



Desempeño productivo de siete genotipos de soya en suelos ácidos de la Orinoquía colombiana¹

Productive performance of seven soybeans genotypes in acid soils of the Colombian Orinoquía

Samuel Caicedo-Guerrero², Yuli Tibocha-Ardila², Luis F. Campuzano-Duque², Deisy L. Flórez-Gómez³,
Jorge Arguelles-Cardenas³

¹ Recepción: 4 de setiembre, 2018. Aceptación: 29 de mayo, 2019. Este trabajo formó parte de un Proyecto asociado al Programa de Mejoramiento de Soya en Colombia y financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Colombia.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). CI. La Libertad, Villavicencio, Colombia. scaicedo@agrosavia.co, ytibocha@agrosavia.co, lcampuzano@agrosavia.co

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). CI. Taluma, Puerto Gaitán, Colombia. dlfllorez@agrosavia.co, jarguelles@agrosavia.co

Resumen

Introducción. En Colombia, la soya es una de las principales materias primas para la elaboración de alimentos balanceados para animales; demanda que solo fue satisfecha en 7 % en el 2007. En el país, esta leguminosa solo se produce en la Orinoquía, como parte del sistema de rotación arroz-maíz-soya, y su producción comercial actual está asociada con las variedades Soyica P-34 (Altillanura) y Corpoica Superior 6 (Piedemonte), las cuales presentan susceptibilidad a *Cercospora sojina*, que comprometen el rendimiento. **Objetivo.** El objetivo de este trabajo fue identificar genotipos de soya con adaptación específica para los suelos ácidos oxisoles (Altillanura) e inceptisoles (Piedemonte) con rendimiento de grano superior y menor afectación por *Cercospora sojina* K. Hara. **Materiales y métodos.** Se realizó una prueba de evaluación agronómica (PEA) constituida de siete genotipos y dos variedades comerciales como testigos, en seis localidades ubicadas en dos subregiones de la Orinoquía (Altillanura y Piedemonte) durante el año 2011, en un diseño de bloques completos al azar (DBCA) y cuatro repeticiones. Se utilizó el modelo AMMI y su gráfico biplot para determinar la estabilidad fenotípica con la variable rendimiento de grano. **Resultados.** El modelo AMMI explicó el 81,8 % de la interacción genotipo x localidad con los dos primeros componentes principales; el gráfico biplot permitió identificar tres genotipos de soya candidatos a variedad, dos con adaptación específica para la Altillanura (L-062 y L-103) y uno para el Piedemonte (L-189). Estos genotipos presentaron rendimientos de grano superiores en un 8 %, y una menor afectación por *Cercospora sojina* en relación con los testigos comerciales. **Conclusión.** El estudio permitió que tres genotipos de soya se seleccionaran e incubieran como variedades comerciales en el Sistema Nacional de Cultivares del ICA como Corpoica Guayuriba (L-189), Corpoica Achagua (L-062) y Corpoica Iraca (L-103), de acuerdo con su adaptación específica por subregión.

Palabras clave: *Glycine max*, adaptación, interacción genotipo ambiente, suelos ácidos, rendimiento de grano.



Abstract

Introduction. In Colombia, soy is one of the main raw materials for the production of feed for animals, demand that was only satisfied in 7% in 2007. In the country, this legume is only produced in the Orinoquía region, as part of the rice-corn-soybean rotation system, and its current commercial production is associated with the Soyica P-34 (Altillanura) and Corpoica Superior 6 (Piedemonte) varieties, which are susceptible to *Cercospora sojina*, which compromise yield. **Objective.** The objective of this work was to identify soy genotypes with specific adaptation for acid soils oxisoles (Altillanura) and inceptisoles (Piedemonte) with superior grain yield a lower affectation by *Cercospora sojina* K. Hara. **Materials and methods.** An agronomic evaluation test (PEA) consisting of seven genotypes and two commercial varieties was carried out as controls in six localities located in two sub-regions of the Orinoquía (Altillanura and Piedemonte) during 2011, in a randomized complete block design (DBCA) and four repetitions. The AMMI model and its biplot graph were used to determine the phenotypic stability with the variable grain yield. **Results.** The AMMI model explained 81.8% of the genotype x locality interaction with the first two main components, the biplot graph allowed to identify three soy genotypes candidates for variety, two with specific adaptation for the Altillanura (L-062 and L-103), and one for Piedemonte (L-189). These genotypes showed higher grain yields by 8% and a lower affectation by *Cercospora sojina* in relation to commercial witnesses. **Conclusion.** The study allowed three soy genotypes to be selected and registered as commercial varieties in the National Cultivation System of the ICA as Corpoica Guayuriba (L-189), Corpoica Achagua (L-062) and Corpoica Iraca (L-103), according to their specific adaptation by sub-region.

Keywords: *Glycine max*, adaptation, genotype environment interaction, acid soils, grain yield.

Introducción

La soya (*Glycine max* L. Merrill) es una leguminosa que crece en regiones tropicales, subtropicales y templadas del mundo, y se cataloga como la principal oleaginosa para la alimentación animal y humana, por su alto contenido de proteína (35 a 50 %) (Phansak et al., 2016; Sungwoo et al., 2019) y de aceites (15 a 25 %) (Goettel et al., 2014; Sungwoo et al., 2019). En Colombia, la soya es una materia prima proteica utilizada en la elaboración de alimentos balanceados, particularmente para la cadena avícola-porcícola, con usos alternos como ensilaje en la cadena cárnica-láctea y, alimento rico en aminoácidos esenciales, con beneficios importantes para la salud y nutrición humana (Rueda-Agudelo y Giraldo-Mejía, 2018). Una importancia adicional de la soya radica en su condición de cultivo obligado de rotación dentro de los diversos sistemas regionales de producción: maíz/soya (Valle del Cauca), arroz/soya (Llanos Orientales) o sorgo/soya (Tolima y Valle del Cauca) (Valencia y Ligarreto, 2010).

La región natural de la Orinoquía colombiana representa 23 % del área total del territorio nacional, equivalente a 26 millones de hectáreas de alto interés para el desarrollo agropecuario sostenible, debido a que presenta suelos con topografía plana mecanizable y la cercanía a los principales centros de consumo del país (Valencia et al., 2006). El área potencial para la producción de soya en la Altillanura supera las 560 000 ha y los avances ya se hacen notorios en el área de siembra que cambió de 57 ha en el 2000 a 12 434 ha en el 2009 y 30 000 en el 2018 (FENALCE, 2018).

Para apoyar el cultivo de la soya en Colombia, fue necesario la estructuración de un programa de mejoramiento genético. Fue así como, esta especie, ya introducida para investigación en 1929, comenzó su mejoramiento genético treinta años después, en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), focalizada en el Valle del Cauca, con la introducción de variedades como Davis, Mammoth Yellow, Missoy, Aksarben, Acadian, Hale 3, Biloxi, Hill (Valencia et al., 2006), que dieron origen a las primeras variedades Davis, Júpiter, Pelican SM-ICA, ICA Tunia y Soyica P31, P32, P33 y P34. Este programa lo continuó por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) en ese momento, actualmente AGROSAVIA desde el año 1993, en la Altillanura y el Piedemonte,

con énfasis en la tolerancia al aluminio, incremento de la producción del grano, adaptación específica, precocidad, resistencia a *Cercospora* y calidad del grano apropiada para la industria de alimentos balanceados (Valencia et al., 2006; Valencia y Ligarreto, 2010).

El mejoramiento genético de soya para suelos ácidos de la Orinoquía colombiana se inició en el ICA en 1984, con el objeto de obtener genotipos tolerantes al aluminio en condiciones de suelos oxisoles de la Altillanura y de inceptisoles en el Piedemonte. Fruto de este trabajo se entregó la primera variedad en 1994 para oxisoles (Soyica Altillanura 2) (Valencia et al., 2006); Posteriormente, otras variedades con alto potencial genético desarrolladas por CORPOICA se han liberado para la Orinoquía, como: Orinoquía 3 (precoz), Corpoica Libertad 4 (tolerante a aluminio) y Corpoica Taluma 5 (forraje o grano) (Valencia et al., 2006; Valencia y Ligarreto, 2010) y Corpoica Superior 6, precoz, con adaptación específica a suelos ácidos inceptisoles del Piedemonte (Valencia et al., 2006).

El objetivo de este trabajo fue identificar genotipos de soya con adaptación específica para los suelos ácidos oxisoles (Altillanura) e inceptisoles (Piedemonte) con rendimiento de grano superior y menor afectación por *Cercospora sojina* K. Hara.

Materiales y métodos

Estructuración de la evaluación agronómica (PEA)

Se evaluaron siete genotipos de soya en la región de la Orinoquía en tres localidades de la subregión Altillanura en el semestre A (abril-mayo) de 2011 y tres localidades de la subregión Piedemonte en el semestre B (agosto-septiembre) de 2011, mediante una prueba de evaluación agronómica (PEA) ajustada a la Resolución 01985 (ICA, 2000).

Las localidades y su ubicación se identificaron como: localidad 1 (TA): Puerto López (Corpoica Taluma, semestre A) (4° 22' 41" N 72° 13' 25" O); localidad 2 (CA): Puerto Gaitán (Corpoica Carimagua, semestre A) (43° 6' 10" N 71° 12' 07" O); localidad 3 (PO): Puerto López (Finca El Porvenir, semestre A) (41° 8' 32" N 72° 09' 40" O); localidad 4 (PA): Granada (Finca Paraíso, semestre B) (33° 5' 21" N 73° 40' 39" O); localidad 5 (TO): Villavicencio (Finca Topacio, semestre B) (40° 4' 31" N 73° 28' 30" O); localidad 6 (DE): Granada (Finca Delicias, semestre B) (33° 3' 51" N 73° 39' 59" O). Las localidades TA, CA Y PO de la subregión Altillanura presentan, según la clasificación de Köppen, un clima tropical lluvioso de sabana (Aw_1B_1), y las localidades PA, TO y DE de la subregión Piedemonte un clima tropical de bosque moderadamente húmedo (Am_2B_2), ambas subregiones con una temperatura promedio anual de 28 °C y una precipitación de 2800 mm (Riveros, 1983).

Materiales genéticos y diseño experimental

La PEA estuvo constituida por siete genotipos promisorios de soya del programa de mejoramiento genético de AGROSAVIA, seleccionados por su alto rendimiento y resistencia a *Cercospora sojina* (Valencia y Ligarreto, 2010) en las condiciones de suelos ácidos oxisoles (Altillanura) e inceptisoles (Piedemonte) e identificados experimentalmente como: L-062, L-103, L-154, L-251, L-1432, L-2078 y L-189. Se utilizaron como testigos las variedades comerciales Soyica P-34 para Altillanura y Corpoica Superior 6 para Piedemonte, las cuales han mostrado susceptibilidad a *Cercospora sojina*. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con nueve tratamientos (siete genotipos y dos testigos) y cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por parcelas de seis surcos (cuatro para cosecha y dos para efecto de borde) de 5 m de longitud y una distancia entre surcos de 0,40 m con una densidad de 375 000 plantas por hectárea.

Características del suelo

Los suelos de las localidades TA, CA y PO, ubicados en la subregión de la Altillanura, corresponden al orden oxisoles, y de las localidades PA, TO y DE al orden inceptisoles. Los suelos en ambas subregiones coinciden en su condición de acidez con alta saturación de aluminio y bajo contenido de fósforo. Para conocer el nivel de fertilidad del suelo y derivar la recomendación de fertilización, en cada localidad se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm, con el propósito de determinar las características físicas: textura (método del hidrómetro o Bouyoucos) y químicas: pH (método potenciómetro), materia orgánica (%) (método de Walkley y Black), fósforo (mg kg^{-1}) (método Bray II), calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), expresados en (cmol kg^{-1}) (extracción con acetato de amonio pH 7 y cuantificación por absorción atómica), y saturación de bases (%) (calculada mediante la fórmula $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}/\text{CIC}$). Estos análisis se realizaron en el laboratorio de química de suelos, aguas y plantas de AGROSAVIA con la Norma Técnica de Calidad NTC-2005.

Manejo agronómico

La preparación del suelo en cada localidad se realizó con un pase de arado de cincel vibratorio, dos pases de rastra y un pase de rastra pulidor. La siembra se realizó de forma manual y en cada localidad se realizó la fertilización basada en los resultados del análisis de suelos y el requerimiento nutricional de soya para la Altillanura y Piedemonte. Se aplicaron compuestos simples en kg ha^{-1} de N:150, P_2O_5 : 120, K_2O : 90, Ca: 70, Mg: 25 y Borozinco: 20. Se realizó control de malezas, principalmente de gramíneas y de hoja ancha, desde el momento de la siembra con aplicaciones preemergentes de S-meolacoloro y Metribuzina y posemergentes con Fomesafen y Cletodim. Se realizaron controles de insectos-plaga (*Anticarsia gemmatilis* (Hubner), *Bemisia tabaci* (Gennadius) y *Maruca testulalis* (Geyer) con aplicaciones de Imidacloprid y Carbaryl.

Evaluaciones agronómicas

Se determinaron dos variables en condiciones de campo: 1) rendimiento de grano: peso de grano por parcela, transformado a t ha^{-1} con 13 % de humedad y 2) reacción a “Mancha ojo de rana” (*Cercospora sojina* K. Hara), evaluada en el área foliar a los setenta días después de siembra en condiciones de presión de inóculo natural y determinada con una escala visual de 1 a 5 (Khati et al., 2007), donde 1= síntomas ausentes (resistente); 2= 5 % de incidencia (resistente); 3= 20 % de incidencia (moderadamente susceptible); 4= 45 % de incidencia (susceptible) y 5= 50 % de incidencia (muy susceptible)

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el procedimiento GLM, de SAS versión 9,4 (SAS Institute Inc, 2016). La comparación entre medias de los tratamientos se realizó mediante la prueba de Tukey ($p=0,05$). Con la variable rendimiento de grano se realizaron los análisis de varianza individuales por localidad y combinando localidades. Para el análisis de varianza, las localidades y las repeticiones se consideraron efectos aleatorios, y los genotipos efectos fijos.

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente: $Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + (GA)_{ij} + B_k(j) + E_{ijk}$; donde: Y_{ijk} = rendimiento promedio del i -ésimo genotipo obtenido en el j -ésimo ambiente y k -ésima repetición; μ = Efecto de la media general; G_i = efecto del i -ésimo genotipo; A_j = efecto del j -ésimo ambiente; $(GA)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i -ésimo genotipo y el j -ésimo ambiente; $B_k(j)$ = efecto de la k -ésima repetición en el j -ésimo ambiente y E_{ijk} = efecto aleatorio del error experimental asociado al i -ésimo genotipo en el j -ésimo ambiente y k -ésima repetición, según el modelo lineal aditivo.

Análisis de estabilidad fenotípica y criterio de selección del mejor genotipo

La interacción genotipo x localidad se estudió para la variable rendimiento de grano con base en el modelo de efecto principal aditivo e interacción multiplicativa (AMMI), descrito por Gabriel (1971) y Crossa et al. (2002). El criterio de selección del genotipo o genotipos candidato(s) a variedad (es), fue el rendimiento de grano superior del 8 % y con baja presencia de la Mancha de ojo de rana (*Cercospora sojina* K. Hara), en relación con el testigo comercial Soyica P-32 (Altillanura) y Corpoica Superior 6 (Piedemonte).

Resultados

Caracterización de los ambientes de evaluación

Los suelos asociados a las localidades de evaluación de los genotipos de soya por ubicación y geomorfología se clasificaron como: a) suelos ácidos del orden oxisol asociados a la subregión de la Altillanura (TA, CA y PO) y b) suelos ácidos del orden inceptisoles asociados con la subregión del Piedemonte (PA, TO y DE). Los suelos de la Altillanura con una textura de franco arcillosa a franco arenosa, mayor áidez (4,8-5,1) y con un menor contenido de fósforo (5,6-11,7 mg kg⁻¹) y de saturación de bases (74-84 %); mientras que los suelos del Piedemonte con una textura franco limosa, menor áidez (5,2-6,5) y mayor contenido de fósforo (20,5-31,7 mg kg⁻¹) y de saturación de bases (83-100 %) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físico-químicas de suelos en seis localidades de la Altillanura (A) y Piedemonte (P) donde se evaluaron siete genotipos de soya. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia. 2011.

Table 1. Physico-chemical characteristics of soils in six localities of the Altillanura (A) and Piedmont (P) where seven soybean genotypes were evaluated. Colombian Agricultural Research Corporation (AGROSAVIA), Colombia. 2011.

Subregión	Localidad	Textura	pH	Materia orgánica %	Fósforo mg kg ⁻¹	Saturación bases %	Calcio cmol kg ⁻¹	Magnesio cmol kg ⁻¹	Potasio cmol kg ⁻¹
A	TA	FAR	4,8	3,2	8,4	84,0	2,0	0,8	0,41
	CA	FA	5,1	1,5	11,7	74,0	0,7	0,6	0,13
	PO	FA	5,0	2,9	5,6	64,0	1,2	0,5	0,06
P	PA	FL	5,5	1,4	20,5	95,0	2,6	0,2	0,11
	TO	FL	5,2	2,2	31,7	83,0	1,5	0,2	0,17
	DE	FL	6,5	2,3	20,5	100,0	6,1	0,1	0,06

TA: Corpoica Taluma 2011 A, CA: Corpoica Carimagua 2011 A, PO: Finca El Porvenir 2011 A / TA: Corpoica Taluma 2011 A, CA: Corpoica Carimagua 2011 A, PO: El Porvenir Farm 2011 A.

PA: Finca El Paraíso 2011 B, TO: Finca el Topacio 2011 B, DE: Finca las Delicias 2011 B / PA: El Paraíso Farm 2011 B, TO: El Topacio Farm 2011 B, DE: Las Delicias Farm 2011 B.

FA: textura franco arenosa; FAR: textura franco-arcillosa; FL: textura franco-limosa / FA: sandy loam texture; FAR: clay loam texture; FL: silt loam texture.

Análisis de estabilidad fenotípica

De acuerdo con el análisis de varianza combinado a través de localidades para el rendimiento de grano, se presentaron diferencias altamente significativas para los factores localidad, genotipo e interacción genotipo x

localidad. La mayor participación de la variación total del rendimiento de grano se debió a la interacción genotipo x localidad (28,6 %), superior a la observada por el componente genético-genotipo (18,2 %) y el componente ambiente-localidad (15,2 %). Con base en el análisis AMMI, se estableció mediante la prueba de Gollob, que los dos primeros componentes principales con una significancia ($\alpha < 0,01$) explicaron el 81,8 % de la interacción genotipo x localidad (Cuadro 2). Este resultado permite una interpretación confiable del comportamiento de la interacción genotipo x localidad, ya que un valor aceptable es una proporción mayor a 75 % (Crossa et al., 2002).

Cuadro 2. Análisis AMMI para el rendimiento de grano (kg ha⁻¹) de siete genotipos de soya evaluados en seis localidades de la Altillanura y Piedemonte. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia. 2011.

Table 2. AMMI analysis for the grain yield (kg ha⁻¹) of seven soy genotypes evaluated in six localities of the Altillanura and Piedemonte. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia. 2011.

Fuente de variación	g.l	Cuadrado medio (C.M.)	%
Localidad- L	5	2 433 255**	15,3(1)
Repetición (L)	18	171 717	
Genotipo -G	8	1 823 655**	18,2(1)
G x L	40	573 486**	28,6(1)
CP1	12	1 178 665**	60,9(2)
CP2	10	460 203**	81,8(2)
CP3	8	276 287ns	91,4(2)
CP4	6	244 132ns	97,7(2)
CP5	4	129 590ns	100,0(2)
Error	144	191 084	

** , ns =diferencias significativas y no significativas($\alpha < 0,01$), respectivamente. **, ns=significant and non-significant differences ($\alpha < 0,01$), respectively.

El rendimiento de grano en kg ha⁻¹ (en paréntesis) de los genotipos L-189 (2660), L-2078 (2449), L-103 (2427), L-1432 (2367) y L-062 (2352), iguales estadísticamente entre sí, fueron superiores y diferentes estadísticamente ($p=0,05$) a los dos testigos comerciales Soyica P34 (2168) y Superior 6 (2114) y a los genotipos L-154 (2199) y L-249 (2174). En términos de ganancia de rendimiento de grano en relación con los testigos comerciales, el incremento varió desde 184 kg hasta 492 kg con el genotipo L-062 en relación con Soyica P-34 y desde 238 kg hasta 546 kg con el genotipo L-189 en relación con Corpoica Superior 6. Los genotipos L-154 y L-251 fueron los dos únicos que no lograron superar en el rendimiento de grano a los dos testigos comerciales, con valores en kg ha⁻¹ de 1991 y 1747, respectivamente, iguales estadísticamente entre sí y diferentes ($p=0,05$) a los primeros cinco mejores genotipos (Cuadro 3).

El gráfico biplot del modelo AMMI obtenido con base en los dos primeros componentes principales CP1 y CP2 (Figura 1), permitió el reconocimiento entre otros de: a) genotipos con adaptación general, aquellos asociados y cercanos al vértice cero; b) genotipos con adaptación específica, aquellos asociados al vértice del vector de una o varias localidades; y c) aporte de cada localidad en la interacción genotipo x localidad (mayor longitud del vector, mayor aporte en la interacción y viceversa), y la potencia para discriminar genotipos. Por su mayor y menor longitud del vector localidad, los ambientes TO y DE fueron los que presentaron el mayor y menor aporte a la interacción genotipo x localidad, respectivamente.

Cuadro 3. Rendimiento de grano de siete genotipos de soya evaluados en seis localidades de la Altillanura y Piedemonte y su incremento o reducción en relación con dos testigos comerciales. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia. 2011.

Table 3. Grain yield of seven soy genotypes evaluated in six localities of the Altillanura and Piedemonte and their increase or decrease in relation to two commercial controls. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia. 2011.

Genotipo	Rendimiento (kg ha ⁻¹) y <i>Cercospora sojina</i> (1-5)	Incremento (+) o decremento (-) rendimiento (kg ha ⁻¹)(%) en relación con:	
		Soyica P-34	Corpoica Superior 6
L-189	2 660 a 1	+492(22,7)	+546(25,8)
L-2078	2 449 ab 3	+281(12,9)	+335(15,8)
L-103	2 427 ab 1	+259(11,9)	+313(14,8)
L-1432	2 367 ab 3	+199(9,2)	+253(11,9)
L-062	2 352 ab 1	+184(8,5)	+238(11,3)
Testigo: Soyica P-34	2 168 cd 3	-	+54(2,6)
Testigo: Superior 6	2 114 cd 3	-54(-2,5)	-
L-154	1 991 cd 3	-177(-5,8)	-123(-5,8)
L-251	1 747 d 3	-421(-19,4)	-367(-17,4)

^{a,b,c,d} Medias con distinta literal en la misma columna indican diferencias con $p \leq 0,05$ (Tukey). Escala visual de valoración de *Cercospora sojina*: 1= resistente; 3= moderadamente susceptible / ^{a,b,c,d} Averages with a different literal in the same column indicate differences with $p \leq 0,05$ (Tukey). Visual scale assessment of *Cercospora sojina*: 1= resistant; 3= moderately susceptible.

La adaptación específica reconocida como la ubicación de un genotipo próximo con el vector de una o varias localidades, mostró que los cinco genotipos ubicados en las primeras posiciones para el rendimiento de grano presentaron adaptación específica con excepción del genotipo L-1432 que no presentó asociación con ninguna localidad. L-189 presentó una adaptación específica asociada con las localidades TO y PA en la Altillanura, L-2078 con la localidad DE del Piedemonte, L-103 con las localidades TA, CA y PO de la Altillanura y L-062 con la localidades CA y TA de la Altillanura (Figura 1).

La evaluación de *Cercospora sojina* K. Hara en la hoja, como complemento de la variable de rendimiento de grano para la selección del genotipo o genotipos candidato(s) a variedad (es), solo se presentó en cuatro de las seis localidades: en Altillanura en CA y TO, y en Piedemonte en PO y DE. Solo los genotipos L189, L103 y L-062 mostraron resistencia en condiciones de inóculo natural, a diferencia de la presencia del patógeno en las variedades comerciales testigo Soyica P-34 y Corpoica Superior 6 y en los genotipos L-2078, L-1432, L-154 y L-251, que fueron moderadamente susceptibles (escala de 3 y 20 % de incidencia) (Cuadro 3).

Discusión

Los dos grupos de suelos asociados con las subregiones de la Altillanura y Piedemonte presentaron diferencias en relación con el pH, la saturación de bases y el contenido de fósforo. La menor acidez y mayor saturación de bases y contenido de fósforo en los suelos del Piedemonte le otorgan a esta subregión una mayor de fertilidad en relación con la Altillanura. Este nivel de contraste de las localidades entre subregiones (Altillanura y Piedemonte) se corroboró por la mayor proporción en el modelo estadístico de la interacción genotipo x localidad y en menor proporción por localidad y genotipo (15,3 % para localidad, 18,2 % para genotipo y 28,6 % para G x L), lo cual

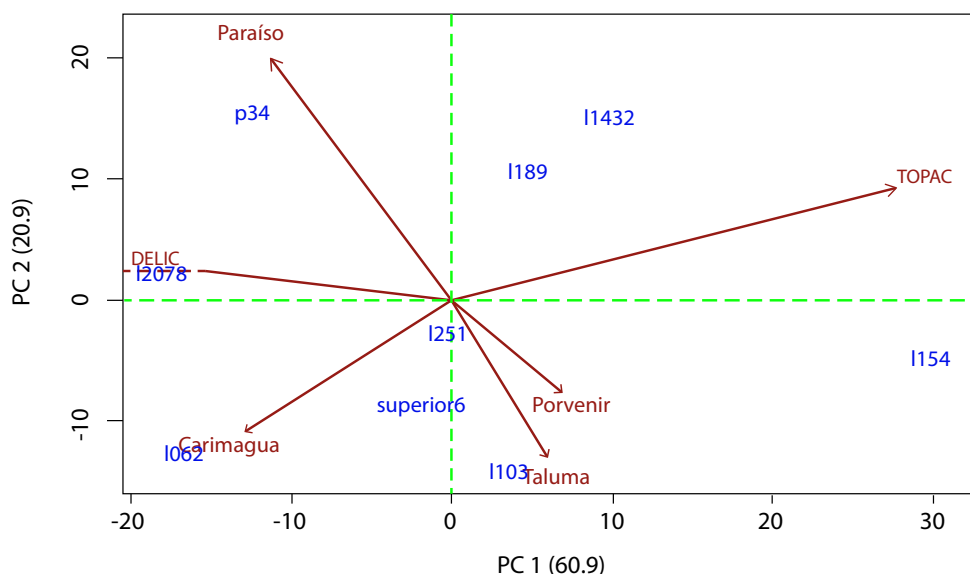


Figura 1. Representación de siete genotipos de soya evaluados en seis localidades de la Altillanura y Piedemonte, respecto a los dos primeros componentes CP1 y CP2 del análisis AMMI para el rendimiento de grano. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia. 2011.

TA: Corpoica Taluma 2011 A, CA: Corpoica Carimagua 2011 A, PO: Finca El Porvenir 2011 A, PA: Finca El Paraíso 2011 B, TO: Finca el Topacio 2011 B, DE: Finca las Delicias 2011 B.

Figure 1. Representation of seven soy genotypes evaluated in six localities of the Altillanura and Piedemonte, with respect to the first two components CP1 and CP2 of the AMMI analysis for grain yield. Colombian Agricultural Research Corporation (AGROSAVIA), Colombia. 2011.

TA: Corpoica Taluma 2011 A, CA: Corpoica Carimagua 2011 A, PO: Finca El Porvenir 2011 A, PA: Finca El Paraíso 2011 B, TO: Finca el Topacio 2011 B, DE: Finca las Delicias 2011 B.

permitió un desempeño diferencial de los genotipos a través de las localidades para la variable rendimiento de grano, y reconocer a través de la gráfica biplot el grado de asociación con las localidades (adaptación específica).

De los siete genotipos de soya evaluados, se identificaron cinco en los primeros lugares (L-189, L-2078, L103, L-1432 y L-062) por su desempeño con un rendimiento de grano superior en más de 200 kg ha⁻¹ en relación con los dos testigos comerciales Soyica P-34 y Corpoica Superior 6. No obstante, solo tres de ellos (L-189, L-103 y L-062) presentaron la combinación requerida de un rendimiento superior al 8 % y resistencia a *Cercospora sojina*. Los genotipos L-2078 y L-1432, no obstante de haber obtenido un alto rendimiento y superior a los testigos comerciales, presentaron un nivel de incidencia del 20 % de *Cercospora*, considerada como moderadamente susceptible; por su parte, los genotipos L-154 y L-251 presentaron un rendimiento menor y mayor incidencia de *Cercospora*. La incidencia de este patógeno en condiciones de inóculo natural en los testigos comerciales y en los genotipos L-154 y L-251 fue un indicativo de que la respuesta se debió al componente genético.

Cercospora sojina es considerado a nivel mundial como uno de los patógenos más destructivos en la soya, con detrimento en el rendimiento y calidad del grano (Carmona et al., 2015; Mengistu et al., 2018; Xavier et al., 2019). A pesar de que en Colombia aún no se tienen estudios específicos de la relación entre la incidencia con el daño económico, los reportes en otros países han corroborado la reducción del rendimiento, como en Nigeria con disminuciones entre el 44 % y 60 % (Dashiell y Akem, 1991; Akem y Dashiell, 1994), en Zambia del 37,4 % (Mwase y Kapooria, 2001), en Argentina del 40 % (Ploper et al, 2000; Carmona et al., 2015) y en el norte de Brasil

del 60 % (Xavier et al., 2019). En Estados Unidos *Cercospora* se ubicó como el cuarto patógeno más destructivo en soya en el sur del país, con pérdidas del rendimiento del 40 al 60 % (Mengistu et al., 2018). El grado de incidencia de este patógeno en los genotipos L-189, L-103 y L-062 está asociado a un buen grado de resistencia, permitiendo la repetibilidad del desempeño en condicionales comerciales en cada subregión específica de recomendación.

Es reconocido a nivel mundial que el mejoramiento genético en soya es una de las estrategias efectivas para incrementar el rendimiento de grano. Pese a que el rendimiento de grano de los genotipos L-189, L-103 y L-062 fue superior al promedio nacional de 2,01 t ha⁻¹ (FENALCE, 2018), este fue menor al de Estados Unidos (2,6 t ha⁻¹), Brasil (3,4 t ha⁻¹) y Argentina (3,2 t ha⁻¹) (Balboa et al., 2018), y mucho menor al de los países europeos con rendimientos en t ha⁻¹ en Serbia de 3,2, Croacia y Austria de 3,1, y Eslovenia y Alemania de 2,9 (FAO, 2017). Es evidente, que estos tres genotipos se constituyen en una oferta genética que permitirá en los próximos años incrementar el promedio a nivel país; sin embargo, se reconoce que aún queda una brecha en el rendimiento de grano para cerrar en Colombia por la vía del mejoramiento genético. Experiencias similares al de la Orinoquía, en condiciones de suelos ácidos con alta saturación de aluminio y bajo contenido de fósforo en el Cerrado Brasileiro, indican como a través del mejoramiento genético se logró el incremento del rendimiento de 1,1 t ha⁻¹ en la década de 1960/69 a 3,3 t ha⁻¹ en 2016/17 (Cattelan y Dall'Agnol, 2018), y a nivel mundial con un incremento significativo de 1,1 a 2,6 t ha⁻¹ desde 1961 al 2014 (FAO, 2017) o en Estados Unidos de 25 a 30 kg ha⁻¹ año⁻¹ en el año 1992 al 2007 (De-Bruin y Pedersen, 2009; Matías et al., 2016).

Conclusiones

Se identificaron tres genotipos de soya: L189, L103 y L-062, con un rendimiento superior del 8 % y menor incidencia de Mancha de Ojo de Rana (*Cercospora sojina*) en relación con las variedades comerciales Soyipa P-34 y Corpoica Superior 6. Según la adaptación genotipo-localidad, L-189 presentó adaptación específica a la subregión del Piedemonte y los genotipos L-103 y L-062 a la subregión Altillanura. Estos tres genotipos de soya fueron inscritos como variedades comerciales en el Sistema Nacional de Cultivares del ICA como Corpoica Guayuriba (L-189), Corpoica Achagua (L-062) y Corpoica Iraca (L-103), de acuerdo con su adaptación específica por subregión.

Literatura citada

- Akem, C.N., and K.E. Dashiell. 1994. Effect of planting date on severity of frogeye leaf spot and grain yield of soybeans. *Crop Protec.* 13:607-610. doi:10.1016/0261-2194(94)90006-X
- Balboa, G.R., V.O. Sadras, and I.A. Ciampitti. 2018. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: a historical synthesis-analysis. *Crop Sci.* 58:43-54. doi:10.2135/cropsci2017.06.0349
- Carmona, M.A., F.J. Sautua, and E.M. Reis. 2015. Soybean frogeye leaf spot (*Cercospora sojina*): First economic damage threshold determination. *Adv. Appl. Agric. Sci.* 3(5):1-7.
- Cattelan, A.J., and A. Dall'Agnol. 2018. The rapid soybean growth in Brazil. *OCL* 25(1):18-25. doi:10.1051/ocl/2017058
- Crossa, J., P. Cornelius, and W. Yan. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype environment interaction. *Crop. Sci.* 42:619-633. doi:10.2135/cropsci2002.0619
- Dashiell, K.E., and C.N. Akem. 1991. Yield losses in soybeans from frogeye leaf spot caused by *Cercospora sojina*. *Crop Protec.* 10: 465-468. doi:10.1016/S0261-2194(91)80134-2

- De-Bruin, J.L., and P. Pedersen. 2009. Growth, yield and yield component changes among old and new soybeans cultivars. *Agron. J.* 101:124-130. doi:10.2134/agronj2008.0187
- FAO. 2017. Colecciones de bases de datos de FAOSTAT. FAO, Roma, ITA. <http://faostat.fao.org> (consultado abr. 2019).
- FENALCE (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas). 2018. Situación del sector cereales, leguminosas y soja. Departamento de Información Económica y Estadística. FENALCE, COL. http://www.fenalce.org/nueva/plantillas/arch_down_load/Situacion_del_Sector_III_Trimestre_2017.pdf (consultado feb. 2018).
- Gabriel, K. 1971. The biplot graphic of matrices with application to principal component analysis. *Biometrics* 58:453-467. doi:10.2307/2334381
- Goettel, W., E. Xia, R. Upchurch, M.L. Wang, and P. Chen. 2014. Identification and characterization of transcript polymorphisms in soybean lines varying in oil composition and content. *BMC Genomics* 15:299. doi:10.1186/1471-2164-15-299
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2000. Resolución 1985. ICA, COL. <https://www.ica.gov.co/getattachment/1e3dbbcd-e900-4c3d-9474-0c98dfbf5f48/2000R1985.aspx> (consultado abr. 2019).
- Khati, P., K.S. Hooda, and S.K. Shukla. 2007. Screening of soybean genotypes against frogeye leaf spot. *Indian Phytopathol. Soc.* 60(1):121-122.
- Matías, F., J.A. Gerde, and J.L. Rotundo. 2016. Genetic gain of soybean in maturity groups III to V in Argentina from 1980 to 2015 *Crop Science* 56:3066-3077. doi:10.2135/cropsci.2016.04.0214
- Mengistu, A., H. Kelly, N. Bellaloui, P.R. Arelli, y B. Lin. 2018. Cuantificación de los efectos de los fungicidas y la labranza sobre la severidad de *Cercospora sojina* y el rendimiento de la soja. *Prog. Sanidad Veg.* 19:226-232.
- Mwase, W.F., and R.G. Kapooria. 2001. Incidence and severity of frogeye leaf spot and associated yield losses in soybeans in agroecological zone II of Zambia. *Mycopathologia* 149:73-78. doi:10.1023/A:1007126225457
- Phansak, P., W. Soonswon, D.L. Hyten, Q. Song, and P. B. Cregan. 2016. Multi-population selective genotyping to identify soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] seed protein and oil QTLs. *G3 (Bethesda)* 6:1635-1648. doi:10.1534/g3.116.027656
- Ploper, L.D., V. Gonzalez, R. Galvez, M. Devani, y F. Ledesma. 2000. La mancha ojo de rana. Otra enfermedad limitante del cultivo de la soja. *Avance Agroind.* 21(2):9-12.
- Riveros, S. 1983. La orinoquía colombiana. *Bol. Soc. Geográf. Colomb.* 118(33):1-9.
- Rueda-Agudelo, S.L., y A.M. Giraldo-Mejía. 2018. Energía metabolizable del grano de soya integral en pollo de engorde. *Rev. Vet. Zootec.* 12(1):84-104. doi:10.17151/vetzo.2018.12.1.7
- SAS Institute Inc. 2016. User's guide Version 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sungwoo, L., V. Kyujung, M. Sung, R. Nelson, J. LaMantla, L.H. MacHale, and M.A. Rouf Mlan. 2019. Genome-wide association study of seed protein, oil and amino acid contents in soybean from maturity groups I to IV. *Theor. Appl. Genet.* 132:1639-1659. doi.org/10.1007/s00122-019-03304-5
- Valencia, R., H. Carmen, H. Vargas, y G. Arrieta. 2006. Variedades mejoradas de soya para zonas productoras actuales y potenciales de Colombia. *Innov. Cambio Tecnol.* 4(2-3):7-15.
- Valencia R., y G. Ligarreto. 2010. Mejoramiento genético de la soya (*Glycine max* [L.] Merrill) para su cultivo en la Altillanura colombiana: una visión conceptual prospectiva. *Agron. Colomb.* 28:155-163.
- Xavier, W.D., J.V. Silva, C.M. Guimaraes, J.L. Ferreira, and T.A. Turozi. 2019. Use of Cooper-Based pesticides to control fungal diseases of soyben in Northern Brazil. *J. Exp. Agric. Int.* 33(2):1-10. doi:10.9734/JEAI/2019/v33i230137