

REACCIÓN DE CULTIVARES COMERCIALES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) A LA INOCULACIÓN MECÁNICA CON TRES POTYVIRUS

Rubén Rodríguez-Orsorio¹, Mario José Garrido¹, Rosana Figueroa¹,
Orangel Borges¹ y Miriam Brito¹

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar la reacción de 21 cultivares comerciales de maíz a la inoculación mecánica con las razas MDMV-V, MDMV-A, SCMV-MB y JGMV-O se realizaron cuatro ensayos, uno por cada raza viral, utilizando un diseño completamente aleatorizado con 21 tratamientos (cultivares), cinco réplicas por tratamiento y cuatro plantas por réplica, bajo condiciones de invernadero (23-27 °C, 51-78 % HR, 15.000 lux) en Maracay, Aragua, Venezuela. Los cultivares evaluados fueron Danac 344, Danac 255, Danac 374, DK 2045, DK 7088, DK 370, Dow 2382, Dow 2384, Dow 2B710, INIA SQ-2, Fonaiap 1, Turén 2000, P 4063, P 4082, P 30F35, Dorado 5, Sefloarca 108, Sefloarca 02, SK 5071, SK 4008 e Himeca 2020. Las plantas fueron inoculadas a los 7 y 14 días después de la siembra. Para la evaluación se utilizó el índice de la enfermedad (IE), el cual se obtuvo mediante la ecuación: $IE = 4W + 3X + 2Y + Z$, que es igual al porcentaje acumulado de plantas enfermas a los 6, 11, 16 y 28 días después de la primera inoculación, respectivamente. El análisis de los resultados se realizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparaciones entre tratamientos. Pocos cultivares resultaron resistentes a las razas MDMV-V y SCMV-MB, que son las más severas y agresivas; sin embargo, la mayoría presentó un buen grado de resistencia al MDMV-A y JGMV-O. Los cultivares más promisorios ante las cuatro razas virales fueron DK 7088, DK 370, Dow 2B710, Danac 344 y Dorado 5.

Palabras clave adicionales: JGMV, MDMV, SCMV, raza viral, resistencia

ABSTRACT

Reaction of commercial cultivars of maize (*Zea mays* L.) to mechanical inoculation with three potyvirus

In order to evaluate the reaction of 21 maize cultivars to the mechanical inoculation with the strains MDMV-V, MDMV-A, SCMV-MB, and JGMV-O four trials, one for each viral strain, were conducted using a completely randomized design with 21 treatments (cultivars), five replicates per treatment and four plants/replica, under greenhouse conditions (23-27 °C, 51-78 % RH, 15.000 lux) in Maracay, Aragua State, Venezuela. The cultivars evaluated were Danac 344, Danac 255, Danac 374, DK 2045, DK 7088, DK 370, Dow 2382, Dow 2384, Dow 2B710, INIA SQ-2, Fonaiap 1, Turén 2000, P 4063, P 4082, P 30F35, Dorado 5, Sefloarca 108, Sefloarca 02, SK 5071, SK 4008 and Himeca 2020. The plants were inoculated at 7 and 14 days after planting. During the evaluation, the disease index (DI) was determined as follows: $DI = 4W + 3X + 2Y + Z$, where W, X, Y and Z represent the total percentage of plants with symptoms by 6, 11, 16, and 28 days after the first inoculation, respectively. For the analysis of the results a Kruskal-Wallis nonparametric test for multiple comparisons among treatments was applied. Few cultivars responded effectively to the strains MDMV-V and SCMV-MB, which are the most severe and aggressive; however, almost all were resistant to MDMV-A and JGMV-O. Cultivars with the best performance to the four viral strains were DK 7088, DK 370, Dow 2B710, Danac 344 and Dorado 5.

Additional key words: JGMV, MDMV, SCMV, resistance, viral strain

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, el maíz figura entre los cereales de mayor importancia. Desde la época colonial ha sido el cultivo anual más ampliamente extendido, por ser la base energética de la alimentación en la

mayor parte de la población y por su fácil adaptación a diversas condiciones de clima, suelos y pisos altitudinales (González, 2000). En el 2013 se alcanzó una producción de 2.247.044 Mg, con una superficie sembrada de 615.097 ha y un rendimiento de 3.653 kg·ha⁻¹ (FEDEAGRO,

Recibido: Noviembre 4, 2014

Aceptado: Marzo 9, 2015

¹Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay, Venezuela.
e-mail: mariojgarrido@gmail.com

2014), lo cual representa aproximadamente el 15 % de la producción agrícola nacional y el 30 % de la superficie cultivada del país (INIA, 2012).

El cultivo del maíz, aunque es de reconocida adaptabilidad y con buena resistencia, es afectado frecuentemente por enfermedades causadas por diferentes patógenos, tales como bacterias, hongos, virus y fitoplasmas, los cuales alteran su normal desarrollo, pudiendo llegar a la reducción o incluso la pérdida total de su producción (Malaguti, 2000). De éstas, las de origen viral revisten gran importancia, debido a las pérdidas económicas que ocasionan en cultivares susceptibles. En la mayoría de los casos las medidas de control químico no son eficaces y, por lo general, no se dispone de materiales resistentes a los principales virus y sus razas (Lapierre y Signoret, 2004).

El maíz es hospedante natural de más de 50 virus y experimentalmente es infectado por otros 30 (Lapierre y Signoret, 2004). En Venezuela, han sido identificados varios virus que infectan este cereal, los cuales son: virus del mosaico del maíz o “enanismo rayado” (*Maize mosaic nucleorhabdovirus*, MMV) (Malaguti, 2000), virus del mosaico de la caña de azúcar (*Sugarcane mosaic potyvirus*, SCMV) (D’Lima y Garrido, 1995), virus del estriado del maíz u “hoja blanca” (*Maize stripe tenuivirus*, MSpV) (Lastra y Trujillo, 1977), virus del rayado fino del maíz (*Maize rayado fino marafivirus*, MRFV) (Lastra y Cuello, 1980), virus del mosaico enanizante del maíz (*Maize dwarf mosaic potyvirus*, MDMV) (Garrido y Trujillo, 1988) y virus del mosaico del pasto johnson (*Johnsongrass mosaic potyvirus*, JGMV) (Mariño et al., 2010).

En la mayoría de las zonas productoras de maíz en Venezuela, los síntomas virales predominantes en el cultivo son moteado y mosaico de diferentes intensidades, generalmente, asociados a potyvirus (Cuello y Garrido, 1995; Malaguti, 2000; Mariño et al., 2010). En esta investigación se utilizaron los potyvirus MDMV, SCMV y JGMV, de los cuales han sido identificadas en el país infectando al maíz en condiciones naturales las razas SCMV-MB (D’Lima y Garrido, 1995), MDMV-A (Rangel et al., 1995), MDMV-V (Garrido y Trujillo, 1988) y JGMV-O (Mariño et al., 2010).

En el ámbito mundial, el género *Potyvirus* es responsable de cuantiosas pérdidas económicas

en numerosos cultivos de interés agrícola, incluyendo al maíz (Shukla et al., 1994; Lapierre y Signoret, 2004). Sus especies pueden ser transmitidas a través de la semilla, mecánicamente y de forma no persistente por numerosas especies de áfidos. Presentan partículas filamentosas flexuosas (680-900 x 11-13 nm) y tienen como genoma una cadena simple de ARN. Todas las especies forman inclusiones citoplasmáticas cilíndricas durante la infección (Shukla y Teakle, 1989; Ford et al., 1989; Teakle et al., 1989). Los potyvirus que infectan a especies de Poaceae tienen el rango de hospedantes restringido a esta familia y los síntomas principales que inducen en maíz son moteado, mosaico, estrías cloróticas, reducción del tamaño de la planta y mazorcas pequeñas con pocos granos (Lapierre y Signoret, 2004).

Las enfermedades causadas por potyvirus no pueden ser controladas una vez que la planta es infectada, al igual que ocurre con otras enfermedades virales. Por otro lado, la transmisión por áfidos del tipo no persistente representa un desafío para las estrategias de prevención y control de estas patologías. Su modo de alimentación con inserciones cortas, de pocos segundos y su capacidad de inocular el virus de igual manera en plantas sanas, hace poco eficiente el control químico, ya que no evita la difusión de la infección sino que la aumenta al favorecer el desplazamiento de los áfidos planta a planta (Díaz et al., 2010). Sin embargo, un conjunto de medidas de manejo integrado de estas enfermedades pudieran evitar la introducción de virus a plantaciones sanas, evitar su diseminación o disminuir sus efectos sobre el rendimiento (Varón y Sarría, 2007). Por esta razón, es importante conocer la reacción de los diferentes cultivares ante los virus que los infectan, de tal manera de seleccionar los más aptos para la siembra y evitar o minimizar las pérdidas que éstos ocasionan.

Para los virus antes mencionados no existe información actualizada sobre su distribución en el país y tampoco del comportamiento ante dichos patógenos de los cultivares comerciales de maíz que se siembran actualmente. Por esta razón, se realizó este trabajo con el objetivo de evaluar la reacción de 21 cultivares comerciales de maíz a la inoculación mecánica con cuatro razas de los potyvirus MDMV, SCMV y JGMV.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio de Virología Vegetal y Bacterias Fitopatógenas del Instituto de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela (UCV), Maracay, estado Aragua.

Se utilizaron 21 cultivares comerciales de maíz provenientes de siete empresas de los sectores privado y oficial distribuidoras de semilla en el país (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cultivares de maíz, empresa productora, origen y color del grano

Cultivar	Empresa	Origen	Color del grano
Danac 255	Danac	Nacional	Blanco
Danac 344			Blanco
Danac 374			Blanco
DK 2045	Monsanto	Importado	Blanco
DK 370			Blanco
DK 7088			Amarillo
Dow 2382	Dow AgroSciences	Importado	Blanco
Dow 2384			Blanco
Dow 2B710			Amarillo
INIA SQ-2	INIA	Nacional	Blanco
Turén 2000			Blanco
Fonaiap 1			Amarillo
P 4063	Pioneer	Importado	Blanco
P 4082			Blanco
P 30F35			Amarillo
Sefloarca 02	Sefloarca	Nacional	Blanco
Sefloarca 108			Blanco
Dorado 5			Amarillo
Himeca 2020	Sehiveca	Nacional	Blanco
SK 4008			Blanco
SK 5071			Amarillo

Aislamientos virales. Las cuatro razas de los tres potyvirus utilizados (SCMV-MB, MDMV-A, MDMV-V y JGMV-O) fueron suministradas por el Laboratorio de Virología Vegetal y Bacterias Fitopatógenas de la Facultad de Agronomía, UCV. Estos aislamientos se mantuvieron en plantas de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] o pasto johnson [*Sorghum halepense* (L.) Pers.] por transferencias periódicas mediante inoculación mecánica. Para su propagación se usaron los cultivares de sorgo 'Río', 'Criollo 1' y 'Criollo 27'. Éstos fueron sembrados e inoculados a la edad de 7 días y se utilizaron a la edad comprendida entre 15 y 25 días, siempre garantizando una sincronía en la edad de la fuente de inóculo con respecto a

las inoculaciones de los ensayos.

Siembra y mantenimiento de plantas. Para la siembra se utilizaron vasos plásticos de 476 mL de capacidad, que contenían una mezcla de tierra negra, arena y materia orgánica en la proporción 5:1:1, v/v/v, respectivamente, a razón de 6-8 semillas/vaso, dependiendo del porcentaje de germinación de cada cultivar para garantizar las cuatro plantas requeridas. Las semillas fueron cubiertas con una capa de tierra de aproximadamente 1 cm de espesor.

Después de la siembra, los 21 cultivares comerciales de maíz fueron colocados en un invernadero libre de insectos y bajo condiciones de temperatura y humedad parcialmente controladas (23-27 °C; 51-78 % HR, 15.000 lux). Las plantas se regaron diariamente y se fertilizaron a intervalos semanales con una fórmula comercial NPK (12-12-17 + 5S) a razón de 2 g·L⁻¹ con el fin de mantenerlas en un estado nutricional adecuado. Como medida preventiva adicional se efectuaron aplicaciones semanales de los insecticidas Corsario 225 CE (i.a. Diazinon + Cipermetrina), 1L·ha⁻¹ y Vydate (i.a. Omaxamyl), 1L·ha⁻¹, en forma alterna. Asimismo, se aplicaron los fungicidas Promess (i.a. Propamocarb hydrochloride), 2 mL·L⁻¹ y Validacin (i.a. Validacina A), 1 L·ha⁻¹, de la misma manera.

Inoculación mecánica. Se utilizaron hojas jóvenes de plantas de sorgo con síntomas típicos del virus, sin la nervadura principal, las cuales se cortaron finamente y fueron maceradas en un mortero frío en presencia de *buffer* fosfato 0,1 M + 1 % de sulfito de sodio, pH 8, en la relación 1:5 p/v (g·mL⁻¹); este procedimiento se usó con cada raza viral evaluada. El macerado se filtró con una malla fina (organza) para obtener la savia infectiva, a la cual se le adicionó carborundo 600 (ca 2 %) y con el dedo índice se aplicó sobre la lámina foliar de las plantas de maíz de 7 días de edad del cultivar a evaluar. Luego, se lavaron las hojas de las plantas inoculadas con agua para eliminar los restos del abrasivo y savia infectiva (Walkey, 1985). Finalmente, se llevaron a un invernadero bajo las condiciones antes descritas. Las plantas se inocularon dos veces, a los 7 y 14 días después de la siembra (dds), modificándose el protocolo original (Kuhn y Smith, 1977), el cual establece una sola inoculación (8-10 dds) para condiciones de laboratorio.

Testigos. En cada ensayo se dejó una planta sin inocular por cultivar, la cual representó el testigo;

adicionalmente, se utilizaron testigos susceptibles en cada inoculación para comprobar la viabilidad del inóculo. Para ello, se utilizaron los cultivares de sorgo: 'Río' para el SCMV-MB, 'Criollo 27' en el caso del JGMV-O y 'Criollo 1' para MDMV-A y MDMV-V.

Retroinoculación. Se realizó con la finalidad de evaluar aquellos cultivares que no desarrollaron síntomas, para evidenciar o descartar la existencia del virus en plantas asintomáticas. Para ello, se sembraron cultivares susceptibles a cada raza viral, 6 días antes de la última evaluación; finalizada ésta, se inocularon mecánicamente esos cultivares con una muestra compuesta de hojas pertenecientes a cada cultivar que no desarrolló síntomas. Este procedimiento se realizó en cada uno de los ensayos.

Diseño, metodología de evaluación y análisis de experimentos. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 21 tratamientos (cultivares) y 5 réplicas por tratamiento, para un total de 20 plantas/tratamiento (4 plantas/réplica) para cada raza viral. Es decir, cuatro ensayos, los cuales fueron establecidos con una separación de 10 a 12 días. Para la evaluación se siguió la metodología descrita por Kuhn y Smith (1977), la cual se basa en la estimación del índice de la enfermedad (IE). Éste se obtuvo a través de la ecuación siguiente: $IE = 4W + 3X + 2Y + Z$, donde W, X, Y y Z representan el porcentaje acumulado de plantas enfermas a los 6, 11, 16 y 28 días después de la primera inoculación, respectivamente, lo cual a su vez representa las cuatro evaluaciones realizadas a cada ensayo. Durante estas evaluaciones, aquellas plantas que mostraron síntomas claramente visibles fueron cortadas y registradas. Los valores del IE están relacionados a la resistencia y susceptibilidad de la forma siguiente: Resistente = 0-350; Intermedia = 351-650; Susceptible = 651-1000 (Kuhn y Smith, 1977). Para el análisis de los resultados se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis y prueba de medias de rango para comparaciones múltiples entre tratamientos utilizando el programa Statistix 8.0.

RESULTADOS

Los síntomas causados por las cuatro razas virales en los cultivares utilizados presentaron gran similitud, predominando un moteado o mosaico; sin embargo, en el caso del MDMV-V y

SCMV-MB las plantas mostraron síntomas de mayor severidad. En algunas plantas inoculadas con estas razas se observó que los síntomas variaban al pasar los días, de un mosaico típico a estrías cloróticas, las cuales podían ser continuas o interrumpidas.

Los síntomas se iniciaban a los 5-11 días después de la inoculación mecánica para el caso de las razas MDMV-V y SCMV-MB, mientras que en las plantas inoculadas con el MDMV-A y JGMV-O los síntomas fueron poco severos y aparecían más tardíamente, presentándose entre 16 y 28 días después de la inoculación. En forma general, los síntomas iniciales eran pequeñas áreas cloróticas o moteado, que generalmente comenzaban en la base de las hojas jóvenes y originaban posteriormente síntomas característicos de mosaico, el cual abarcaba toda la hoja incluyendo las nervaduras y áreas internervales. En ningún caso se observó necrosis en las plantas de los cultivares evaluados y la prueba de retroinoculación no determinó cultivares infectados asintomáticos.

Evaluación de cultivares de maíz. Los resultados de esta evaluación se resumen en los Cuadros 2 al 6. El análisis estadístico permitió detectar diferencias altamente significativas para los potyvirus MDMV-V y SCMV-MB, separándose los cultivares en grupos que se pueden hacer corresponder con categorías según el grado de susceptibilidad o resistencia. En el caso del MDMV-A y JGMV-O no se detectaron diferencias significativas entre cultivares; por lo tanto, fueron ubicados en un solo grupo, correspondiendo a la categoría de resistente según el IE (Kuhn y Smith, 1977).

En el primer ensayo, inoculado con el MDMV-V (Cuadro 2), la prueba de medias estableció tres grupos con diferencias significativas ($\alpha=0,05$). El primero conformado por DK 7088 hasta Himeca 2020; el segundo por Dow 2B710 hasta P 4063; y el tercero por DK 370 hasta SK 5071. El análisis evidenció que el cultivar DK 7088 sólo es diferente de Danac 255, P 4063 y SK 5071. Por otra parte, DK 7088, Dow 2B710 y Dorado 5 son distintos de SK 5071. A pesar que entre algunos cultivares no existen diferencias significativas, se observaron diferencias biológicas muy evidentes; tal es el caso de los cultivares DK 7088 e Himeca 2020. El primero de ellos no fue infectado por esta raza, mientras que el segundo presentó 80 % de

infección y un IE de 465. Los cultivares que presentaron el mejor comportamiento ante la raza MDMV-V fueron DK 7088, Dow 2B710, Dorado 5, DK 370 y Danac 344, con 35 % máximo de infección y un valor de 35 como IE máximo.

Cuadro 2. Porcentaje de infección, índice de la enfermedad (IE) y prueba de rango de Kruskal-Wallis para la variable IE de 21 cultivares de maíz inoculados mecánicamente con el MDMV-V

Cultivar	Infección (%)	Índice de la enfermedad	Rango promedio
DK 7088	0	0	11,5 a
Dow 2B710	5	5	14,7 ab
Dorado 5	10	10	17,9 ab
DK 370	15	25	20,3 abc
Danac 344	15	35	24,5 abc
DK 2045	35	115	38,0 abc
Dow 2382	45	115	38,6 abc
Dow 2384	55	130	43,3 abc
Danac 374	45	140	45,1 abc
INIA SQ-2	40	170	47,1 abc
Turén 2000	35	235	53,6 abc
Sefloarca 02	55	305	61,4 abc
Fonaiap 1	55	310	66,0 abc
P 30F35	70	410	68,2 abc
Sefloarca 108	55	365	69,2 abc
P 4082	65	485	77,6 abc
SK 4008	70	420	79,2 abc
Himeca 2020	80	465	80,0 abc
Danac 255	85	445	82,3 bc
P 4063	75	470	83,6 bc
SK 5071	75	555	90,9 c

IE = 0-350, resistente; 351-650, intermedio; 651-1000, susceptible. Medias con una misma letra no son significativamente diferentes ($\alpha=0,05$)

En el segundo ensayo, inoculado con el SCMV-MB (Cuadro 3), la prueba de medias estableció dos grupos con diferencias significativas ($\alpha=0,05$). El primero, conformado por los cultivares DK 2045 hasta P 30F35, los cuales difieren solamente del cultivar P 4082. El segundo, constituido por Danac 344 hasta P 4082. Los cultivares DK 2045, DK 7088, Dow 2B710, Danac 344 y DK 370 presentaron el mejor comportamiento ante esta raza viral, y de éstos solo los tres primeros difirieron estadísticamente del cultivar P 4082. En este ensayo, al igual que con la raza anterior (MDMV-V), entre algunos cultivares se detectaron marcadas diferencias en los parámetros evaluados, a pesar de no existir

diferencias significativas entre ellos; tal es el caso de los cultivares DK 2045 y P 30F35. El primero de ellos no fue infectado por el SCMV-MB, mientras que el segundo presentó 95 % de infección y un IE de 525.

Cuadro 3. Porcentaje de infección, índice de la enfermedad (IE) y prueba de rango de Kruskal-Wallis para la variable IE de 21 cultivares de maíz inoculados mecánicamente con el SCMV-MB

Cultivar	Infección (%)	Índice de la enfermedad	Rango promedio
DK 2045	0	0	14,5 a
DK 7088	0	0	14,5 a
Dow 2B710	0	0	14,5 a
Danac 344	10	20	24,4 ab
DK 370	10	20	24,4 ab
Dow 2382	20	30	32,0 ab
Dorado 5	25	60	33,2 ab
Dow 2384	30	75	43,1 ab
Fonaiap 1	40	155	47,0 ab
Turén 2000	35	135	48,6 ab
SK 4008	55	200	54,3 ab
Danac 374	55	230	57,5 ab
Sefloarca 108	65	305	65,7 ab
Himeca 2020	65	380	67,6 ab
INIA SQ-2	75	350	69,5 ab
SK 5071	85	465	79,4 ab
Danac 255	85	465	79,6 ab
Sefloarca 02	85	520	81,7 ab
P 4063	85	525	84,4 ab
P 30F35	95	525	84,4 ab
P 4082	90	645	92,7 b

IE = 0-350, resistente; 351-650, intermedio; 651-1000, susceptible. Medias con una misma letra no son significativamente diferentes ($\alpha=0,05$)

En el tercer y cuarto ensayo, inoculados con las razas MDMV-A y JGMV-O, respectivamente (Cuadros 4 y 5), no se generaron grupos homogéneos al realizar la prueba de medias ($\alpha=0,05$); por lo tanto, no se puede afirmar estadísticamente que uno o más tratamientos son mejores que los otros, en términos del IE. En ambos casos, los cultivares fueron ubicados en un solo grupo, que según el IE corresponde a resistente.

Es importante reiterar que con las razas MDMV-V, SCMV-MB y MDMV-A, entre algunos cultivares bajo un mismo grupo, sin diferencias significativas entre ellos, existen diferencias biológicas que pueden permitir

establecer subgrupos con base en el porcentaje de infección y el IE.

Cuadro 4. Porcentaje de infección, índice de la enfermedad (IE) y prueba de rango de Kruskal-Wallis para la variable IE de 21 cultivares de maíz inoculados mecánicamente con el MDMV-A

Cultivar	Infección (%)	Índice de la enfermedad	Rango promedio
Danac 344	0	0	29,5 a
DK 2045	0	0	29,5 a
DK 7088	0	0	29,5 a
DK 370	0	0	29,5 a
Dow 2382	0	0	29,5 a
Dow 2B710	0	0	29,5 a
Dorado 5	0	0	29,5 a
SK 5071	5	5	36,4 a
Turén 2000	5	15	39,7 a
Dow 2384	10	10	43,3 a
SK 4008	10	10	43,3 a
Himeca 2020	15	45	52,7 a
INIA SQ-2	25	45	58,0 a
Sefloarca 108	35	45	59,8 a
P 4063	25	80	72,6 a
Danac 374	35	65	75,7 a
Danac 255	45	165	82,3 a
Sefloarca 02	40	110	82,9 a
Fonaiap 1	40	100	84,5 a
P 4082	60	140	86,9 a
P 30F35	60	130	88,4 a

IE = 0-350, resistente; 351-650, intermedio; 651-1000, susceptible. Medias con una misma letra no son significativamente diferentes ($\alpha=0,05$)

El Cuadro 6 permite realizar una comparación entre todas las interacciones (raza x cultivar) utilizando el IE y el porcentaje de infección, para ubicar cada interacción en uno de los cuatro grupos diferenciados mediante tonalidades de grises, las cuales representan intervalos de porcentaje de plantas infectadas. Asimismo, permite visualizar rápidamente la reacción de los cultivares ante las cuatro razas virales y la agresividad de éstas.

DISCUSIÓN

Es difícil relacionar los resultados de esta investigación con la información disponible en la literatura estrechamente relacionada con el tema, para tratar de valorar su significación y determinar en qué medida reafirman o modifican el

conocimiento sobre el comportamiento de los materiales evaluados. Esto es debido a que en la literatura consultada no se encontró información relacionada con los cultivares probados frente a las cuatro razas virales, con la excepción del trabajo de Mariño et al. (2009).

Cuadro 5. Porcentaje de infección, índice de la enfermedad (IE) y prueba de rango de Kruskal-Wallis para la variable IE de 21 cultivares de maíz inoculados mecánicamente con el JGMV-O

Cultivar	Infección (%)	Índice de la enfermedad	Rango promedio
Danac 344	0	0	45,5 a
Danac 255	0	0	45,5 a
Danac 374	0	0	45,5 a
DK 2045	0	0	45,5 a
DK 7088	0	0	45,5 a
DK 370	0	0	45,5 a
Dow 2382	0	0	45,5 a
Fonaiap 1	0	0	45,5 a
Turén 2000	0	0	45,5 a
Dorado 5	0	0	45,5 a
SK 5071	0	0	45,5 a
SK 4008	0	0	45,5 a
Dow 2384	5	5	54,8 a
Sefloarca 108	5	5	54,8 a
Dow 2B710	5	15	56,0 a
INIA SQ-2	5	15	56,0 a
P 30F35	10	20	56,9 a
Sefloarca 02	15	35	67,4 a
Himeca 2020	15	45	67,7 a
P 4063	20	30	75,0 a
P 4082	25	65	78,4 a

IE = 0-350, resistente; 351-650, intermedio; 651-1000, susceptible. Medias con una misma letra no son significativamente diferentes ($\alpha=0,05$).

Los resultados obtenidos en la evaluación de los cultivares ante el JGMV-O fueron similares a los encontrados por Mariño et al. (2009) para el caso de los cultivares Sefloarca 108 y Dorado 5. El resto de los materiales no fueron evaluados por los citados investigadores. Sin embargo, el comportamiento de los otros cultivares fue similar al obtenido en esta investigación; es decir, mostraron un buen nivel de resistencia para esta raza viral.

Los cultivares de maíz evaluados representan una porción significativa de los materiales que actualmente se comercializan y se siembran en el país. Por lo tanto, se podría inferir que los resultados obtenidos no son los más deseables para

los productores de maíz, debido a que se detectaron muy pocos materiales que responden eficazmente ante las razas MDMV-V y SCMV-MB que son las más severas y agresivas. Sin embargo, presentaron un mejor comportamiento frente a las otras dos razas virales, de las cuales se conoce muy poco sobre su diseminación en el país. Los cultivares con el mejor comportamiento ante las cuatro razas virales fueron DK 7088, DK 370, Dow 2B710, Danac 344 y Dorado 5 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores del índice de la enfermedad y del porcentaje de infección en cada interacción cultivar x raza viral

Cultivar	MDMV-V	SCMV-MB	MDMV-A	JGMV-O
DK 2045	115/35 ^(1,2)	0/0	0/0	0/0
DK 7088	0/0	0/0	0/0	0/0
DK 370	25/15	20/10	0/0	0/0
Dow 2382	115/45	30/20	0/0	0/0
Dow 2384	130/55	75/30	10/10	5/5
Dow 2B710	5/5	0/0	0/0	15/5
P 4063	470/75	525/85	80/25	30/20
P 4082	485/65	645/90	140/60	65/25
P 30F35	410/70	525/95	130/60	20/10
Danac 344	35/15	20/10	0/0	0/0
Danac 255	445/85	465/85	165/45	0/0
Danac 374	140/45	230/55	65/35	0/0
INIA SQ-2	170/40	350/75	45/25	15/5
Fonaiap 1	310/55	155/40	100/40	0/0
Turén 2000	235/35	135/35	15/5	0/0
Dorado 5	10/10	60/25	0/0	0/0
Sefloarca 108	365/55	305/65	45/35	5/5
Sefloarca 02	305/55	520/85	110/40	35/15
SK 5071	555/75	465/85	5/5	0/0
SK 4008	420/70	200/55	10/10	0/0
Himeca 2020	465/80	380/65	45/15	45/15

⁽¹⁾ Los valores de cada casilla corresponden al IE y al porcentaje de infección, respectivamente, de cada interacción. ⁽²⁾ La tonalidad de la casilla indica un intervalo de porcentaje de plantas infectadas: Tramado = 0-10 %; Gris oscuro = 11-30 %; Gris claro = 31-60 %; Blanco = 61-100 %

Del análisis de los resultados se evidencia que, generalmente, si un cultivar presenta un buen comportamiento ante la raza MDMV-V también lo tendrá frente a las otras tres razas, tal es el caso de los cultivares DK 7088, Dow 2B710 y Danac 344 (Cuadro 6). Obviamente, es necesario evaluar un mayor número de cultivares de maíz ante estas razas, bajo condiciones de laboratorio y campo, para corroborar esta afirmación.

Las razas MDMV-V y SCMV-MB fueron las que causaron mayor porcentaje de infección y mayor índice de la enfermedad, además de síntomas más severos. Este aspecto es muy importante porque la raza MDMV-V es la más diseminada en el país y, además del maíz, infecta al sorgo (Garrido et al., 1994; Cuello y Garrido, 1995). Por su parte, la raza SCMV-MB ha sido detectada infectando maíz (D'Lima y Garrido, 1995), sorgo (Garrido, 2000) y caña de azúcar (Méndez et al., 2005). Las razas MDMV-A y JGMV-O fueron menos agresivas y presentaron un período de incubación más largo (16-28 días) en los cultivares evaluados, lo cual es una característica importante asociada a la resistencia (Mariño et al., 2009).

Para el caso de las razas MDMV-V y SCMV-MB (Cuadros 2 y 3), el 38 y 33 % de los cultivares evaluados presentaron un IE que los clasifica con resistencia intermedia (IE entre 351 y 650), lo cual afectaría considerablemente su rendimiento. Kuhn y Smith (1977) encontraron que los valores del IE estaban directamente relacionados con las pérdidas en el rendimiento ocasionadas por el MDMV, y las observaciones de campo durante siete años validaron esta relación. Estos autores determinaron 23 % de pérdidas en el rendimiento en híbridos con resistencia intermedia y 40 % de pérdidas para los susceptibles. Varón y Sarria (2007) mencionan que las plantas de maíz que se infectan con MDMV en las primeras etapas de desarrollo del cultivo presentan pérdidas superiores al 50 %.

Con relación al origen de los cultivares se observó que los híbridos obtenidos en programas nacionales de mejoramiento de maíz, con algunas excepciones (Dorado 5), muestran un comportamiento poco satisfactorio, es decir, son susceptibles ante las razas MDMV-V y SCMV-MB, lo que podría significar que no se está contemplando la evaluación de estas razas en los programas de mejoramiento genético o, posiblemente, estos planes de mejoramiento están dirigidos a parámetros biométricos asociados al rendimiento, omitiendo la reacción de los materiales promisorios ante los principales potyvirus que infectan al maíz en Venezuela. Esta situación de vulnerabilidad de los cultivares nacionales, especialmente ante la raza MDMV-V, pudiera estar asociada a pérdidas importantes en los rendimientos. Es recomendable y necesario

incorporar en los programas nacionales, al menos durante las etapas iniciales, la evaluación y selección de líneas endocriadas con resistencia a esta raza.

Por su parte, los materiales importados presentaron la mejor respuesta ante las cuatro razas virales, a excepción de los cultivares de la empresa Pioneer utilizados en esta investigación (Cuadro 6), destacándose entre ellos los híbridos DK 7088, DK 370 y Dow 2B710. Estos híbridos son potenciales fuentes de resistencia, pudiendo ser utilizados para la obtención de líneas endocriadas nuevas y mejoradas, que son la fuente de variación para la obtención de nuevos híbridos mediante el proceso conocido como reciclaje de líneas. Durante su evaluación es posible identificar líneas endocriadas portadoras de genes de resistencia a las virosis más importantes del maíz en Venezuela. En el germoplasma tropical, si la primera generación de líneas no es suficientemente seleccionada como para dar combinaciones superiores de híbridos, su mejoramiento por medio del reciclaje puede llegar a ser absolutamente necesario (Paliwal, 2001).

En varias ocasiones algunas compañías internacionales productoras de híbridos de maíz y sorgo han manifestado que, en evaluaciones realizadas por instituciones oficiales de Venezuela, materiales con resistencia comprobada al MDMV en su lugar de origen resultan susceptibles al virus en el país (datos no publicados del segundo autor). Esto pudiera deberse a que el mejoramiento para este virus en otros países se hace por lo general para el MDMV-A, que representa la raza más diseminada en todas las áreas productoras de maíz y sorgo en el mundo (Toler, 1985; Lapierre y Signoret, 2004). Sin embargo, en Venezuela están presentes las razas MDMV-A y MDMV-V, siendo esta última más agresiva. Esto quedó evidenciado con algunos cultivares importados (tales como P 4063 y Dow 2382), que presentaron un buen comportamiento ante el MDMV-A, pero no lo tuvieron ante el MDMV-V. Una situación similar ocurrió con varios cultivares nacionales (SK 5071, SK 4008 e Himeca 2020).

El índice de la enfermedad (IE) resultó adecuado para discriminar el grado de resistencia a las cuatro razas de los tres potyvirus en los

cultivares de maíz probados. La característica fundamental de la interacción virus-hospedante en este sistema de evaluación es el período de incubación (tiempo desde la inoculación hasta la aparición de los síntomas). Un periodo de incubación corto (6 a 10 días) es característico de cultivares susceptibles y relativamente largo (16-28 días) en los cultivares resistentes. En el caso del MDMV, se ha reportado una alta correlación entre la resistencia y la habilidad de la planta de maíz a reducir la tasa de acumulación viral, particularmente en las etapas iniciales de la infección (Kuhn y Smith, 1977; Mariño et al., 2009).

Es importante destacar que, en algunas interacciones, cultivares considerados resistentes según el IE (Ej. Pionner 4082/MDMV-A, INIA SQ-2/SCMV-MB) presentaron porcentajes de infección relativamente altos (60-75 %) cuando las plantas tenían cerca de 35 días de edad. Esto debe tener alguna repercusión en el rendimiento, ya que el momento en que se determina el número potencial de óvulos en la primera mazorca corresponde al estado vegetativo tres (12 hojas completamente emergidas), el cual ocurre aproximadamente a los 47 días de edad de la planta (Bennetzen y Hake, 2009). Este es el período en que todas las funciones vitales deben desarrollarse con la mayor eficiencia, lo que requiere la presencia de hojas con alta tasa fotosintética, pero es conocido que numerosos procesos fisiológicos son afectados negativamente por la infección del MDMV en maíz y sorgo. En forma general, ocurre reducción de la fotosíntesis, aumento de la respiración, acumulación de compuestos nitrogenados solubles, reducción de carbohidratos, disminución de la tasa de transpiración e incremento en la actividad de algunas enzimas (Gudauskas y Ford, 1981; Lapierre y Signoret, 2004).

Finalmente, se espera que la información derivada de este trabajo sea de utilidad para los productores de maíz en el país, ya que les puede permitir seleccionar los cultivares más apropiados para la siembra. Asimismo, se espera que estos resultados sean de interés para fitomejoradores, ya que se evidencian algunas fuentes potenciales de resistencia a estos potyvirus que podrían ser aprovechadas en futuros programas de mejoramiento genético de este cereal.

CONCLUSIONES

Pocos cultivares respondieron eficazmente ante las razas de virus MDMV-V y SCMV-MB, las cuales resultaron más severas y agresivas que MDMV-A y JGMV-O.

Los híbridos obtenidos en programas nacionales de mejoramiento de maíz, con algunas excepciones (Dorado 5), muestran una susceptibilidad importante ante las razas MDMV-V y SCMV-MB.

Los materiales que presentaron un buen comportamiento ante el MDMV-V también lo tuvieron frente a las otras razas evaluadas.

Los cultivares con el mejor comportamiento ante las cuatro razas virales fueron DK 7088, DK 370, Dow 2B710, Danac 344 y Dorado 5.

AGRADECIMIENTOS

A las instituciones y empresas (en orden alfabético) Agropatria, Danac, INIA, Las Plumas, Pioneer, Sefloarca y Sehiveca, por el suministro de las semillas de los cultivares evaluados. Asimismo, al Programa de Estímulo a la Investigación e Innovación (PEII), a través del Proyecto 2011001192, por el suministro de algunos materiales e insumos de uso en el laboratorio.

LITERATURA CITADA

- Bennetzen, J.L. y S.C. Hake. 2009. Handbook of Maize: Its Biology. Springer, New York.
- Cuello, R. y M.J. Garrido. 1995. Detección de virus que afectan al maíz en dos localidades del estado Portuguesa. *Fitopatol. Venez.* 8: 20.
- Díaz, A., M. Quiñones, F. Arana, M. Soto y A. Hernández. 2010. Potyvirus: características generales, situación de su diagnóstico y determinación de su presencia en el cultivo del pimiento en Cuba. *Protección Veg.* 25: 69-79.
- D'Lima, C.M. y M.J. Garrido. 1995. First report of sugarcane mosaic virus strain MB in Venezuela. *Plant Dis.* 79: 121.
- FEDEAGRO (Federación de Asociaciones de Productores Agropecuarios). 2014. Datos estadísticos de maíz. Fedeaagro, Caracas. <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp> (consulta del 28/10/2014).
- Ford, R.E., M. Tosic y D.D. Shukla. 1989. Maize dwarf mosaic virus. Descriptions of plant viruses N° 341. AAB, Institute of Horticultural Research. Wellesbourne, UK. 5 p.
- Garrido, M.J. 2000. First report of sugarcane mosaic virus strain MB infecting sorghum in Venezuela. *J. Plant Pathol.* 82: 65.
- Garrido, M.J. y G.E. Trujillo. 1988. Identificación de una nueva raza del virus del mosaico enanizante del maíz (MDMV) en Venezuela. *Fitopatol. Venez.* 1: 77-81.
- Garrido, M.J., G. Trujillo y R. Cuello. 1994. Identificación de aislamientos virales procedentes de zonas productoras de sorgo. *Agronomía Trop.* 44: 263-278.
- González, C. 2000. Distribución geográfica y producción nacional. Estadísticas sobre la producción de maíz. *In: H. Fontana y C. González (eds.). Maíz en Venezuela. Fundación Polar. Caracas. pp. 51-59.*
- Gudauskas, R.T. y R.E. Ford. 1981. Physiology of disease. *In: D.T. Gordon, J.K. Knoke y G.E. Scott (eds.). Virus and Viruslike Diseases of Maize in the United States. Southern Cooperative Series Bulletin 247. Ohio Agric. Res., Wooster, OH. pp. 85-87.*
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas). 2012. Maíz: Rubro prioritario para la alimentación de los venezolanos. http://www.inia.gob.ve/index.php?option=com_content (consulta del 16/06/2013).
- Kuhn, C.W. y T.H. Smith. 1977. Effectiveness of a disease index system in evaluating corn for resistance to maize dwarf mosaic virus. *Phytopathology* 67: 288-291.
- Lapierre, H. y P.A. Signoret. 2004. Viruses and virus diseases of Poaceae (Gramineae). INRA editions. Paris.
- Lastra, R.J. y R. Cuello. 1980. El virus rayado fino del maíz en Venezuela. *Turrialba* 30: 405-408.
- Lastra, R. y G.E. Trujillo. 1977. Enfermedades del maíz en Venezuela causadas por virus y micoplasmas. *Agronomía Trop.* 25: 441-455.
- Malaguti, G. 2000. Enfermedades del maíz en Venezuela. *In: H. Fontana y C. González (eds.). Maíz en Venezuela. Fundación Polar.*

- Caracas. pp. 363-405.
18. Mariño, A.A., M.J. Garrido y A. Ascanio. 2009. Reacción de cultivares de maíz al potyvirus del mosaico del pasto johnson. *Fitopatol. Venez.* 22: 35-36.
19. Mariño, A.A., M.J. Garrido, O. Borges y A. González. 2010. Identificación de una virosis que afecta al maíz en Villa de Cura, Estado Aragua, Venezuela. *Fitopatol. Venez.* 23: 22-27.
20. Méndez, M., M.J. Garrido y A. Ordosgoitti. 2005. Ocurrencia del virus del mosaico de la caña de azúcar raza MB infectando caña de azúcar en Yaritagua, Venezuela. *Fitopatol. Venez.* 18: 30-36.
21. Paliwal, R.L. 2001. Mejoramiento del maíz híbrido. *In*: R.L. Paliwal, G. Granados, H.R. Lafitte, A.D. Violic y J.P. Marathée (eds.). *El Maíz en los Trópicos. Mejoramiento y Producción*. FAO. Roma. pp. 145-161.
22. Rangel, E.A., M.J. Garrido y G.E. Trujillo, 1995. Identificación de dos aislamientos del virus del mosaico enanizante del maíz raza A y estudio de su rango de huéspedes. *Fitopatol. Venez.* 8: 2-6.
23. Shukla, D.D. y D.S. Teakle. 1989. *Johnsongrass mosaic virus*. Descriptions of plant viruses N° 340. AAB, Institute of Horticultural Research. Wellesbourne, UK. 5 p.
24. Shukla, D.D., C.W. Ward y A.A. Brunt. 1994. *The Potyviridae*. CAB International. Wallingford, UK.
25. Teakle, D.S., D.D. Shukla y R.E. Ford. 1989. *Sugarcane mosaic virus*. Descriptions of plant viruses N° 342. AAB, Institute of Horticultural Research. Wellesbourne, UK. 5 p.
26. Toler, R.W. 1985. Maize dwarf mosaic, the most important virus disease of sorghum. *Plant Dis.* 69: 1011-1015.
27. Varón, F. y G.A. Sarría. 2007. Enfermedades del maíz y su manejo. *In*: Compendio ilustrativo. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Palmira, Colombia. p. 39.
28. Walkey, D. 1985. *Applied Plant Virology*. Wiley. New York.