

HÍBRIDOS DE MAÍZ RESISTENTES A PUDRICIÓN DE MAZORCA EN CHIAPAS Y VERACRUZ, MÉXICO*

CORN HYBRIDS RESISTANT TO EAR ROT AT CHIAPAS AND VERACRUZ, MÉXICO

Esteban Betanzos Mendoza^{1§}, Alfonso Ramírez Fonseca¹, Bulmaro Coutiño Estrada², Néstor Espinosa Paz², Mauro Sierra Macías³, Andrés Zambada Martínez³ y Manuel Grajales Solis⁴

¹Mejoramiento Genético de Maíz hasta el 31/12/2007. Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. (fonseca.alfonso@inifap.gob.mx). ²Mejoramiento Genético de Maíz. Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. Km 3, carretera Ocozocoautla-Cintalapa, A. P. Núm. 1, 29140 Ocozocoautla, Chiapas. Tel. 01 968 68 8 29 11. (bulmaro_coutino@hotmail.com), (espinosa.nestor@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, INIFAP. Tel. 01 285 59 6 01 08. (zambada.andres@inifap.gob.mx), (sierra.mauro@inifap.gob.mx). ⁴Campo Experimental Rosario Izapa, Chiapas, INIFAP. Tel. 01 962 11 0 02 71. (grajales.manuel@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: betanzos.esteban@gmail.com.

RESUMEN

En los estados de Chiapas y Veracruz, México, la pérdida de grano por pudrición de mazorca varía de 390 a 1 030 kg ha⁻¹ por año. El objetivo de esta investigación fue identificar híbridos de maíz resistentes a la pudrición de la mazorca causada por hongos del género *Diplodia* spp. y *Fusarium* spp. En 2001 y 2002, se evaluaron en campo 20 híbridos considerados resistentes y cinco testigos en nueve localidades de los estados de Chiapas y Veracruz, México. Se utilizó un diseño experimental de látice triple 5x5. Se determinó el rendimiento de grano sano y el porcentaje de grano dañado por pudrición y se efectuó el análisis de varianza por localidad y combinado. Se identificaron híbridos con menos de 5.0% de grano dañado y alto rendimiento. No todos los híbridos de alto rendimiento mostraron resistencia a *Diplodia* y *Fusarium*. Los híbridos seleccionados por el bajo porcentaje de grano dañado mostraron resistencia intermedia. El híbrido experimental 271 x 310, produjo 900 kg ha⁻¹ más que el H-516 con 3.7% de grano dañado, por lo que se seleccionó como una opción viable para las regiones donde el daño por pudrición de la mazorca es moderado.

Palabras clave: *Diplodia*, *Fusarium*, grano dañado, resistencia.

ABSTRACT

Harvest losses caused by ear-rot in Chiapas and Veracruz, México varies from 390 to 1 030 kg ha⁻¹ per year. The objective of this research was to identify maize hybrids resistant to ear rot caused by fungi of the genus *Diplodia* spp. and *Fusarium* spp. During 2001 and 2002, 20 hybrids considered as resistant and five controls, were sown at nine location-year combinations in the states of Chiapas and Veracruz, Mexico. An experimental triple lattice design 5x5 was utilized. Analysis of variance per location and combined were performed. Undamaged grain yield and the percent of rotten grain were recorded. Hybrids with less than 5.0% of rotten grain and high yield were selected. Not all the hybrids that displayed high yield were resistant to *Diplodia* and *Fusarium*. Hybrids with less than 5% of rotten grain showed intermediate resistance. The average yield of the hybrid 271 x 310 was 900 kg ha⁻¹ higher than the control H-516 and the percentage of rotten grain was 50% lower, for these reasons it was selected as an option for regions where the incidence of this disease is moderate.

Key words: *Diplodia*, *Fusarium*, damaged grain, resistance.

* Recibido: Mayo de 2008
Aceptado: Diciembre de 2009

INTRODUCCIÓN

Producción de maíz en México

En México, durante el período 1998-2006, se produjeron de 19.7 millones de ton anuales de grano de maíz en 7.4 millones de ha; de las cuales; 84.4% se sembraron bajo condiciones de temporal (SIAP, SAGARPA, 2007). La variación en la producción nacional de un año a otro depende principalmente de la cantidad y distribución de la lluvia. Durante el período 1994-2006, la rentabilidad de este cultivo se vio afectada por incrementos sostenidos en el costo de producción sin cambios sustanciales en el precio del grano, a partir de 2007 el precio del grano se incrementó a causa de la disminución de las reservas de este cereal en los Estados Unidos de América.

En los estados de Chiapas y Veracruz, México se producen anualmente 2.8 millones de toneladas de grano de maíz, en 1.5 millones de ha, (SIAP-SAGARPA, 2007). Los factores adversos que inciden en la baja productividad (1.9 t ha^{-1}) son: sequía intraestival, suelos pobres en nutrientes, erosionados, con pendiente pronunciada, presencia de maleza, plagas y enfermedades que en conjunto reducen la producción de maíz en un millón de toneladas (Betanzos *et al.*, 2001).

Pudrición de mazorca

La pudrición de la mazorca causada por hongos de los géneros *Diplodia* y *Fusarium* provoca severas pérdidas de cosecha (INIFAP, 2000; Betanzos 2001; Garrido *et al.*, 2001), afecta la comercialización del grano (5% de daño, máximo aceptable) y constituye un problema de salud pública por las micotoxinas que producen los hongos cuando la incidencia de los patógenos y el daño es alto.

En 1999 en el estado de Chiapas, el volumen de grano rechazado por pudrición de la mazorca alcanzó 31 148 t. Para evaluar la severidad y cobertura geográfica del problema se analizaron 128 muestras provenientes de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) 01, 03 y 04, el daño observado varió 8.0 a 13.5%, con mayor incidencia de *Diplodia* que de *Fusarium* (INIFAP, 2000). En otro estudio, (Garrido *et al.*, 2001) analizaron 189 muestras de maíz, de los DDR-01 y 04, observaron 5.5% y 6.6% de grano podrido por DDR, respectivamente y el daño causado por *Diplodia* fue más alto que por *Fusarium*. El análisis de micotoxinas mostró que dos muestras rebasaron la concentración

máxima permitida para consumo humano de Aflatoxina, siete para Zerealenona y 13 para Fumosina. En el ciclo primavera verano 2002, se analizaron 261 muestras colectadas en 21 municipios de seis DDR del estado de Chiapas. Los promedios de grano podrido variaron de 4.2 a 19.7%, los más bajos se observaron en las muestras de los DDR-01 y 04, de clima cálido subhúmedo y los más altos en los DDR de clima semicálido y templado, en donde el 95% de la superficie se siembra con maíces criollos. Los resultados anteriores indican que en algunos años y localidades el ataque severo de estos hongos causa fuertes pérdidas de grano y cubre una amplia superficie que incluye la región semicálida y cálida del estado de Chiapas. También confirma que la severidad depende en buena medida de los genotipos que se cultivan.

Formas de control

El control de los agentes causales de la pudrición de la mazorca se efectúa mediante prácticas agronómicas y el uso de variedades resistentes; cualquiera de ellas, para que sea eficaz, debe alterar o interrumpir el ciclo biológico del patógeno. La infección de la mazorca por *Diplodia* ocurre en las dos semanas posteriores a la floración femenina, la mazorca se torna de color gris-café, muy ligeras y completamente podridas, con las hojas internas del totomoxtle adheridas firmemente por el crecimiento del micelio blanco. Las mazorcas infectadas más tarde no muestran evidencia externa de la enfermedad; sin embargo, en el interior se observa el moho entre los granos y parte o toda la mazorca puede estar podrida. Los cuerpos fructíferos de *Diplodia* (picnidias) se encuentran diseminadas en el totomoxtle, el olate y el grano. Las picnidias se encuentran llenas de miles de esporas que pueden ser transportadas por el viento e iniciar nuevas infecciones (University of Illinois, Extensión, 1991). El maíz es el único huésped conocido para *Diplodia* (Lips y Mills, 2004).

Prácticas agronómicas

En la región productora de maíz de EE.UU, la incidencia de la enfermedad se incrementó considerablemente a medida que se implementó la práctica de labranza de conservación (Malwick, 2001). En Sudáfrica, se observó correlación lineal positiva, entre la cantidad de rastrojo sobre el suelo y la incidencia de pudriciones por *Stenocarpella maydis* (Berg) Sutton, (*Diplodia maydis* Berg) (Flett *et al.*, 1998). En México, Betanzos (2001)

determinó el efecto de la densidad de población, fecha de siembra y fertilización, sobre la producción de grano sano y podrido en el cv. V-534, observó que los tratamientos que incrementaron la producción también incrementaron la proporción de grano podrido, la cual varió de 17.9 a 22.2%. Concluyó que estas prácticas agronómicas no constituyen *per-se* una solución al problema.

Variedades resistentes

Tomando en cuenta que la incidencia de los patógenos no es uniforme a través de años y localidades, para evaluar la resistencia se ha recurrido a diferentes métodos de inoculación artificial, épocas y dosis de esporas (Schaafsma *et al.*, 1993; Reid y Hamilton, 1996; Reid, 2003). Schaafsma *et al.* (1993), evaluaron la severidad de la pudrición de la mazorca y la contaminación de granos por micotoxinas causada por tres especies de *Fusarium* inoculados en los híbridos P3790 (resistente) y P3737 (susceptible). La inoculación se efectuó una, tres y seis semanas después de la floración femenina, asperjando los estigmas. Observaron diferencia significativa entre los híbridos, para la severidad de pudrición de mazorca. Betanzos (2001), evaluó un grupo de cruzas de maíz con resistencia a pudrición de la mazorca provenientes del Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT). Los genotipos sobresalientes produjeron de 4 019 a 5 089 kg ha⁻¹ de grano sano y la proporción grano podrido varió de 3.0 a 12.0%. Al comparar estos resultados con los observados en otro experimento (paralelo) sobre el efecto de las prácticas agronómicas, se determinó que la resistencia de los genotipos tiene mayor potencial para reducir la incidencia y severidad del ataque que las prácticas agronómicas. A partir de los resultados reportados por Espinosa (2002), se determinó que el uso de variedades resistentes es una alternativa viable para reducir la pérdida de cosecha y el riesgo de problemas de salud pública; además, es un componente tecnológico fácil de transferir (Swindale, 1979; Reid, 2003).

La acción génica de la resistencia a la pudrición de mazorca causada por *Diplodia* se debe a efectos genéticos de dominancia y en menor proporción a los aditivos (Dorrance y Hinkelmann, 1998; Olantinwo *et al.*, 1999) mientras que la resistencia a la pudrición causada por *Fusarium moniliforme* y *F. graminearum*, está gobernada predominantemente por genes de efecto aditivo (Chungu *et al.*, 1996; Reid, 2003). La mejor opción para reducir en forma significativa el daño causado por *Diplodia* y *Fusarium* es el uso de

variedades resistentes. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue detectar híbridos de crusa simple con resistencia genética a pudrición de mazorca, mediante evaluaciones en predios de productores de maíz en las regiones con clima cálido subhúmedo de los estados de Chiapas y Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

En 1999, se introdujeron once líneas del CIMMYT calificadas como resistentes a pudrición de mazorca, las cuales se observaron, seleccionaron e incrementaron en los ciclos otoño-invierno 1999-2000 y primavera-verano 2000. Se seleccionaron siete y se agregaron dos (introducidas previamente), para un total de nueve líneas: CML-1, CML-48, CML-253, CML-271, CML-272, CML-278, CML-280, CML-309 y CML-310, que en lo sucesivo se referirán por los números solamente. Las primeras cinco se seleccionaron como hembras y las otras cuatro como machos con base en la información acerca de los materiales que intervinieron en su formación y la heterosis que presentaban las poblaciones de las cuales se derivaron, (CIMMYT, 1999).

Mediante polinización manual se obtuvieron 20 cruzas simples, a las que se sumaron tres híbridos comerciales: H-514, H-515 y H-516 y dos híbridos experimentales; éstos últimos no fueron los mismos en 2001 que en 2002 y se les identifica como "testigo experimental 1" y "testigo experimental 2". Los 25 híbridos se evaluaron en los ciclos de primavera-verano de 2001 y 2002.

Localidades de evaluación

Los 25 híbridos, se evaluaron en siete predios de productores y en dos campos experimentales Cotaxtla y Centro de Chiapas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) localizados en la región cálido-húmeda y subhúmeda, donde ocurren pudriciones de mazorca (Serrano *et al.*, 2006). En total se condujeron nueve experimentos, siete en Chiapas y dos en Veracruz (Cuadro 1). Para la preparación del suelo, se utilizó labranza convencional (desvare, barbecho rastreo y surcado) en Ocozocoautla y Villaflores, en Chiapas y Cotaxtla en Veracruz y labranza cero en Ribera California y ejido Monterrey del municipio de Villacorzo, Chiapas.

Cuadro 1. Características de las localidades de evaluación de 25 híbridos de maíz para tolerancia a pudrición de mazorca. 2001 y 2002.

Localidad	Abreviatura	PP jun-oct (mm)	T. M. (°C)	Altitud (m)	Representativa de:
CECECH	Ocoz.1, 2 y 02	706	24	800	Valle de Ocozocoautla
Villaflores	16 sep	965	26	540	Vega del río Villaflores. Suelo plano, profundo, textura limo-arcillosa
Monterrey	Mont.	1 273	25	955	Lomerío, Fraylesca. Suelo somero, textura limo-arenosa. Pendiente 10%
Ribera California	R.C.	1 273	25	630	Planicie lluviosa, Fraylesca. Suelo plano, profundo, textura limo-arcillosa
Metapa	Tap.	1 647	27	93	Planicie lluviosa, Soconusco. Suelo plano profundo, textura franca
Cotaxtla	Cot.	1 058	26	40	Planicie Central, Veracruz. Suelo plano, profundo textura arcillosa
San Andrés Tuxtla	SAT	1 525	24	300	Lomerío somero

CECECH= Campo Experimental Centro de Chiapas; PP= precipitación pluvial; TM= temperatura media anual.

Establecimiento y conducción de ensayos

Se utilizó un diseño experimental en látice triple 5 x 5. La parcela experimental consistió en dos surcos de 5.50 m de largo, separados a 0.80 m. Cada surco tuvo once matas de dos plantas a 0.50 m (50 000 plantas ha⁻¹). La siembra se realizó en función del establecimiento de la estación de lluvias en cada localidad y se condujeron en todos los casos bajo “temporal estricto”. La maleza y las plagas se controlaron de manera oportuna. La fertilización se aplicó de acuerdo a la recomendación de INIFAP para cada localidad, (Betanzos *et al.*, 2002; Betanzos *et al.*, 2003).

En cada parcela se determinaron: días a floración masculina, días a floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, calificación visual de la planta y de la mazorca y producción de grano sano y podrido, expresados en kg ha⁻¹. La estimación del grano podrido se efectuó con base en la clasificación visual de acuerdo al porcentaje del área de la mazorca con granos podridos en las clases siguientes: 0, 1-10, 11-30, 31-60, 61-95, 96-100. Una vez clasificadas las mazorcas, se pesó cada clase y se tomó una muestra aleatoria para determinar contenido de humedad y porcentaje de desgrane. Determinado el peso de campo, se estimó el peso de grano podrido mediante la suma de los productos de peso de cada clase por el valor medio de esa clase; el peso de grano sano se determinó por diferencia respecto al peso total. El peso de

campo se ajustó por el porcentaje de desgrane y humedad a 14%. La presencia de *Diplodia* y *Fusarium*, se determinó por medio de los síntomas visuales en cada mazorca.

Análisis de datos

El análisis de varianza se efectuó para la producción de grano sano y podrido en kg ha⁻¹ obtenidos en cada experimento. Se calculó la DMS_{0.05} y se utilizó para identificar los híbridos que superaron al testigo comercial H-516 en producción de grano sano. Para la producción de grano podrido, la DMS_{0.05} no es el criterio adecuado para la selección de los híbridos, puesto que la norma establece 5% de grano podrido como máximo para consumo humano. En las otras variables no se observaron diferencias entre los híbridos y los testigos comerciales, que pudiera indicar que poseen ventajas o desventajas en las localidades (agrosistemas) donde se evaluaron.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección por rendimiento de grano sano

El análisis de varianza de la producción de grano sano mostró significancia para híbridos en ocho de las nueve localidades. El rendimiento promedio de grano sano de los 21 híbridos varió de 4 543 a 6 946 kg ha⁻¹ (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rendimiento de grano sano de 21 híbridos de maíz evaluados en nueve localidades de Veracruz y Chiapas. 2001 y 2002.

Híbrido	Rendimiento kg ha ⁻¹									
	Ocoz. 1	Ocoz. 2	Mont.	16 sep.	Ocoz. 02	R. C.	Tap.	Cot.	SAT	Media
1 x 278	7 052	7 364	7 453	6 547	8 026	8 629	6 225	6 851	4 042	6 910
1 x 280	5 477	7 268	7 389	4 575	7 250	8 484	5 614	5 829	4 839	6 303
1 x 309	6 968	7 598	7 160	5 259	7 205	8 755	5 174	5 807	3 670	6 400
1 x 310	8 254	7 372	7 854	5 775	7 864	10 002	6 034	7 031	4 571	7 195
48 x 278	5 124	6 081	7 786	4 525	6 298	7 806	5 509	5 828	3 657	5 846
48 x 280	6 040	6 687	6 559	3 397	6 756	8 239	5 532	5 262	4 097	5 841
48 x 309	6 778	7 819	8 011	4 414	5 888	8 846	5 754	5 450	4 533	6 388
48 x 310	8 464	7 219	6 736	6 401	7 293	8 410	5 343	6 117	5 266	6 805
253 x 278	6 620	7 671	8 056	6 198	6 264	6 939	5 201	6 729	5 475	6 573
253 x 280	5 554	7 742	6 652	5 560	6 717	7 110	5 627	5 873	5 180	6 224
253 x 309	3 937	5 552	5 421	3 866	4 652	5 958	3 410	5 376	2 715	4 543
253 x 310	5 870	8 249	7 246	6 304	7 650	8 844	5 872	6 873	5 610	6 946
271 x 278	6 050	5 998	7 457	6 240	6 623	9 624	5 276	4 905	4 174	6 261
271 x 280	6 992	7 714	7 375	6 410	*	*	5 640	6 459	5 361	
271 x 309	5 211	7 474	6 468	6 034	4 577	8 615	5 717	5 887	3 183	5 907
271 x 310	6 752	7 254	6 551	6 946	8 277	9 888	5 201	6 533	3 934	6 815
272 x 278	5 696	7 731	7 117	4 452	6 465	8 177	5 080	6 172	4 181	6 119
272 x 280	3 964	6 035	6 265	2 417	7 378	8 141	5 012	5 699	4 361	5 475
272 x 309	6 362	6 045	6 401	4 703	6 106	8 959	5 593	5 870	4 592	6 070
272 x 310	6 876	5 859	6 697	5 254	8 930	8 827	5 562	6 356	4 724	6 565
H-516	6 164	6 496	6 465	5 226	7 530	6 654	4 653	5 555	4 419	5 907
Media/Localidad	6 169	6 889	6 895	5 176	6 927	8 260	5 212	5 993	4 427	
D.M.S. 5%	2 238	1 349	1 043	929	1 761	1 018	1 425	1,476 ^{ns}	1 241	
C.V.%	26.40	9.64	9.64	11.5	15.9	9.2	17.2	13.9 ^{ns}	17.8	
H-516+DMS _{0.05}	8 402	7 845	7 508	6 155	9 291	7,672	6,078	7 031 ^{ns NS}	5 660	

*271 x 280 no se sembró en Ocoz. 02 y R. C.; ns= en Cotaxtla la F calculada no fue significativa, por lo cual no se seleccionaron híbridos.

El promedio de rendimiento de grano sano fue diferente entre localidades y varió desde 4 427 en San Andrés Tuxtla, Veracruz hasta 8 260 kg ha⁻¹ en Ribera California, Chiapas. Esto se explica por las diferentes características del clima, suelo y el manejo del cultivo en cada localidad. El alto rendimiento observado en Ribera California, se debió a que en esta localidad el suelo es plano, profundo limo-arcilloso y con abundante precipitación.

Para cada localidad se seleccionaron los híbridos que mostraron rendimiento significativamente superior al de H-516. El número de híbridos seleccionados en cada localidad fue diferente y dependió de la respuesta de H-516 en ese sitio y de la magnitud del error experimental respectivo. Se observaron tres casos contrastantes: en Ocoz. 02, el H-516 rindió 7.53 t ha⁻¹ (lo cual es alto para esa localidad), debido a esto ninguno de los híbridos lo superó; la

situación opuesta ocurrió en R.C. donde el rendimiento de H-516 fue inferior al promedio de los híbridos evaluados y en consecuencia 16 híbridos lo superaron significativamente (Cuadro 3). El otro caso se observó en SAT. donde los rendimientos fueron los mas bajos

de las nueve localidades y no se observaron diferencias significativas entre híbridos. En general, el rendimiento de H-516 fue menor en las localidades con clima más húmedo, como Ribera California y Tapachula, en Chiapas y San Andrés Tuxtla, en Veracruz.

Cuadro 3. Número de híbridos de maíz con rendimiento de grano sano superior al H-516 en nueve localidades de Veracruz y Chiapas. 2001 y 2002.

	Localidad								
	Ocoz. 1	Ocoz. 2	Mont.	16 sep.	Ocoz. 02	R. C.	Tap.	Cot.	SAT
Número de híbridos	1	1	4	7	0	16	1	0	0

En seis localidades se observaron híbridos con rendimiento de grano sano superior al H-516, entre los que destacan 271 x 278, 271 x 310 y 1 x 310 con rendimiento de 9.6, 9.9 y 10.0 t ha⁻¹, respectivamente.

Análisis de varianza combinado de producción de grano sano

En el análisis combinado no se incluyeron los testigos experimentales 1, y 2 y la cruza 271 x 280 debido a que no se incluyeron en las nueve localidades. De esta manera, el número de híbridos se redujo a 22, en nueve localidades con tres repeticiones por localidad y se analizó como bloques completos al azar. Las Fc resultantes de este análisis fueron

altamente significativas para cada una de las fuentes de variación, (Cuadro 4). El valor de este estadístico para localidades confirma lo ya mencionado de que existe diferencia en rendimiento de los híbridos bajo diferentes condiciones de humedad.

Se observaron nueve híbridos con rendimiento promedio de grano sano superior al de H-516, (Cuadro 5). Sin embargo, el valor de Fc para la interacción (localidades x híbridos) y su probabilidad, (Pr (F)), indican que no se puede afirmar categóricamente que el híbrido que en promedio fue superior, lo sea en todas las localidades. No obstante, la preselección es útil para identificar los híbridos más productivos.

Cuadro 4. Cuadrados medios, F calculada y DMS derivados del análisis combinado de grano sano, de 22 híbridos de maíz evaluados en nueve localidades de Veracruz y Chiapas. 2001 y 2002.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	Fc	Pr(F)	DMS _{0.05}
Localidades	8	92 402 391.80	112.16	<0.0001	602
Repeticiones(localidades)	18	8 148 054.60	9.89	<0.0001	
Híbridos	21	10 313 606.40	12.52	<0.0001	454
Localidades x Híbridos	168	1 484 817.30	1.80	<0.0001	839
Error	378	823 860.00			

Cuadro 5. Diferencia del promedio de rendimiento de grano sano de H-516 y los híbridos de maíz que lo superaron en nueve localidades de Veracruz y Chiapas. 2001 y 2002.

	Híbrido									
	H-516	48 x 309	1 x 309	272 x 310	253 x 278	48 x 310	271 x 310	1 x 278	253 x 310	1 x 310
Rendimiento (kg ha)	5 907	6 388	6 400	6 565	6 573	6 805	6 815	6 910	6 946	7 195
Diferencia (kg ha)	0	481	493	658	666	898	908	1 003	1 039	1 288

Selección por resistencia a pudriciones de la mazorca

El análisis de varianza de la producción de grano dañado mostró que la variación entre híbridos no fue significativa en tres localidades, al 5% de probabilidad en dos y altamente

significativa a 1% en cuatro (Cuadro 6). Para el presente trabajo, el análisis de varianza es solo indicativo de la variación entre localidades y entre híbridos. La selección de los mejores híbridos por la baja producción de grano podrido, se efectuó considerando el 15% de granopodrido como máximo permitido.

Cuadro 6. Significancia de F calculada para las fuentes de variación, de producción de grano podrido (kg ha^{-1}) en siete localidades de Chiapas y dos de Veracruz.

Fuente de variación	Localidad									
	GL	Ocoz.1	Ocoz.2	Mon.	16sep	Ocoz.02	R.C.	Tap.	Cot.	SAT
Repeticiones	2	ns	**	**	ns	ns	ns	**	ns	ns
Bloques dentro de repeticiones	12	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tratamientos	24	2.678**	ns	2.110*	ns	ns	2.318*	7.966**	47.398**	3.001**
Error	36									

Valor tabulado de Fc de tratamientos $F_{c0.05} = 1.820$, $F_{c0.01} = 2.350$; * Significativo al 5% de probabilidad; **significativo al 1% de probabilidad.

El promedio de grano dañado observado en Tapachula, Chiapas y San Andrés Tuxtla, Veracruz, superó 5%. Destaca que, el porcentaje observado en la segunda localidad fue 2.7 veces el de la primera (Cuadro 7). Lo anterior sugiere que en la localidad de San Andrés Tuxtla, Veracruz existen cepas o razas de los patógenos, diferentes a las de Chiapas, por lo que los híbridos mostraron susceptibilidad. En contraste, Ocoz. 1 y Ocoz. 2 fueron experimentos contiguos sembrados el segundo 15 días después del primero. En Ocoz. 1 se observó 5.0% de grano podrido en promedio y en Ocoz. 2, sólo 2.2%. Varios factores podrían explicar este resultado: a) tomando en cuenta que ambos experimentos se cosecharon en la misma fecha, la mazorcas maduras de la primera fecha permanecieron más tiempo en el campo, por los que los patógenos dañaron más al grano, b) que las condiciones ambientales prevalecientes en la primera fecha de siembra (Ocoz. 1) favorecieron la infección. Esta inoculación natural ocurre de una a tres semanas después de la emergencia de los estigmas, (Reid y Hamilton, 1996; University of Illinois, Extensión, 1991).

El número de híbridos con grano podrido menor al 5%, varió entre localidades, desde cero en SAT hasta 20 y 21% en Ocoz. 1 y 16 sep. Es evidente que ambos extremos no favorecen el proceso de selección de genotipos resistentes. La variación en incidencia y severidad del ataque entre

localidades ha obligado al uso de inoculación artificial para el mejoramiento del maíz por resistencia genética a estos patógenos, (Schaafsma *et al.*, 1993; Reid y Hamilton, 1996).

Las condiciones ideales para efectuar la selección fueron: alta temperatura y humedad relativa durante el período de inoculación como en la localidad Tap. donde 11 de los híbridos mostraron menos de 5% de pudrición de mazorca. Destacan los híbridos 1 x 280, 48 x 278 y 271 x 310, con menos de 5% de grano podrido en ocho localidades; es decir, mostraron mayor resistencia que los otros.

Los híbridos preseleccionados con resistencia a pudrición de la mazorca produjeron grano comercializable en ocho localidades, mientras que el testigo H-516 sólo en cuatro; por lo tanto, con el uso de alguno de estos híbridos, el productor de maíz tendría 89% de probabilidad de que el grano sea aceptado, mientras que con la siembra de H-516 la probabilidad se reduce a 44% (Cuadro 8). Si los tres híbridos preseleccionados por el bajo porcentaje de grano podrido, se seleccionan con base en rendimiento (Cuadro 5), solo el híbrido 271 x 310 cumple con ambos criterios ya que los otros dos no aparecen en el Cuadro 5; por consiguiente, este híbrido es el seleccionado.

Cuadro 7. Porcentaje de grano dañado por los hongos causantes de la pudrición de la mazorca en 19 híbridos de maíz en nueve localidades de Veracruz y Chiapas. 2001 y 2002.

Híbrido	Localidad										
	Ocoz. 1	Ocoz. 2	Mont.	16 sep.	Ocoz. 02	R. C.	Tap.	Cot.	SAT	Prom.	NLGP≤5%
1 x 278	3.9	2.3	2.8	1.2	3.4	4.5	5.9	1.8	19.0	5.0	7
1 x 280	2.5	1.8	2.4	2.4	1.0	3.0	2.4	0.3	9.9	2.8	8
1 x 309	4.4	2.8	4.0	3.1	3.2	2.5	7.6	0.8	22.3	5.6	7
1 x 310	3.0	4.6	5.0	1.7	1.2	3.0	13.7	4.2	27.3	7.1	7
48 x 278	4.2	1.2	3.9	4.7	3.6	4.8	4.2	4.7	23.7	6.1	8
48 x 280	0.6	0.3	5.6	6.6	1.7	1.4	1.8	1.2	19.4	4.3	6
48 x 309	5.0	2.6	3.8	5.0	7.8	1.1	1.5	3.9	17.4	5.3	7
48 x 310	4.6	1.1	6.0	1.6	2.7	6.8	5.6	2.1	22.6	5.9	5
253 x-278	4.2	2.5	2.4	2.5	3.1	5.1	4.2	0.3	10.9	3.9	7
253 x 280	4.0	1.2	3.9	1.4	1.0	4.5	5.8	1.1	6.3	3.2	7
253 x 309	8.2	6.2	6.9	4.0	5.5	1.7	12.9	2.3	18.7	7.4	3
253 x 310	9.9	3.5	5.0	4.3	5.2	2.8	9.8	1.8	12.5	6.1	5
271 x 278	6.2	3.4	1.8	1.9	5.9	5.0	2.8	2.9	8.4	4.3	6
271 x 280	1.4	0.3	1.5	1.6	*	*	4.5	2.1	7.8	2.9	
271 x 309	5.3	1.5	2.8	2.1	7.9	2.4	1.7	1.8	28.4	6.0	6
271 x 310	2.4	1.2	2.4	1.0	2.5	1.0	4.4	0.5	18.0	3.7	8
272 x 278	3.6	1.8	2.1	2.8	4.5	6.6	4.5	2.5	14.9	4.8	7
272 x 280	3.4	1.2	1.8	1.5	1.3	4.5	6.2	2.5	17.6	4.4	7
272 x 309	9.5	4.3	5.7	3.5	8.3	3.4	10.2	4.5	19.3	7.6	4
272 x 310	6.5	3.3	3.9	3.0	1.1	6.7	7.0	2.2	25.4	6.6	5
H-516	11.8	2.0	5.7	3.4	3.4	12.0	6.1	2.5	18.9	7.3	4
Promedio	5.0	2.2	3.7	2.9	3.9	4.5	6.5	2.6	17.5	5.4	
Nº de híbridos G.P.≤5%	14	20	16	20	14	15	10	21	0	10	

Prom.= promedio; *el híbrido (271 x 280) no se sembró en Ocoz. 02 y R. C.; NLGP≤5% = número de localidades con grano podrido menor a 5%.

Cuadro 8. Porcentaje de grano podrido de tres híbridos de maíz preseleccionados, comparados con H-516, evaluados en nueve localidades de Veracruz y Chiapas. 2001 y 2002.

Híbrido	Ocoz. 1	Ocoz. 2	Mont.	16 sep.	Ocoz- 02	R. C.	Tap.	Cot.	SAT	Prom.	NLGP≤5%
1 x 280	2.5	1.8	2.4	2.4	1.0	3.0	2.4	0.3	9.9	2.8	8
48 x 278	4.2	1.2	3.9	4.7	3.6	4.8	4.2	4.7	23.7	6.1	8
271x310	2.4	1.2	2.4	1.0	2.5	1.0	4.4	0.5	18.0	3.7	8
H-516	11.8	2.0	5.7	3.4	3.4	12.0	6.1	2.5	18.9	7.3	4

Prom.= promedio, NLGP≤5% = número de localidades con grano podrido menor a 5%.

El híbrido 271 x 310 superó significativamente al H-516 en producción de grano sano en tres localidades y en otras cinco lo superó numéricamente, por lo que el promedio de las nueve localidades superó significativamente al testigo

en 908 kg ha⁻¹; además, el porcentaje de grano podrido de 271 x 310, fue inferior a 5% en ocho localidades y el promedio de las nueve, representó 50% de lo observado en H-516. En las localidades de Ocoz. 1 y R. C. esta diferencia

a favor del 271 x 310. El testigo H-516 superó 5% de grano podrido en cinco localidades lo que aumenta la posibilidad de que el grano sea rechazado (Cuadro 9). El híbrido

seleccionado contribuirá a reducir la pérdida de grano de maíz por pudrición de mazorca, así como reducir el riesgo de problemas de salud pública.

Cuadro 9. Rendimiento de grano sano y porcentaje de grano podrido del híbrido de maíz seleccionado 271x310 y H-516 en nueve localidades de Veracruz y Chiapas. 2001 y 2002.

Híbrido	Localidad													
	Ocoz.1	Ocoz.2	Mont.	16sep. kg ha	Ocoz-02	R.C.	Tap.	Cot.	SAT	Prom.				
271x310	6 752	7 254	6 551	6 946	8 277	9 888	5 201	6 533	3 934	6 815				
H-516	6 164	6 496	6 465	5 226	7 530	6 654	4 653	5 555	4 419	5 907				
D.M.S. 5%	2 238	1 349	1 043	929	1 761	1 018	1 425	1 476	1 241	454				
					(%)									
271 x 310	2.4	1.2	2.4	1.0	2.5	1.0	4.4	0.5	18.0	3.7				
H-516 (t)	11.8	2.0	5.7	3.4	3.4	12.0	6.1	2.5	18.9	7.3				

Prom.= promedio.

CONCLUSIONES

Se identifico un híbrido de crusa simple con resistencia a pudrición de mazorca causada por hongos de los géneros *Diplodia* y *Fusarium* y rendimiento competitivo con los híbridos comerciales.

Los genotipos con mayor rendimiento no siempre fueron los que mostraron mayor resistencia a las pudriciones por *Diplodia* y *Fusarium*; por lo tanto, la variabilidad de los patógenos presentes en el trópico de Veracruz y es determinante para la selección de genotipos de maíz resistentes.

La crusa simple 271 x 310 mostró el más alto rendimiento de grano sano y el más bajo porcentaje de grano podrido.

LITERATURA CITADA

Betanzos, M. E.; Ramírez, F. A.; Espinosa, P. N. y Coutiño, E. B. 2001. Proyecto 795. Formación de variedades mejoradas de maíz, productivas y tolerantes a los factores adversos de la zona cálido subhúmeda de México. Reunión de programación y evaluación, Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocoautla, Chiapas, México. Presentación ppt.

Betanzos, M. E. 2001. Variedades resistentes, una opción para reducir la pudrición de mazorca en Chiapas, México. Agric. Téc. Méx. 27(1):57-67.

Betanzos, M. E.; Ramírez, F. A. y Coutiño, E. B. 2002. Informe 2001, del Proyecto S/N. Obtención de variedades e híbridos de maíz con resistencia a pudriciones de mazorca. INIFAP-CIRPAS-CECECH. Documento de circulación interna.

Betanzos, M. E.; Ramírez, F. A.; Coutiño, E. B.; Espinosa, P. N. y Grajales, S. M. 2003. Mejoramiento genético de maíz para la región tropical de México. Informe 2002 del investigador, Chiapas. Proyecto 900631X. INIFAP-CIRPAS-CECECH. Documento de circulación interna.

Centro Internacional de Mejoramiento Genético de Maíz y Trigo (CIMMYT) 1999. Maize inbred lines released by CIMMYT. A compilation of 424 CIMMYT maize lines(CMLs). First draft. México, D. F. 56 pp.

Chungu, C.; Mather, D. E.; Reid, L. M. and Hamilton, R. I. 1996. Inheritance of kernel resistance to *Fusarium graminearum* in maize. J. Heredity. 87(5):382-385.

Dorrance, E. A.; Hinkelmann, K. H. and Warren, H. L. 1998. Diallel analysis of *diplodia* ear rot resistance in maize. Plant Dis. 82(6):699-703.

Flett, B. C.; McLaren, N. W. and Wehner, F. C. 1998. Incidence of ear rot pathogens under alternating corn tillage practices. Plant Dis. 82(7):781-784.

- Garrido, R. E.; Espinosa, P. N. y Coutiño, E. B. 2001. Informe de los análisis de muestras de mazorcas de maíz colectadas en los DDR 01 y 04. p. CECECH, CIRPAS, INIFAP. Ocozocoautla, Chiapas. 10 pp. (Documento de Circulación Interna).
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) 2000. Pudrición de grano de maíz en Chiapas. Diagnóstico y alternativas de solución. CECECH, CIRPAS, INIFAP. 16 pp. (Documento de Trabajo).
- Lips, P. and Mills, D. 2004. Corn ear rots: *Diplodia* and *Gibberella*. CORN. News Letter-2004-32, Ohio State Univ. Extension. 3 pp.
- Malwick, D. 2001. Diplodia ear rot of corn. The pest management and crop development bulletin. Univ. Illinois Extension.
- Odriozola, E.; Odeón, A.; Cantón, G.; Correa-Luna, M.; Clemente, G. y Escande, A. 2003. Una nueva intoxicación en rastrojos de maíz: *Diplodia maydis*, causa de muerte de vaquillonas. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. www.inta.gov.ar/balcarce
- Olantinwo, R.; Kardwel, K.; Menkir, A.; Deadman, M. and Julian, A. 1999. Inheritance of resistance to *Stenocarpella macrospora* (Earle) ear rot of maize in the mid-altitude zone of Nigeria. European J. Plant Pathol. 105(6): 535-543.
- Pérez-Brito, D.; Jeffers, D.; González, L. D.; Khairallah, M.; Cortés, C. M.; Velásquez, C. G.; Aspiroz, R. S. y Srinivasan, G. 2001. Cartografía de QTL de la resistencia a la pudrición de la mazorca (*Fusarium moniliforme*) en maíz de Valles Altos de México. Agrociencia 35(2):181-196.
- Presello, D. A.; Botta, G. e Iglesias, J. 2004. Podredumbre de la espiga de maíz y micotoxinas asociadas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Pergamino, Buenos Aires, Argentina. IDIA XXI Núm. 6:151-157.
- Reid, L. and Hamilton, R. I. 1996. Screening maize for resistance to Gibberella ear rot. Technical bulletin 1996-5E. Eastern cereal and oilseed research centre. Ottawa, Ontario, Canada. 40 pp.
- Reid, L. 2003. Breeding corn with improvement resistance. Corn Breeding, Agriculture and Agri-Food Canada. Central experimental farm, Ottawa.
- Schaafsma, A. W.; Miller, J. D.; Savard, M. E. and Ewing, R. J. 1993. Ear rot development and mycotoxin production in corn in relation to inoculation method, corn hybrid, and species of Fusarium. Can. J. Plant Pathol. 15(3):185-192.
- Serrano-Altamirano, V.; Diaz-Padilla, G.; López-Luna, A.; Cano-García, M. A.; Baéz-González, A. D. y Garrido-Ramírez, E. R. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Chiapas. (Período 1961-2003). INIFAP, SAGARPA: Ocozocoautla, Chiapas, México. 186 pp. (Libro Técnico Núm. 1).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), SAGARPA. 2007. http://www_siap.sagarpa.gob.mx (Consultado el 16 de agosto de 2007).
- Swindale, L. D. 1980. Problems and concepts of agrotechnology transfer within the tropics. In development and transfer of technology for rainfed agriculture and the sat farmer. Vrinda Kumble Ed. Proceedings of the inaugural symposium at ICRISAT. Andhra Pradesh, India. p. 73-81.
- University of Illinois Extension. 1991. Corn ear and kernels rots. Report on plant dis. RPD No. 205. IPM Integrated pest management. Univ. Illinois.