

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y FITOPATOLÓGICO DE VARIEDADES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN LOS ESTADOS YARACUY Y GUÁRICO, VENEZUELA

Yakelin Bastidas¹, Alberto Chassaigne², Jesús Alezones² y Alexander Hernández¹

RESUMEN

En Venezuela, el maíz se ve afectado por la presencia de hongos fitopatógenos que causan reducciones en los rendimientos y afectan la calidad del grano. El pequeño y mediano agricultor demanda cultivares con alto potencial y buen comportamiento agronómico. El programa de mejoramiento genético de maíz de Fundación DANAC, ha permitido ofrecer alternativas para la producción, con variedades de libre polinización. En 2011 se llevaron a cabo varios experimentos con el objeto de evaluar y comparar dos nuevas variedades con cultivares comerciales en DANAC. Se cuantificaron aspectos agronómicos de campo en Tucupido, estado Guárico y San Javier, estado Yaracuy. En laboratorio se evaluó la respuesta a la inoculación de granos con cepas de *Fusarium verticilloides* (FV) y *Aspergillus flavus* (AF), y en plántulas bajo condiciones de invernadero se evaluó la respuesta a *Rhizoctonia solani* Kühn. No se detectaron interacciones de los genotipos con el ambiente, excepto en el tiempo requerido para las floraciones femenina y masculina. Los mayores rendimientos se produjeron en la localidad de Tucupido. La variedad nueva DANAC-5021 presentó el mayor tiempo de floración en ambas localidades, y en los análisis combinados fue la más rendidora (4708 kg·ha⁻¹) con valores menores al 4 % de acame, mayores rendimientos en endospermo (78,2 %) y peso específico (0,804 kg·L⁻¹). La variedad nueva DANAC-5023 presentó mayor nivel de resistencia a la colonización por AF, FV y *R. solani*, en comparación con los otros cultivares evaluados. Estas nuevas variedades poseen un comportamiento superior al resto, demostrando que las prácticas de mejoramiento para rendimiento *per se* y resistencia a factores bióticos resultó en una mejora importante.

Palabras clave adicionales: Fitomejoramiento, nuevas variedades, rendimiento, resistencia a enfermedades

ABSTRACT

Agronomic and phytopathologic behaviour of maize varieties (*Zea mays* L.) in Yaracuy and Guárico States, Venezuela

Maize in Venezuela is affected by several pathogenic fungi that cause yield reduction and damaged grain. The small and medium farmers demand affordable cultivars with high yield potential and good agronomic performance. The maize breeding program of DANAC Foundation offers open pollinated varieties (OPV) as an alternative for low income producers. In 2011 trials were conducted in order to characterize two new DANAC OPV and compare them with four commercially available varieties. Trials for agronomic performance evaluation were planted in two farms located in Tucupido (Guárico State) and San Javier (Yaracuy State). Simultaneously, these cultivars were evaluated in laboratory conditions for resistance to *Fusarium verticilloides* (FV) and *Aspergillus flavus* (AF) through seed inoculation, and *Rhizoctonia solani* (RS) through plant inoculation. No interactions cultivars by location were detected, except for the flowering time. The highest yields were observed in Tucupido. The new variety DANAC-5021 had the highest value for days to anthesis at both locations, and in the pooled analysis showed the highest grain yield (4708 kg·ha⁻¹), endosperm fraction (78.2 %) and specific gravity (0,804 kg·L⁻¹), and the lowest value for lodging (less than 4 %). The new variety DANAC-5023 was more resistant than any other cultivar against AF and FV grain colonization and against RS plant infection. The superior performance of these new varieties evidence the positive effect of selecting parents of OPVs for high *per se* yield and enhanced resistance to pathogens.

Additional key words: New varieties, plant breeding, resistance to diseases, yield

Recibido: Mayo 13, 2014

Aceptado: Enero 5, 2015

¹ Dpto. Ciencias Biológicas, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela. e-mail: yakelin.bastidas@gmail.com

² Fundación para la Investigación Agrícola DANAC. Apdo. 182. San Felipe. Venezuela.
e-mail: alberto.chassaigne@danac.org.ve, jesus.alezones@danac.org.ve, ahernandez@ucla.edu.ve

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz representa uno de los principales cereales consumidos a nivel mundial. En Venezuela, ha sido considerado un rubro estratégico dado su importancia en la dieta diaria del venezolano (Segovia y Alfaro, 2009). Los programas de mejoramiento genético han permitido ofrecer alternativas de producción con el uso de variedades de libre polinización. Los agricultores demandan de estos cultivares con alto potencial y buena actuación agronómica, pero se hace frecuente que son susceptibles a algún patógeno (Laurentin, 2011).

Entre muchos hongos que afectan la planta, *Rhizoctonia solani* Kühn estado anamorfo de *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk, incluye uno de los patógenos más agresivos transmitidos por el suelo (Cardinale et al., 2006). Este hongo es de los más nocivos en América Latina, causando el tizón de la vaina del arroz y particularmente en Venezuela, causa la mancha bandeada del maíz (González et al., 2010); afectando severamente hojas, tallos y mazorcas en estado de madurez, provocando reducciones en los niveles de productividad y de los rendimientos (Perdomo et al., 2007; González, 2010).

Adicionalmente, en muchas regiones productoras del cultivo cada año se presentan numerosos patógenos que afectan la calidad del grano (García y Martínez, 2010). *Fusarium verticilloides* (Saccardo.) Nirenberg [(sinónimo: *F. moniliforme* (Sheldon)] bajo condiciones favorables, causa la pudrición del tallo y de la mazorca (Menniti et al., 2010). La infección por el hongo no solo resulta en la reducción de los rendimientos a través de la pudrición, sino también puede conducir a la producción de micotoxinas fumonisinas potencialmente peligrosas para animales y humanos (Wakelin et al., 2008; Menniti et al., 2010; Okoth y Siameto, 2011). *Aspergillus flavus* representa uno de los hongos más estudiados del género y ha sido reportado con altos niveles de incidencia (Mukanga et al., 2010). Este patógeno resulta de gran interés como principal productor de aflatoxinas en los alimentos, sustancias que son carcinógenas potentes que afectan diferentes sustratos y pueden causar enfermedad y muerte, tanto en animales como en seres humanos (Chang

y Ehrlich, 2010; Williams et al., 2011). Venezuela, es por excelencia un país productor y consumidor de maíz, de allí la importancia de obtener grano libre de micotoxinas (Alezones, 2008).

La severidad de estas enfermedades y la incidencia de las especies varía de un año a otro en la misma región, o entre regiones diferentes en un mismo año (Marín, 2010). Los genotipos de este cereal dependen no solo de su buen comportamiento en relación al rendimiento y a la tolerancia que muestre a las principales plagas, sino además, al desempeño que muestre en los diferentes ambientes donde sea probado (García et al., 2009; Laurentin, 2011).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento agronómico y fitopatológico de variedades de maíz blanco en diferentes localidades a fin de comparar dos nuevas variedades con cuatro variedades comerciales obtenidas en la Fundación para la Investigación Agrícola DANAC.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de las variedades. Las seis variedades evaluadas fueron sintetizadas en diferentes etapas del programa de mejoramiento genético, las cuatro variedades antiguas FP-2B, D-5003, DANAC-5008 y DANAC-5013 tienen en su origen fuentes de tolerancia a diversos estreses bióticos y abióticos (resistencia a falsa punta loca y acame), evaluadas en diferentes ambientes con presencia natural de patógenos. La variedad sintética DANAC-5021 fue mejorada para adaptabilidad, alto rendimiento *per se*, buena capacidad combinatoria y la variedad DANAC-5023 para tolerancia a acame, falsa punta loca (*Peronosclerospora sorghi*) y *Aspergillus flavus*. Estas dos últimas variedades son las más recientes con fuentes genéticas evaluadas bajo inoculación artificial y natural de patógenos.

Ensayos de campo. El experimento se estableció en condiciones naturales en dos localidades. Se elaboraron surcos separados a 0,8 m en San Javier y 0,7 m en Tucupido para acentuar las diferencias ambientales. Se colocaron dos semillas por punto a 0,2 m, utilizando 2 hileras por cultivar y tres surcos de bordura. Finalmente permanecieron 25 plantas por hileras de 5 m de largo, para una

población de 62.500 plantas/ha en San Javier y 71.429 plantas/ha en Tucupido. Luego de la siembra se contabilizó el número de días para alcanzar la floración femenina (50 % de estigmas receptivos) y floración masculina (50 % de las plantas emitiendo polen). Además, se midió la altura de planta desde el ras del suelo hasta el nudo donde se inicia el desarrollo de la hoja bandera, el acame de raíz representado por el porcentaje de plantas con inclinación mayor a 30 % en relación a la vertical, y el acame de tallo representado por el porcentaje de plantas con tallos quebrados por debajo de la mazorca. Transcurridos 120 días se realizó la cosecha manual de todas las mazorcas de la unidad experimental y se midió el peso del grano ajustado al 12 % de humedad, el rendimiento de endospermo obtenido de la relación entre el peso de endospermo y el peso de una cantidad fija de grano incluyendo el embrión, el peso específico que se obtuvo del peso de grano en relación a un volumen fijo del mismo, y el rendimiento de grano por hectárea calculado a partir del peso del grano ajustado al área de la parcela. El estudio se desarrolló mediante un diseño en bloques completos al azar con seis repeticiones.

Ensayos de laboratorio. Se usaron las seis variedades en estudio y además la línea susceptible 82201-22-1-1 y la variedad DANAC-5023(-), esterilizada por 10 min a 121 °C y 0,1 MPa dejando el embrión inactivo con el fin de eliminar la resistencia a mohos del grano. Se realizaron dos ensayos, inoculando granos con esporas de *Fusarium verticilloides* cepa D-3273 y *Aspergillus flavus* cepa Ospino I-B, virulento y con capacidad aflatoxigénica comprobada (Mazzani et al., 2004). Ambos aislamientos fueron obtenidos de la colección de patógenos que mantiene el laboratorio de fitopatología en Fundación DANAC (González et al., 2009). Mantenidos como macrocultivos con papa dextrosa agar (PDA), sellados con Parafilm y almacenados a 4 °C.

Se utilizó la metodología del *kernel screening assay* empleada por Brown et al. (1993) con modificaciones realizadas en DANAC. Los hongos fueron multiplicados en un compuesto de jugo V-8 comercial (5 %) y agar (2 %) en placas de Petri, incubados por 7 días a 30 °C en oscuridad. Para la preparación del inóculo se

realizó un raspado de todo el micelio transfiriéndolo a un vaso precipitado con 100 mL de agua y se ajustó la concentración de inóculo a 4×10^6 esporas por mL. Con el uso de cajas organizadoras plásticas perforadas de 48 celdas (36,5 x 23 x 4 cm) fueron colocadas 12 semillas por cultivar en cada celda, para disminuir el tiempo utilizado en la desinfección, lavado e inoculación de los granos y uniformizar los tratamientos. En este método todos los granos a evaluar se desinfectaron superficialmente mediante inmersión en etanol al 70 % por 5 min. Posteriormente se realizaron tres lavados de 1 min cada uno en agua destilada estéril, utilizando bandejas plásticas (42 x 30,5 x 8 cm) como sustituto de las pisetas (Borges et al., 2011). Inmediatamente se sumergieron las muestras de granos dentro de la suspensión de *A. flavus* o *F. verticilloides* por 1 min. Se colocaron dentro de placas de Petri y de forma separadas los 12 granos de cada material, como sustituto de las tapas viales usadas originalmente por Brown et al. (1993).

Las placas de Petri con los granos inoculados se introdujeron en una cámara húmeda, la cual consistió en un conservador de alimentos (41 x 26 x 15,5 cm), al cual se le colocó una capa de papel absorbente en el fondo, saturada inicialmente con 30 mL de agua destilada y 30 mL 3 días después. Finalmente, la cámara húmeda fue llevada a una incubadora en condiciones de temperatura y humedad controladas, donde fueron mantenidas por 7 días a 30 ± 1 °C en oscuridad. Transcurrido este tiempo los granos fueron clasificados individualmente para crecimiento fúngico usando una escala ordinal, donde: 0 = no existió crecimiento, 1 = escaso crecimiento de esporas, 2 = menos del 50 % del grano cubierto por esporas, 3 = más del 50 % del grano cubierto por esporas y 4 = grano completamente cubierto por esporas (Figura 1). Este ensayo se realizó bajo un diseño experimental completamente aleatorizado con ocho repeticiones, el resultado de la unidad experimental es el promedio simple de las doce observaciones o granos.

Ensayo de invernadero. El establecimiento del ensayo se efectuó mediante la inoculación de plántulas con *Rhizoctonia solani* cepa P2AB2, con la capacidad para desarrollar la enfermedad de forma menos agresiva en comparación con otros

aislamientos. Utilizar aislamientos más virulentos cuando se inicia la búsqueda de materiales promisorios puede enmascarar posibles candidatos a fuentes de resistencia por la utilización de una alta presión de selección. (Perdomo et al, 2007). Se utilizaron las variedades estudiadas, la línea susceptible 82201-22-1-1 y la variedad DANAC-5023 sin inocular (plantas sanas). Se utilizó la línea 82201-22-1-1 como testigo susceptible para los tres hongos en la evaluación, lo que permitió observar los diferentes grados de severidad en cada una de ellas. Se emplearon cuatro bandejas metálicas con drenaje (216 x 100 x 20 cm), se sembraron dos semillas por punto a una distancia de 14 x 14 cm sobre tierra esterilizada, en una hilera por cultivar. Después de 15 días de la emergencia se dejó una planta por punto a razón de seis plantas por hileras. El hongo fue multiplicado en placas de Petri con PDA, esterilizadas e incubados por 3 días a 30 °C en oscuridad. Cada planta fue inoculada con la cepa del hongo, colocando un círculo de PDA colonizado de 4 mm de diámetro en la primera hoja verdadera entre la vaina y el tallo de la planta a los 15 días después de la emergencia. Se realizaron evaluaciones a los 8 y 15 días después de la inoculación (ddi), tomando la altura de la planta hasta el primer nudo y la altura relativa de la lesión, desde el cuello de la planta hasta donde se observó el avance de la lesión, y luego la relación entre ambas alturas se expresó como un porcentaje. El experimento se estableció mediante un diseño en bloques completos al azar con seis repeticiones.

El análisis de los datos de las variables en estudio fue ejecutado mediante análisis de varianza y prueba de medias de Tukey utilizando el programa SAS JMP. 7.0.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento agronómico. Se detectaron diferencias para la fuente genotipo y no hubo interacción localidad x genotipo excepto para las variables de floración (Cuadro 1).

En la localidad de San Javier (Cuadro 2) la variedad DANAC-5021 fue tardía en su floración con un promedio de 55,5 días para la femenina y 54,5 días para la masculina. Las variedades DANAC-5013 y DANAC-5023 fueron las que comenzaron la floración en menor tiempo. No se consideran variedades precoces ya que reflejan una diferencia máxima entre 1 y 2 días. En la localidad de Tucupido hubo un adelanto de floración de 3 días en relación a San Javier. Ordaz (2011) encontró cultivares precoces de 45 días para la floración masculina y 47 días para la femenina, y tardíos con 55 días para ambas floraciones evaluadas en San Javier.

Para el caso de la variable altura de planta, en los análisis combinados la variedad D-5003 presentó el mayor valor de altura (2,4 m) y el máximo porcentaje de acame de raíz (3,9 %), las variedades DANAC-5008 y DANAC-5023 presentaron los portes más bajos y la variedad DANAC-5021 mostró valor intermedio de altura de plantas, valor de acame de raíz y de tallo menor a 4 % en la combinación de ambas localidades. La variedad DANAC-5023 es de porte bajo y obtuvo menores porcentajes de acame de tallo y de raíz, lo cual se corresponde con los encontrados por Nardini (2009) en cuanto a que los cultivares con menor altura de planta muestran menor porcentaje de acame. Las nuevas variedades son de porte bajo y por consiguiente mostraron bajo porcentaje de acame tanto de raíz como de tallo.

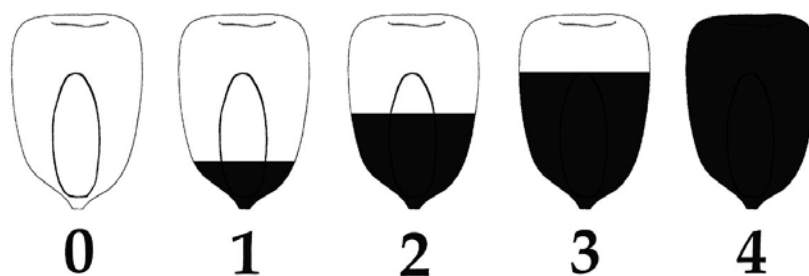


Figura 1. Representación gráfica de la escala de colonización de los hongos en el grano según Alezones (2008)

Cuadro 1. Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza para caracteres de importancia agronómica en seis variedades (genotipos) de maíz blanco en dos localidades (Loc)

| F.V. | g.l. | CM | | | | | |
|----------------|------|----------|----------|---------|---------|----------|--------------|
| | | FF | FM | AP | AR | AT | Rendimiento |
| Rep[Loc] | 10 | 1,21 | 1,21 | 0,09 | 0,69 | 0,90 | 1462,4 |
| Loc | 1 | 177,3 ** | 308,3 ** | 22,4 ** | 92,8 ** | 274,7 ** | 237.693,2 ** |
| Genotipo | 5 | 5,25 ** | 5,25 ** | 0,07 ** | 5,22 ** | 1,15 * | 1305,9 * |
| Loc*Genotipo | 5 | 1,18 ** | 1,18 ** | 0,04 ns | 0,37 ns | 0,72 ns | 479,1 ns |
| Error | 50 | 0,33 | 0,33 | 0,02 | 0,75 | 0,40 | 431,8 |
| R ² | | 0,93 | 0,95 | 0,96 | 0,77 | 0,94 | 0,94 |
| C.V. (%) | | 1,10 | 1,13 | 5,85 | 30,47 | 15,17 | 14,70 |

ns, * y ** indican no significancia y significancia a un nivel del 0,05 y 0,01, respectivamente. Floración femenina (FF), floración masculina (FM), altura de planta (AP), acame de raíz (AR), acame de tallo (AT)

Cuadro 2. Caracteres de importancia agronómica de seis variedades de maíz blanco en las localidades de Tucupido y San Javier, y la combinación de ambas localidades

| Variedad | Localidad | | | | | | |
|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------------|--------|--------|
| | Tucupido | | San Javier | | Combinación | | |
| | FF (días) | FM (días) | FF (días) | FM (días) | AP (m) | AR (%) | AT (%) |
| DANAC-5023 | 51,0 ab | 49,0 ab | 53,2 c | 52,2 c | 2,2 b | 2,4 bc | 3,9 a |
| DANAC-5021 | 51,5 a | 49,5 a | 55,5 a | 54,5 a | 2,3 ab | 2,0 c | 3,8 a |
| DANAC-5013 | 50,3 b | 48,3 b | 53,2 c | 52,2 c | 2,3 ab | 2,5 bc | 4,6 a |
| DANAC-5008 | 50,8 ab | 48,8 ab | 54,2 bc | 53,2 bc | 2,2 b | 3,1 ab | 4,5 a |
| D-5003 | 51,5 a | 49,5 a | 54,5 ab | 53,5 ab | 2,4 a | 3,9 a | 4,2 a |
| FP-2B | 51,3 a | 49,3 a | 54,8 ab | 53,8 ab | 2,3 ab | 3,1 ab | 4,2 a |
| C.V. (%) | 0,98 | 1,02 | 1,19 | 1,21 | 5,9 | 30,5 | 15,2 |
| Promedio | 51,08 | 49,08 | 54,22 | 53,22 | 2,3 | 2,8 | 4,2 |

Medias seguidas por la misma letra en cada columna no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Floración femenina (FF), Floración masculina (FM), Altura de planta (AP), Acame raíz (AR), Acame tallo (AT)

En el Cuadro 3 se observan mayores rendimientos en grano ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) en la localidad de Tucupido, sin diferencias significativas entre las variedades en esta localidad ni interacción de localidad x variedad, indicando que no hubo efecto diferencial de las variedades en las dos localidades. San Javier registra que la variedad D-5003 y la nueva variedad DANAC-5021 fueron las más rendidoras ($2935 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ y $2854 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) superando la media general, y DANAC-5008 y FP-2B las menos rendidoras. La variedad FP-2B se comportó como la menos rendidora en la prueba combinada y las variedades DANAC-5021 y DANAC-5023 mostraron rendimientos de grano similares y superaron a las variedades comerciales. El resto de las variedades mostraron valores intermedios, formando un mismo grupo en la comparación de medias. El retardo en floración de las variedades FP-2B y DANAC-5008 pudiera

relacionarse con la disminución del rendimiento de grano de ellas en San Javier. Por su parte, DANAC-5021 y DANAC-5023 mostraron rendimientos de grano similares o superiores a las variedades comerciales.

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre las variedades con respecto a endospermo en el análisis combinado por localidad, sin interacción entre el genotipo y localidad. Al observar la comparación de medias en el Cuadro 4 se identificó la variedad DANAC-5021 con el mayor rendimiento en endospermo de granos cosechados en ambas localidades con 78,2 %, superando a DANAC-5008 con 77,0 % y a FP-2B con 76,8 %. El peso específico no mostró diferencias entre las variedades y en promedio presentaron valores superiores a $0,800 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ o cercanos a éste.

Los granos de estos materiales pueden ser

aceptados en las industrias procesadoras de harina, de acuerdo a lo establecido en la Norma Venezolana COVENIN 1935-87. Se requieren materiales que superen el 70 % de rendimiento de endospermo y los 0,750 kg·L⁻¹ de peso específico (COVENIN, 1987). En estas dos variedades se observa el efecto de la selección dentro del programa de mejoramiento hacia genotipos con mejores características físicas de grano,

considerándose como de alta calidad de acuerdo a los requerimientos de la agroindustria. Sumado a este comportamiento está el buen rendimiento en campo que mostraron estas dos variedades. Es difícil mejorar para alto rendimiento y mayor dureza de grano simultáneamente, por ser vías genéticas contrastantes, lo que refleja el éxito del programa de mejoramiento de variedades de la Fundación DANAC.

Cuadro 3. Rendimiento (kg·ha⁻¹) en grano de seis variedades de maíz en las localidades de Tucupido y San Javier, y la combinación de ambas localidades

| Variedad | Localidad | | |
|------------|-----------|------------|-------------|
| | Tucupido | San Javier | Combinación |
| DANAC-5023 | 6607 a | 2544 ab | 4575 ab |
| DANAC-5021 | 6563 a | 2854 ab | 4708 a |
| DANAC-5013 | 6711 a | 2575 ab | 4643 ab |
| DANAC-5008 | 6786 a | 2044 ab | 4415 ab |
| D-5003 | 6481 a | 2935 a | 4708 a |
| FP-2B | 5610 a | 1922 b | 3766 b |
| C.V. (%) | 11,6 | 22,2 | 14,7 |
| Promedio | 6460 A | 2479 B | 4469 |

Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,10$). Letras minúsculas para la comparación entre variedades y mayúsculas entre localidades

Cuadro 4. Calidad física del grano de maíz en las localidades de Tucupido y San Javier, y la combinación en ambas localidades

| Variedad | Endospermo (%) | | | Peso específico (kg·L ⁻¹) | | |
|------------|----------------|------------|-------------|---------------------------------------|------------|-------------|
| | Tucupido | San Javier | Combinación | Tucupido | San Javier | Combinación |
| DANAC-5023 | 77,4 a | 76,9 a | 77,1 ab | 0,813 a | 0,799 a | 0,806 a |
| DANAC-5021 | 78,3 a | 78,0 a | 78,2 a | 0,812 a | 0,795 a | 0,804 a |
| DANAC-5013 | 77,5 a | 76,9 a | 77,2 ab | 0,800 a | 0,783 a | 0,791 a |
| DANAC-5008 | 77,1 a | 76,9 a | 77,0 b | 0,811 a | 0,788 a | 0,800 a |
| D-5003 | 76,9 a | 77,5 a | 77,2 ab | 0,804 a | 0,797 a | 0,801 a |
| FP-2B | 77,3 a | 76,3 a | 76,8 b | 0,802 a | 0,782 a | 0,792 a |
| C.V. (%) | 0,7 | 0,9 | 0,8 | 1,2 | 0,7 | 1,0 |
| Promedio | 77,4 A | 77,1 A | | 0,807 A | 0,791 B | |

Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Letras minúsculas para la comparación entre variedades y mayúsculas entre localidades

Comportamiento fitopatológico. En las inoculaciones realizadas con cepas de los hongos *Fusarium verticilloides* (FV) y *Aspergillus flavus* (AF), se evidenció el crecimiento fúngico durante el tiempo de incubación de los granos, a través de la presencia de esporas blanquecinas (FV) y color verde (AF) a diferentes niveles dentro de la escala ordinal evaluada. En el Cuadro 5 se evidenció alto nivel de colonización por los hongos en el

material susceptible o esterilizado [82201-22-1-1 y DANAC-5023(-)] con valores promedios de 3,25 y 3,47, lo que representan más del 50 % del grano colonizado por FV. Los valores máximos de colonización por AF estuvieron representados por el 25-50 % del grano cubierto por esporas.

Se observa que las seis variedades se situaron dentro de la escala a 1,74 y 2,29 y no presentaron diferencias entre ellas (Cuadro 5). Las

características descritas para granos colonizados con cepas del hongo varía de escaso crecimiento de esporas a más de 30 % de colonización, que

coinciden con los reportados por algunos investigadores (Mazzani et al., 2008; Chavarry et al., 2009).

Cuadro 5. Nivel de colonización con base en la escala ordinal (según Alezones, 2008) sobre granos de variedades de maíz blanco bajo condiciones de laboratorio

| Variedad | <i>F. verticilloides</i> | <i>A. flavus</i> |
|---------------|--------------------------|------------------|
| DANAC-5023(-) | 3,47 a | 1,59 a |
| 82201-22-1-1 | 3,25 a | 1,44 ab |
| DANAC-5023 | 1,74 b | 1,16 c |
| DANAC-5021 | 2,29 b | 1,21 bc |
| DANAC-5013 | 2,13 b | 1,23 bc |
| DANAC-5008 | 2,24 b | 1,22 bc |
| D-5003 | 1,94 b | 1,15 c |
| FP-2B | 1,97 b | 1,21 bc |
| C.V. (%) | 19,07 | 13,11 |

Medias seguidas por la misma letra en cada columna no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$)
 (-) = granos esterilizados

Las variedades D-5003 y DANAC-5023 reflejaron los mínimos valores en la colonización por AF y FV, ubicados dentro de la escala como menor a 25 %, mientras que los demás cultivares presentaron valores intermedios, entre este extremo y el material esterilizado. Se pudo evidenciar el nivel de resistencia de la nueva variedad DANAC-5023 en comparación con el resto de las variedades. A partir de su origen, en donde participaron poblaciones fuentes de resistencia, de amplia base genética de grano blanco semiduro sintetizada por variedades avanzadas y de fuentes para tolerancia a acame, falsa punta loca (*Peronosclerospora sorghi*) y *Aspergillus flavus* mejorada mediante la selección recurrente de familias S1, se logra explicar su respuesta ante la presencia del hongo. Es importante señalar como las evaluaciones a nivel de laboratorio, en donde se evitan los escapes, han permitido avanzar en la acumulación de alelos favorables para resistencia a AF y FV.

La sintomatología inicial de *Rhizoctonia solani* se pudo apreciar en el punto de inoculación (entre el tallo y la primera hoja verdadera) comenzando con una decoloración del tejido, adoptando una coloración crema y luego cambiando a marrón. Posteriormente en el desarrollo de la enfermedad, en la mayoría de los casos, las lesiones fueron aumentando de tamaño cubriendo todo el perímetro del tallo, alcanzando así la lámina foliar. Esta sintomatología es similar a la descrita

por diferentes autores (Perdomo et al., 2007; González, 2010).

En el Cuadro 6 se puede observar que la línea 82201-22-1-1 presentó un bajo nivel de resistencia a la enfermedad, ya que tuvo alto porcentaje en el avance de la lesión a los 8 ddi. De igual manera Perdomo et al. (2007), observaron en esta línea un alto porcentaje de avance de la lesión en las plántulas y muerte de las mismas a los 15 ddi.

Al inicio de la evaluación se observó un alto porcentaje de severidad del hongo en la variedad nueva DANAC-5021, reflejando en promedio un alto porcentaje de avance de la lesión (81,7 %). Al compararla con el testigo susceptible se observa un valor muy cercano, lo que indica un alto rango de susceptibilidad de esta variedad durante los primeros 8 días de la evaluación. La variedad nueva DANAC-5023 mostró un porcentaje menor y el resto de las variedades presentaron valores intermedios (Cuadro 6). La variedad DANAC-5023 mostró el menor porcentaje de avance de la lesión, particularmente a los 8 ddi y en el análisis combinado. El resto de las variedades presentaron un comportamiento similar.

La utilización de la variedad DANAC-5023(+) sin inocular, la cual finalizó su completo crecimiento durante el tiempo establecido del ensayo sin mostrar síntomas, valida estos resultados. Aunque la variedad DANAC-5023 fue la que presentó mayor resistencia a la presencia

del hongo, en forma general, todas se enfermaron y mostraron un avance de lesiones por encima del 70 %. El comportamiento de la línea susceptible coincide con lo reportado por Perdomo et al. (2007). La variedad DANAC-5023 presentó la mayor resistencia ante la presencia de las tres cepas de los hongos. Cabe destacar que esta

variedad no ha sido mejorada genéticamente para *F. verticilloides* y *R. solani*. Las variedades FP-2B, D-5003, DANAC-5008, DANAC-5013 y DANAC-5021 mostraron similar comportamiento frente a la presencia de los hongos, con alto porcentaje de susceptibilidad en los diferentes niveles evaluados.

Cuadro 6. Avance de lesión (%) causada por *Rhizoctonia solani* Kühn en plántulas de cultivares de maíz blanco bajo condiciones de invernadero en dos evaluaciones después de la inoculación, y la combinación de ambas evaluaciones

| Variedad | Tiempo después de la inoculación | | Combinación |
|---------------|----------------------------------|---------|-------------|
| | 8 días | 15 días | |
| DANAC-5023 | 59,7 b | 79,7 a | 69,7 b |
| DANAC-5021 | 81,7 ab | 86,3 a | 84,0 ab |
| DANAC-5013 | 70,9 ab | 87,4 a | 79,2 ab |
| DANAC-5008 | 70,8 ab | 86,8 a | 78,8 ab |
| D-5003 | 73,5 ab | 89,9 a | 81,7 ab |
| FP-2B | 67,7 ab | 95,4 a | 81,6 ab |
| 82201-22-1-1 | 86,5 a | 97,2 a | 91,8 a |
| DANAC-5023(+) | 0,0 c | 0,0 b | 0,0 c |
| C.V. (%) | 21,5 | 13,42 | 17,2 |
| Promedio | 63,9 B | 77,8 A | 70,8 |

Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$). Letras minúsculas para la comparación entre variedades y mayúsculas entre el tiempo después de la inoculación. (+) = Plantas sin inocular

CONCLUSIONES

Se observaron mayores rendimientos de los genotipos de maíz en la localidad de Tucupido y no existió interacción de ellos con el ambiente. Las nuevas variedades DANAC-5021 y DANAC-5023 expresaron un comportamiento superior al resto de las variedades, destacándose individualmente para cada característica para la cual fueron mejoradas. El enfoque dado dentro del programa de mejoramiento en la formación de las poblaciones, las fuentes de germoplasma y las evaluaciones a nivel de laboratorio, umbráculo y campo está produciendo buenos resultados al obtenerse variedades con mejores atributos frente a las enfermedades, características físicas y rendimiento de grano.

LITERATURA CITADA

1. Alezones, J. 2008. Monitoreo de germoplasma tropical de maíz para resistencia a *Aspergillus flavus* y a la producción de aflatoxinas en grano. Tesis. Facultad de Agronomía.

Universidad Central de Venezuela. Maracay. 52 p.

- Borges, B., A. González y J. Alezones. 2011. Uso de organizador perforado y bandeja de plástico para desinfección de granos de maíz en ensayos de evaluación de resistencia a *Aspergillus flavus* y *Fusarium verticilloides*. Asociación Venezolana para el Avance de la Ciencia (AsoVAC). LXI Convención Anual 62(1): 60.
- Brown, R.L., P.J. Cotty, T.E. Cleveland y N.W. Widstrom. 1993. Living maize embryo influences accumulation of aflatoxin in maize kernels. *Journal of Food Protection* 56(11): 967-971.
- Cardinale, P., L. Ferraris, D. Valentino y G. Tamietti. 2006. Induction of systemic resistance by a hypovirulent *Rhizoctonia solani* isolate in tomato. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 69: 160-171.
- Chang, P. y K. Ehrlich. 2010. What does genetic diversity of *Aspergillus flavus* tell us about *Aspergillus oryzae*? *International Journal*

- of Food Microbiology 138: 189-199.
6. Chavarri, M., O. Luzón, C. Mazzani, C. González, J. Alezones y M. Garrido. 2009. Mohos toxigénicos y micotoxinas en maíz de grano blanco cosechado bajo riego en los estados Yaracuy y Portuguesa, Venezuela. *Fitopatología Venezolana* 22(1): 2-7.
 7. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 1987. Maíz para uso industrial. Ministerio de Fomento. p 19.
 8. García, G. y R. Martínez. 2010. Especies de *Fusarium* en granos de maíz recién cosechados y desgranados en la región de ciudad Serdán Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81(1): 15-20.
 9. García, P., S. Cabrera, A. Pérez, R. Silva, R. Álvarez, C. Marín, P. Monasterio y M. Santella. 2009. Estabilidad del rendimiento y potencial agronómico de cultivares de maíz de endospermo normal y QPM en zonas agroecológicas de Venezuela. *Agronomía Tropical* 59(4): 433-443.
 10. González, A. 2010. Variabilidad genética y virulencia de *Rhizoctonia solani* Kühn y sus implicaciones en el mejoramiento genético del maíz y arroz. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 230 p.
 11. González, A., J. Bernardes-de-Assis, M. Salas, B. McDonald, F. Correa-Victoria, E. Graterol-Maute y P. Ceresini. 2010. Divergence between sympatric rice- and maize- infecting populations of *Rhizoctonia solani* AG-1 IA from Latin America. *The American Phytopathological Society* 100(2): 172-182.
 12. González, A., B. Borges, F. Hernández, J. Alezones y N. Labrín. 2009. Colección de patógenos del arroz y el maíz de Fundación Danac: Una contribución al estudio de la fitopatología en Venezuela. Resumen. Sociedad Venezolana de Fitopatología XXI Congreso Venezolano de Fitopatología 22(2): 63.
 13. Laurentin, H. 2011. Genética Agrícola. Editorial Académica Española. Saarbrücken, Alemania. 233 p.
 14. Marín, P. 2010. Análisis de factores ecofisiológicos que influyen en la expresión de genes relacionados con la biosíntesis de toxinas en especies de *Fusarium*. Tesis. Universidad Complutense de Madrid. 237 p.
 15. Mazzani, C., O. Luzón, P. Beomont, y M. Chavarri. 2004. Micobiota asociada a granos de maíz en Venezuela y capacidad aflatoxigénica *in vitro* de los aislamientos de *Aspergillus flavus*. *Fitopatología Venezolana* 17: 19-23.
 16. Mazzani, C., O. Luzón, M. Chavarri, M. Fernández, y N. Hernández. 2008. *Fusarium verticillioides* y fumosinas en maíz cosechado en pequeñas explotaciones y conucos de algunos estados de Venezuela. *Fitopatología Venezolana*. 21(1): 18-22.
 17. Menniti, A., R. Gregori, y F. Neri. 2010. Activity of natural compounds on *Fusarium verticillioides* and fumonisin production in stored maize kernels. *International Journal of Food Microbiology* 136: 304-309.
 18. Mukanga, M., J. Derera, P. Tongoona y M. Laing. 2010. A survey of pre-harvest ear rot diseases of maize and associated mycotoxins in south and central Zambia. *International Journal of Food Microbiology* 141: 213-221.
 19. Nardini, C. 2009. Evaluación de doce cultivares comerciales de maíz amarillo (*Zea mays* L.) bajo dos espaciamientos a una misma densidad en las condiciones agroecológicas de El Playón estado Portuguesa. Tesis. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto. 68 p.
 20. Okoth, S. y E. Siameto. 2011. Evaluation of selected soil fertility management interventions for suppression of *Fusarium* spp. in a maize and beans intercrop. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 73-80.
 21. Ordaz, B. 2011. Evaluación de genotipos de maíz (*Zea mays* L.) con potencial forrajero mediante características morfoanatómicas y agronómicas. Tesis. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto. 86 p.
 22. Perdomo, R., A. Hernández, A. González, J. Pineda y J. Alezones. 2007. Caracterización y evaluación de virulencia en aislamientos de *Rhizoctonia solani* Kühn, causante de la mancha bandeada en maíz. *Interciencia* 32(1): 48-55.
 23. Segovia, V. e Y. Alfaro. 2009. El maíz: un rubro estratégico para la soberanía

- agroalimentaria de los venezolanos. *Agronomía Tropical* 59(3): 237-247.
24. Wakelin, S. R. Warren, L. Kong y P. Harvey. 2008. Management factors affecting size and structure of soil *Fusarium* communities under irrigated maize in Australia. *Applied Soil Ecology* 39: 201-209.
25. Williams, W., S. Ozkan, A. Ankala y G. Windham. 2011. Ear rot, aflatoxin accumulation, and fungal biomass in maize after inoculation with *Aspergillus flavus*. *Field Crops Research* 120: 196-200.