y 2001), reduciendo el intervalo de incidencia en cada categoría cuando los porcentajes son relativamente bajos. O bien, proponer una escala de severidad que incluya niveles de daño en espiga y mazorca para determinar infección (%) y con ésta hacer una clasificación más precisa de la resistencia de los genotipos al carbón de la espiga.

Rendimiento de grano. En E1, los promedios de rendimiento de las variedades e híbridos variaron de 4241 (Nieve) hasta 11400 kg ha⁻¹ (H-33) y en E2 de 4380 (Criollo de Zinacantepec) a 11612 kg ha⁻¹ (H-44) (Cuadro 3). Estas diferencias se relacionan con la amplia diversidad genética existente entre los 35 genotipos comerciales estudiados (criollo, variedad e híbrido) como lo indicó De la Cruz (2008), así como al diferente grado de resistencia que éstos mostraron a *S. reilianum* (Whyte y Gevers, 1988; Njuguna, 2001; Pérez y Bobadilla, 2004; Pérez *et al.*, 2006). En la fecha 1, los genotipos con rendimientos por arriba de 9000 kg ha⁻¹ fueron H-33 (11400 kg ha⁻¹), H-44, H-40, Triunfo, Cromo-034, HID-17, AS-721, H-52, Z-60, HS-2, H-50 y HID-15 (9126 kg ha⁻¹). En la fecha 2 destacaron H-44 (11612 kg ha⁻¹), AS-721, H-33, H-50, H-40, HID-17, HS-2, Triunfo, Z-60, VS-2000, H-52, H-48, AS-722, HID-15, Cóndor y A-9995 (9125 kg ha⁻¹) (Cuadro 3). Considerando la incidencia y el rendimiento, los híbridos que tuvieron baja incidencia ($\leq 3\%$) y alto rendimiento (>9000 kg ha⁻¹) fueron H-33, H-40, AS-721, HID-17, H-50, HS-2, H-52 y Z-60; otros materiales con alto rendimiento (>9000 kg ha⁻¹) e incidencias entre 3.1 y 6% fueron H-44 (3.3% de incidencia y 11363 kg ha⁻¹ de rendimiento), Triunfo, Cromo-034, HID-15 y H-48 (6% de incidencia y 9058 kg ha⁻¹ de rendimiento). Resultados similares fueron obtenidos por Pérez y Bobadilla (2004), quienes estimaron rendimientos entre 4100 a 12700 kg ha⁻¹ en el año 2002 y de 5500 a 13200 kg ha⁻¹ en el año 2003, y ellos lo atribuyeron principalmente al tipo de genotipo empleado (línea, variedad o híbrido), a la fecha de siembra utilizada y al porcentaje de plantas infectadas con carbón de la espiga; los genotipos más susceptibles también tuvieron menor rendimiento de grano. En este estudio la fecha de siembra no

resistente y en moderadamente resistente genotipos en ambos ensayos, así como la existencia de diferentes grados de respuesta de los materiales al patógeno, es conveniente hacer un ajuste a la escala de resistencia utilizada en este estudio (Njuguna, 1998, 2001), reduciendo el intervalo de incidencia en cada categoría cuando los porcentajes son relativamente bajos. O bien, proponer una escala de severidad que incluya niveles de daño en espiga y mazorca para determinar infección (%), y con ésta hacer una clasificación más precisa de la resistencia de los genotipos al carbón de la espiga.

Grain yield. In T1, the average yield of the varieties and hybrids ranged from 4241 (Nieve) to 11400 kg ha⁻¹ (H-33) and in T2 from 4380 (Criollo de Zinacantepec) to 11612 kg ha⁻¹ (H-44) (Table 3). These differences relate to the wide genetic diversity among the 35 commercial genotypes studied (native, variety and hybrid) as indicated by De la Cruz (2008), as well as the different degrees of resistance that they showed to *S. reilianum* (Whyte and Gevers, 1988; Njuguna, 2001; Pérez and Bobadilla, 2004; Pérez *et al.*, 2006). On planting date 1, the genotypes with yields above 9000 kg ha⁻¹ were H-33 (11400 kg ha⁻¹), H-44, H-40, Triunfo, Cromo-034, HID-17, AS-721, H-52, Z-60, HS-2, H-50 and HID-15 (9126 kg ha⁻¹). On planting date 2 the genotypes that stood out were H-44 (11612 kg ha⁻¹), AS-721, H-33, H-50, H-40, HID-17, HS-2, Triunfo, Z-60, VS-2000, H-52, H-48, AS-722, HID-15, Condor and A-9995 (9125 kg ha⁻¹) (Table 3). Considering the incidence and yield, the hybrids that had low incidence ($\leq 3\%$) and high yield (>9000 kg ha⁻¹) were H-33, H-40, AS-721, HID-17, H-50, HS-2, H-52 y Z-60; other materials with high yield (>9000 kg ha⁻¹) and incidences between 3.1 and 6% were H44 (3.3% incidence and 11363 kg ha⁻¹ yield), Triunfo, Cromo-034, HID-15 and H-48 (6% incidence and 9058 kg ha⁻¹ yield). Similar results were obtained by Pérez and Bobadilla (2004), who estimated yields between 4100 and 12700 kg ha⁻¹ in the year 2002 and from 5500 to 13200 kg ha⁻¹ in the year 2003, they attributed it mainly to the genotype used (parental line, variety or hybrid), to the planting date and to the percentage of plants infected with head smut; the most susceptible genotypes had a lower grain yield. In this particular study the planting date did not have influence over grain yield, because there were no early frosts (data not shown) and the varieties and hybrids of intermediate and long cycles, that were of the highest yield, were able to reach physiological maturity. So, the outstanding genotypes are recommended for the Toluca-Atzacmulco Valley, provided they are sown on the dates indicated by their cycle (De la Cruz, 2008). On the contrary, hybrids Oro Ultra, Nieve, HIT-3 and AS-820, should be removed from the market due to its high incidence of smut ($>9\%$) and low grain yield (<7200 kg ha⁻¹).

Principal component analysis. The results obtained with this technique showed that the principal components 1 (CP1) and 2 (CP2) explained 95% of the original variation (Figure 1). Thus, the approximate correlations detected in the biplot, between genotypes, between variables and between genotypes and variables, were reliable (Sánchez, 1995; González *et al.*, 2007). Positive and significant correlation was found ($p \leq 0.01$) between head smut infected plants (PI)

Cuadro 3. Incidencia (%) de carbón de la espiga (*Sporisorium reilianum*) y rendimiento de grano de variedades e híbridos comerciales de maíz (*Zea mays*).Table 3. Incidence (%) of head smut (*Sporisorium reilianum*) and grain yield in varieties and commercial hybrids of maize (*Zea mays*).

Genotipo	Espigas con carbón (%)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)		
		Semilla sin inocular	Semilla inoculada	Pormedio
A-9995	4.1	8851 h	9125 l	8988
Almoleya de Juárez	1.3	8347 jk	8368 no	8357
AS-721	2.8	9764 e	10662 b	10213
AS-722	2.5	8076 l	9376 jk	8726
AS-820	9.4	7443 m	6905 qr	7169
CML-239	12.7	1473 v	2754 y	2113
Cóndor	2.2	8266 kl	9461 ijk	8863
Criollo de Zinaacantepec	0.2	5747 qr	4380 x	5063
Cromo-034	5.7	10107 d	8326 o	9216
HID-15	3.1	9126 g	9222 kl	9174
HID-17	2.0	10018 d	10169 de	10093
HIT-3	10.7	6234 p	6839 qrs	6536
HIT-7	6.1	7389 m	8150 o	7769
HIT-9	1.1	6748 o	7608 p	7178
ICAMEX M-10	4.9	5361 s	6453 u	5907
Ixtlahuaca	4.2	7122 n	6705 rst	6913
Negro Carioca	3.7	8647 hi	7752 p	8199
Niebla	1.0	8798 h	8605 n	8701
Nieve	11.3	4241 u	5732 v	4986
H-33	2.5	11400 a	10558 bc	10979
H-40	2.3	10706 c	10371 cd	10538
H-44	3.3	11114 b	11612 a	11363
H-48	6.0	8520 ij	9596 hij	9058
H-50	2.9	9351 fg	10467 bc	9909
H-52	1.3	9538 ef	9691 ghi	9614
H-58	6.3	7261 mn	7072 q	7166
HS-2	3.0	9454 f	10050 ef	9752
Oro Ultra	11.5	4888 t	5233 w	5060
Promesa	3.0	8105 kl	8849 m	8477
Puma 1075	5.6	8033 l	7556 p	7794
Sintético Amarillo	0.8	5635 r	5962 v	5798
Triunfo	4.4	10573 c	10030 ef	10301
Volcán	5.4	5239 s	6621 stu	5930
VS-2000	4.3	8227 kl	9752 gh	8,989
VS-3030	1.3	5926 q	6483 tu	6,204
Z-60	1.5	9501 f	9898 fg	9699

Los promedios aritméticos con la misma letra dentro de columna son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

influyó en el rendimiento de grano, porque no se presentaron heladas tempranas (datos no presentados) y las variedades e híbridos de ciclos intermedio y largo, que fueron los de rendimiento más alto, pudieron llegar a madurez fisiológica. Por lo que, los genotipos sobresalientes se recomiendan para el Valle Toluca-Atlacomulco, siempre y cuando se siembren en las fechas indicadas según su ciclo (De la Cruz, 2008). Por el contrario, se sugiere que Oro Ultra, Nieve, HIT-3 y AS-820, sean retirados del mercado de semillas debido a su alta incidencia de carbón (>9%) y bajo rendimiento (<7200 kg ha⁻¹).

Análisis de componentes principales. Los

in the first (IU), in the second (ID) and in the mean of the two planting dates. The correlation between smut infected plants (PI) and the grain yield was negative and significant ($p \leq 0.01$) in both (RU, RD) and in the mean (RM) of both planting dates, but the infection in the first influenced more than in the second. In the previous context, the PC1 was defined primarily by IU and RU, while PC2 was defined mainly by ID and RM (Figure 1, Tables 2 and 3). The incidence of smut in the greater part of the varieties and hybrids was higher in the second planting date, but the disease highest values in susceptible genotypes occurred in the first date, therefore there was a higher level of influence of the disease on the

resultados obtenidos con esta técnica mostraron que los componentes principales 1 (CP1) y 2 (CP2) explicaron el 95% de la variación original (Figura 1). Así, las correlaciones aproximadas que se detectaron en el biplot, entre genotipos, entre variables y entre genotipos y variables, fueron confiables (Sánchez, 1995; González *et al.*, 2007). Se detectó correlación positiva y significativa ($p \leq 0.01$) entre plantas infectadas (PI) con carbón de la espiga en la primera (IU), en la segunda (ID) y en el promedio de las dos fechas de siembra. La correlación entre plantas infectadas por carbón (PI) y rendimiento de grano fue negativa y significativa ($p \leq 0.01$) en las dos (RU, RD) y en el promedio (RM) de ambas fechas de siembra, pero la infección en la primera influyó más que en la segunda. En el contexto anterior, la CP1 quedó definida principalmente por IU y RU, mientras que la CP2 lo fue por ID y RM (Figura 1, Cuadros 2 y 3). La incidencia de carbón de gran parte de las variedades e híbridos fue mayor en la segunda fecha, pero los valores más altos de la enfermedad en los genotipos susceptibles se presentaron en la primera fecha,

reduction of yield in the first date (Table 3).

In regards to it, Lynch *et al.* (1980) and Yao and Wang (1984), noted that maize head smut causes losses in yield between 30 and 80%, percentages higher than those were observed in this study since the highest incidence was 15%. Pérez and Bobadilla (2004) reported smut incidences of up to 54.3% in maize varieties and hybrids from Valles Altos in the state of Hidalgo. In the biplot graph it was observed that despite the *S. reilianum* attack, the grain yield in the studied genotypes was similar or higher to those reported by De la Cruz (2008). Sánchez (1988) noted that genotypes with smut infection higher than 3% should be removed from the market for being susceptible to the pathogen. But, in the opinion of De la Isla de Bauer (1991), a tolerant variety differs from a susceptible one by its good yield in the presence of the disease, even though it cannot be distinguished visually from a susceptible one. It can also be confirmed in the biplot graph that the genotypes with the highest grain yield and resistance to head smut were H-33, H-40, H-44, HID-17, Triunfo, AS-

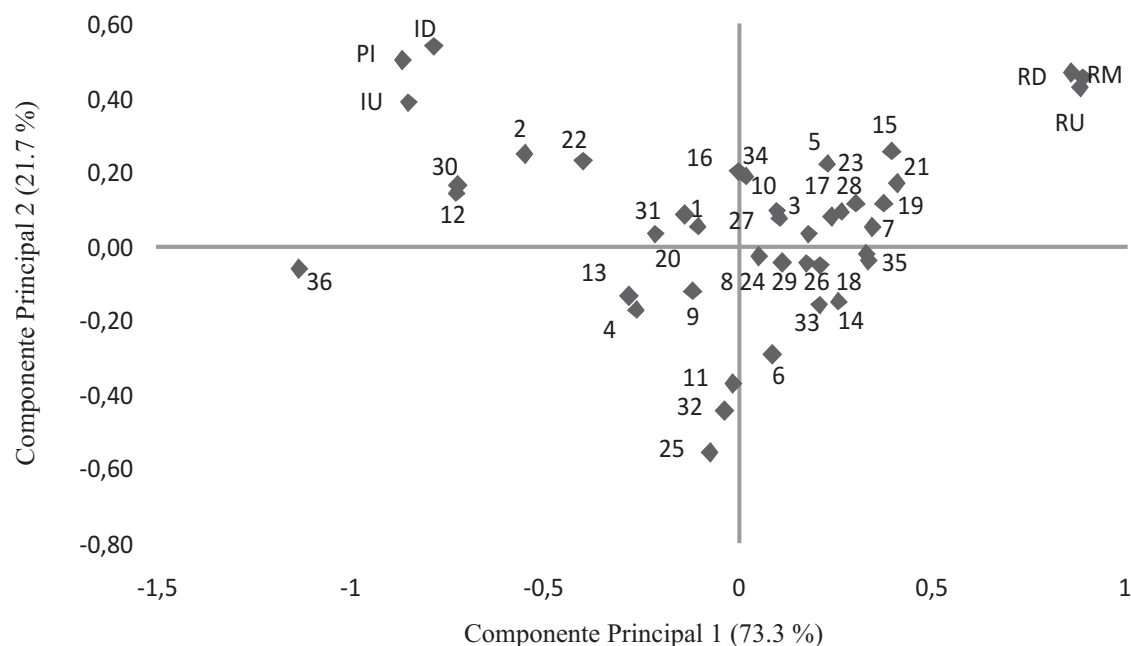


Figura 1. Interrelación entre genotipos de maíz y variables evaluadas con base en los componentes principales 1 y 2. PI= Plantas infectadas; IU= Infección en la fecha 1; ID= Infección en la fecha 2; RM= Rendimiento de grano promedio; RU= Rendimiento de grano en la fecha 1; RD= Rendimiento de grano en la fecha 2.

Figure 1. Interrelationship between evaluated variables and maize genotypes based on principal components 1 and 2. PI= Infected plants; IU= Infection on date 1; ID= Infection on date 2; RM= Mean grain yield; RU= Grain yield on date 1; RD= Grain yield on date 2.

por lo que en ésta hubo mayor influencia de la enfermedad en la reducción del rendimiento (Cuadro 3). Al respecto, Lynch *et al.* (1980) y Yao y Wang (1984), observaron que el carbón de la espiga del maíz ocasiona pérdidas en el rendimiento entre 30 y 80%, porcentajes mayores a los observados en este estudio, ya que la incidencia más alta fue de 15%. Pérez y Bobadilla (2004) reportaron incidencias de carbón hasta de 54.3% en variedades e híbridos de maíz de Valles Altos del

9.6 and 11.3 tha^{-1} and had an average infection ratio below 5%. These materials also presented high yields ($>7.7 \text{ tha}^{-1}$) and low incidences ($<4.5\%$) of *Fusarium* ear rot (*Fusarium* spp.) in the Toluca-Atlacomulco Valley (González *et al.*, 2007).

CONCLUSIONS

Commercial maize varieties and hybrids were found

estado de Hidalgo. En la gráfica de biplot también se observó que a pesar del ataque de *S. reilianum*, el rendimiento de grano en los genotipos evaluados fue similar o superior a los reportados por De la Cruz (2008). Sánchez (1988) señaló que los genotipos con infección de carbón superior al 3%, deben salir del mercado por considerarse susceptibles al patógeno. Pero, en la opinión de De la Isla de Bauer (1991), una variedad tolerante se diferencia de una susceptible por su buen rendimiento en presencia de la enfermedad, aunque visualmente no se pueda distinguir de una susceptible. En el biplot también se puede ratificar que los genotipos con mayor rendimiento de grano y resistencia a carbón de la espiga fueron H-33, H-40, H-44, HID-17, Triunfo, AS-721 y H-52, entre otros. Este grupo produjo entre 9.6 y 11.3 t ha⁻¹ y tuvo porcentajes de infección promedio inferiores al 5%. Estos materiales también presentaron altos rendimientos (>7.7 t ha⁻¹) y baja incidencia de pudrición de la mazorca por *Fusarium* spp. (<4.5%), en el Valle Toluca-Atlaconulco (González et al., 2007).

CONCLUSIONES

Se encontraron variedades e híbridos comerciales de maíz con resistencia ($\leq 3\%$ de incidencia) a *S. reilianum* y buen rendimiento de grano (>8 t ha⁻¹), entre los que destacan Niebla, H-52, Almoloya de Juárez, Z-60, HID-17, Cóndor, H-40, H-33, AS-722, AS-721, H-50, HS-2 y Promesa. La presencia de carbón de la espiga se asoció con la reducción de rendimiento en los genotipos de mayor incidencia Oro Ultra, Nieve, CML-239, AS-820 y HIT-3. Los genotipos sobresalientes podrían recomendarse para la siembra comercial, iniciar un programa de mejoramiento genético o para generar tecnología en el área de estudio.

Agradecimientos. Esta investigación fue financiada por el Grupo Produce Estado de México A. C. y forma parte del proyecto interdisciplinario No. 15-2006-0977 titulado: "Manejo integrado de plagas rizófagas y enfermedades de la mazorca del maíz". Se agradece el apoyo del personal técnico del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México (CESAVEM) en el establecimiento y conducción de los ensayos.

LITERATURA CITADA

- Baggett, J.R. and Kean, D. 1989. Reduction on plant height smut infection in sweet corn cultivars. *HortScience* 24:497-499.
- CESAVEM. 2006. Carbón de la espiga del maíz (*Sphacelotheca reiliana*). Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México. Folleto para productores. Toluca, edo. Méx., México. 8p.
- De la Cruz, D.P. 2008. Híbrido de maíz HID-15 para ambientes de Valles Altos del estado de México. ICAMEX. Metepec, edo. Méx., México. 14p.
- De la Isla de Bauer, M.L. 1991. Fitopatología. Noriega-Limusa. México, D.F. 377p.
- Duan, Y.Z., Li, X.X., Ai, F.Z., Yang, J.H. and Li, F.M. 1992. Selection and identification on resistance resource of corn head smut of Shanxi Province. *Acta Agronomica Sinica* 21:83-86.
- González, H.A., Vázquez, G.L.M., Sahagún, C.J., Rodríguez, P.J.E. y Pérez, L.D.J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura Técnica en México* 33:33-42.
- INEGI. 1998. Cuaderno estadístico municipal. Metepec, Estado de México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Toluca, edo. Méx., México. pp.1-13.
- Ingold, C.T. 1994. Products of teliospore germination in *Sporisorium* spp. *Mycological Research* 98:467-473.
- Lynch, K.V., Edgington, L.V. and Busch, I.V. 1980. Head smut a new disease of corn in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology* 2:176-178.
- Martínez, C., Jauneau, A., Roux, C., Savy, C. and Dargent, R. 2000. Early infection of maize root by *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*. *Protoplasma* 213:83-92.
- Martínez, C., Roux, C., Jauneau, A. and Dargent, R. 2002. The biological cycle of *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*: an overview using microscopy. *Mycologia* 94:505-514.
- Martínez, R.J.L. y Ledesma, M.J. 1990. Control químico del carbón de la espiga *Sphacelotheca reiliana* (Kühn) Clint., del maíz en el Valle de Zapopan, Jalisco. *Revista Mexicana de Fitopatología* 8:68-70.
- Niño, C.V., Nicolás, M.C., Pérez, L.D.J. y González, H.A. 1998. Estudio de trece híbridos y cinco variedades de maíz en tres localidades del Valle Toluca-Atlaconulco. *Revista Ciencias Agrícolas Informa* 12:33-43.
- Njuguna, J.G.M. 1998. Potential for control of head smut caused by *Sphacelotheca reiliana* in CIMMYT maize germoplasm. In: *Maize Production Technology for the Future: Challenges and Opportunities Proceeding of the Sixth Eastern and South Africa Regional Maize Conference*. CIMMYT. Addis Abeba. 399p.
- Njuguna, J.G.M. 2001. Combating head smut of maize caused by *Sphacelotheca reiliana* through resistance breeding. In: *Seventh Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference*. Pp:110-112.
- Pataky, J.K. 1999. Smuts. pp. 33-35. In: White, D.G. (ed.).

- Compendium of Corn Diseases. Third edition. APS Press. St. Paul, Minnesota, E.U.A.
- Pérez, C.J.P. y Bobadilla, M.M. 2004. Carbón de la espiga. Resultados de los ciclos agrícolas primavera-verano 2002 y 2003. Centro de Investigación Regional del Centro, INIFAP. Folleto Informativo No. 1. Pachuca, Hgo., México. 20p.
- Pérez, C.J.P., Bobadilla, M.M., Velásquez, C.G., Zacatenco, G.M.A. y Espinosa, C.A. 2006. Logros y aportaciones de la investigación en maíz de riego en el Valle del Mezquital, Hgo. Pp:55-65. In: Memorias de Veinte Años de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Campo Experimental Pachuca, Hgo. INIFAP; Pachuca, Hgo., México.
- Pradhanang, P.M. and Ghimire, S.R. 1996. Fungicide management of maize head smut (*Sphacelotheca reiliana*) by seed treatment. Tropical Agriculture 73:325-328.
- Quezada, S.A. 2010. Selección de germoplasma de maíz resistente al carbón de la espiga del maíz (*Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae*), en los Valles Altos de México. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, edo. Méx., México. 75p.
- SAGARPA. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-081-FITO-2001. Manejo y eliminación de focos de infestación de plagas, mediante el establecimiento o reordenamiento de fechas de siembra, cosecha y destrucción de residuos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Diario Oficial de la Federación, 18 de septiembre del 2002. México, D. F. 8p.
- Sánchez, G.J.J. 1995. El análisis biplot en clasificación. Revista Fitotecnia Mexicana 18:188-203.
- Sánchez, H. 1988. Enfermedades del maíz. pp.1-11. In: Teliz, D. (ed.). Enfermedades del Maíz, Frijol, Trigo y Papa. Colegio de Postgraduados. Montecillo, edo. Méx., México. 84p.
- SAS System. 1999. Statistical Analysis System, Version 8. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- SEDAGRO. 2007. Cierre agrícola 2006. Superficie cosechada y volumen de la producción de los principales productos agrícolas en temporal y riego por ciclo agrícola. Gobierno del Estado de México. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Metepec, edo. Méx., México. 1p.
- Steel, R.G.D. y Torrie, J.H. 1986. Bioestadística. Principios y Procedimientos. McGraw-Hill, México, D. F. 622p.
- Stienstra, W.C., Kommedahl, E.L., Stromberg, E.L., Matyac, C.A., Windels, C.E. and Morgan, F. 1985. Suppression of corn head smut with seed and soil treatments. Plant Disease 69:301-302.
- Stromberg, E.L., Kommedahl, T., Stienstra, W.C., Windels, C.E. and Matyac, C. 1982. Evaluation of maize hybrids and inbreds for resistance to *Sphacelotheca reiliana*. Phytopathology 72:943.
- Stromberg, E.L., Stienstra, W.C., Kommedahl, T., Matyac, C.A., Windels, C.E. and Geadeleman, J.L. 1984. Smut expression and resistance of corn to *Sphacelotheca reiliana* in Minnesota. Plant Disease 68:880-884.
- Wang, J.H. and Wang, Q.M. 1989. Study on the relation between DIMBOA and resistance to *Sphacelotheca reiliana* in maize. Acta Phytopathologica Sinica 10:187-191.
- Wang, Z.H., Li, X.H., Xie, C.X., Li, M.S., Hao, Z.F., George, M.L.C., Xiao, M.J., Gao, S.R. and Zhang, S.H. 2008. Genetic diversity in a collection of Chinese maize inbred lines for resistance to head smut caused by *Sporisorium reiliana*. Maydica 53:47-54.
- Whyte, I.V. and Gevers, H.O. 1988. Diallel analysis of resistance of eight maize inbred lines to *Sphacelotheca reiliana*. Phytopathology 78:65-68.
- Williams-Alanís, H., Pecina-Quintero, V., Montes-García, N., Racos-Cavazos, G., Zavala-García, F. y Gámez-Vázquez, A.J. 2009. Incidencia de carbón de la panoja *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon y Fullerton en híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] para grano. Revista Mexicana de Fitopatología 27:36-44.
- Wright, P.J., Fullerton, R.A. and Koolaard, J.P. 2006. Fungicide control de head smut (*Sporisorium reilianum*) of sweetcorn (*Zea mays*). New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 34:23-26.
- Yao, G.Y. and Wang, S.L. 1984. An experiment on the inoculation method for *Sphacelotheca reiliana* in sorghum. Shanxi Agricultural Science 10:9-10.