

Adaptabilidad y estabilidad fenotípica en cultivares de frijol caupí en el caribe húmedo colombiano

Phenotypic adaptability and stability of cowpea cultivars in the colombian humid caribbean

Estabilidade e adaptabilidade fenotípica de cultivares de feijão-caupi no caribe úmido colombiano

HERMES ARAMÉNDIZ-TATIS¹, MIGUEL ESPITIA-CAMACHO², CARLOS CARDONA-AYALA³

RESUMEN

El frijol caupí es un cultivo de importancia social, económica y alimenticia del Caribe colombiano. El objetivo del estudio fue seleccionar genotipos de frijol caupí con base en parámetros de adaptabilidad y estabilidad. Se evaluaron nueve genotipos en seis ambientes representativos del Caribe húmedo colombiano, durante los años 2013 y 2014. La evaluación agronómica de los genotipos se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar con nueve tratamientos y cuatro repeticiones en todos los ambientes. Para este estudio se consideraron el rendimiento de grano, número de

Recibido para evaluación: 25 de Julio de 2016.

Aprobado para publicación: 9 de Agosto de 2017.

- 1 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación Cultivos Tropicales de Clima Cálido. Ph.D. Montería, Colombia.
- 2 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación Cultivos Tropicales de Clima Cálido. Ph.D. Montería, Colombia.
- 3 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación Cultivos Tropicales de Clima Cálido. Ph.D. Montería, Colombia.

Correspondencia: haramendiz@correo.unicordoba.edu.co

granos por vainas y peso de 100 semillas . La estabilidad y adaptabilidad de los genotipos fueron evaluadas por los métodos de Wricke, Eberhart y Russel, Lin y Binns, y Carneiro. El análisis de varianza combinado detectó diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre ambientes, genotipos e interacción genotipo x ambiente para las tres variables estudiadas. Tres de los cuatro métodos aplicados identificaron al genotipo L-042 como el de mejor estabilidad y adaptabilidad para las condiciones ambientales evaluadas. Las líneas L-042 y L-019 acusaron rendimientos superiores a $1000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, que las torna muy promisorias para el Caribe húmedo y permitió la liberación del genotipo L-042 como nuevo cultivar, con el nombre de CAUPICOR 50.

ABSTRACT

The cowpea crop is one of the greatest social, economic and nutritional importance of the Colombian Caribbean. The aim of the study was to select cowpea genotypes on base adaptability and stability parameters. Nine genotypes were evaluated in six representative environments of the Colombian humid Caribbean, during the years 2013 and 2014. Agronomic evaluation of genotypes was made under a randomized complete block design with nine treatments and four replications in all environments. For this study, the variables grain yield, number of grains per pod and weight of 100 seeds were evaluated. The adaptability and stability of the genotypes were evaluated by means of Wricke, Eberhart and Russel, Lin and Binns, and Carneiro methods. The combined analysis of variance detected highly significant differences ($p < 0,001$) between environments, genotypes and genotype x environment interaction for the three variables studied. Three of the four methods applied identified the genotype L-042 as the best stability and adaptability to environmental conditions evaluated. The L-042 and L-019 lines showed yields higher than $1000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, which makes them very promising for the Colombian humid Caribbean. The L-042 line was released as a new cultivar, with the name of CAUPICOR 50.

RESUMO

O feijão caupi é uma cultura de importância social, econômica e alimentícia do Caribe colombiano. O objetivo deste estudo foi selecionar genótipos de feijão-caupi com base em parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, nove genótipos foram avaliados em seis ambientes representativos do Caribe úmido colombiano, durante os anos 2013 e 2014. A avaliação agrônoma dos genótipos foi realizada em delineamento de blocos ao acaso com nove tratamentos e quatro repetições para todos os ambientes. Para este estudo, consideraram-se o rendimento de grão, o número de grãos por vagens e o peso de 100 sementes . A adaptabilidade e estabilidade dos genótipos foram avaliadas por meio dos métodos de Wricke, Eberhart e Russel, Lin e Binns e Carneiro. A análise de variância conjunta detectou diferenças altamente significativas ($p < 0,001$) entre ambientes, genótipos e interação genótipos x ambientes para as três variáveis estudadas. Três dos quatro métodos aplicados identificaram o genótipo L-042 como o de melhor estabilidade e adaptabilidade para as condições ambientais avaliadas. As linhas L-042 e L-019 mostraram rendimentos superiores a 1.000 kg ha^{-1} , tornando-as muito promissoras para o Caribe

PALABRAS CLAVE:

Selección, Rendimiento de grano, Mejoramiento genético, Interacción genotipo x ambiente, Fecha de siembra

KEYWORDS:

Selection, Grain yield, Genetic improvement, Genotype x environment interaction, Sowing dates.

PALAVRAS-CHAVE:

Seleção, Rendimento de grãos, Melhoramento genético, Interação genótipos x ambientes, data de plantio.

úmido e permitu o lançamento da linhagem L-042 como nova cultivar, com o nome de CAUPICOR 50.

INTRODUCCIÓN

El frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), es la leguminosa de mayor importancia en el Caribe colombiano, por su alto contenido de proteína, hierro y zinc; donde es cultivado por pequeños productores de economía campesina, con cultivares criollos, que tienen bajo rendimiento (600 kg ha^{-1}) debido al uso de semillas no certificadas y déficit hídrico. Este panorama obedece al rezago tecnológico del sector agropecuario, ya que muchos cultivos perdieron su dinámica de investigación, como el frijol caupí; registrándose una brecha tecnológica en el país que ha conducido a importaciones del orden de las 5632 toneladas para satisfacer su demanda [1], especialmente, para la región Caribe, donde forma parte de sus hábitos alimenticios.

Considerando que el rendimiento es uno de los problemas que más afecta la competitividad de este cultivo, por el uso de cultivares obsoletos, es menester de los programas de mejoramiento genético en su fase final, identificar genotipos que respondan a la oferta ambiental heterogénea de las zonas productoras; ya que la agricultura del siglo XXI demanda la producción eficiente de más alimentos por unidad de superficie, dado que la tasa de crecimiento poblacional del 1,9% conducirá en el año 2030 a una población de 62.695 millones de colombianos [2]. Por lo tanto, genotipos con alto potencial de rendimiento, calidad de grano y buenas características agronómicas deben ser evaluados en un conjunto de ambientes contrastantes (localidades y años), en las zonas productoras del cultivo. En estos ambientes diversos factores contribuyen a la inestabilidad de la producción, como manejo agronómico, calidad de la semilla, plagas, enfermedades y condiciones climáticas entre otros, que inciden en el sistema de producción [3].

El comportamiento de una variedad es una función del genotipo (G), del ambiente (A) y de la interacción genotipo - ambiente (GxA), dificultando la selección de los que poseen amplia adaptación como los más estables [3]. La identificación de genotipos que mantengan un registro estable de rendimiento, independiente de las variaciones ambientales como de aquellos que respondan a una oferta ambiental favorable son recomendados para diferentes tipos

de productores. De esta manera, los genotipos estables son liberados para agricultores tradicionales que no usan o demandan pocos insumos; en tanto que los que responden a los ambientes favorables, son recomendados para agricultores que invierten en el mejoramiento de la oferta ambiental [4].

Diversas metodologías han sido aplicadas para el análisis de estabilidad y adaptabilidad en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y frijol caupí (*Vigna unguiculata*), destacándose aquellas basadas en el análisis de regresión como la de Eberhart y Russell [5]; la Ecovalencia de Wricke [6], que se sustenta en la partición de la interacción GxA en sumas de cuadrados en donde cada genotipo aporta a dicha interacción; las no paramétricas como Lin y Binns [7] y Carneiro [8], que a través de un índice paramétrico (Pi) e igualmente (Pif) y (Pid) caracterizan los genotipos por su estabilidad, adaptabilidad y rendimiento medio; siendo soporte en la liberación de nuevas variedades [9,10].

Estudios sobre adaptabilidad y estabilidad realizados por [9] en frijol caupí con metodologías no paramétricas y paramétricas, resaltan que el método de no paramétrico y segmentados fueron coherentes para identificar el cultivar más adecuado y estable.

El objetivo del presente estudio fue seleccionar genotipos de frijol caupí con base en parámetros de adaptabilidad y estabilidad fenotípica.

MÉTODO

Material genético y localización experimental

En el estudio se evaluaron ocho líneas obtenidas por selección individual (S.I.) de la población criollo Córdoba por el programa de mejoramiento genético de la Universidad de Córdoba y la población parental Criollo Córdoba, como testigo de dicho proceso (Cuadro 1).

Los genotipos fueron sembrados bajo las condiciones agroecológicas de seis ambientes representativos del Caribe húmedo. Los ambientes de evaluación correspondieron a la combinación de localidades y años; en los municipios de Montería (Córdoba), localizado en las coordenadas $08^{\circ} 47' 28''$ latitud norte y $75^{\circ} 51' 36''$ longitud oeste, durante los semestres 2013 B y 2014 A; Cereté (Córdoba) situado en las coordenadas $08^{\circ} 52' 30''$ latitud norte y $75^{\circ} 46' 21''$ longitud oeste, en los semestres 2013B y 2014 A;

Cuadro 1. Genotipos de frijol caupí evaluados en seis ambientes del Caribe colombiano.

Genotipo	Origen	Color semilla
L-001	S. l.	crema
L-006	S. l.	crema
L-014	S. l.	crema
L-019	S. l.	crema
L-020	S. l.	crema
L-034	S. l.	crema
L-042	S. l.	crema
L-047	S. l.	crema
Criollo Córdoba	Agricultores	crema

Mahates (Bolívar) ubicado en las coordenadas 10° 12' 48" latitud norte y 75° 06' 30", longitud oeste; durante el segundo semestre de 2013B y Sampués (Sucre), bajo las coordenadas 09° 14' 21.7" latitud norte y 75° 24' 52,8" longitud oeste, en 2014A.

Variables de respuesta

Se evaluaron en el período comprendido entre octubre de 2013 a diciembre de 2013 y de abril de 2014 a junio de 2014, en 216 unidades experimentales; los componentes del rendimiento para el frijón como son el rendimiento de grano, número de granos por vainas y peso de 100 semillas de líneas avanzadas de uso exclusivo del programa de mejoramiento genético del frijón caupí de la Universidad de Córdoba.

Diseño experimental

La evaluación agronómica de los genotipos se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar con nueve tratamientos, de los cuales ocho corresponden a líneas experimentales y como testigo el material parental "Criollo Córdoba" con cuatro repeticiones en los seis ambientes. Cada unidad experimental estuvo conformada por seis surcos de cinco metros de largo por 0,5 m entre plantas y 1,0 m entre surcos, para una población de 20.000 plantas por hectárea. Como parcela útil se consideraron los dos surcos centrales y para evitar el efecto de borde fueron colocados en los extremos dos surcos adicionales del cultivar Criollo Córdoba.

Los datos de rendimiento de grano, número de vainas y peso de 100 semillas fueron sometidos a sus respectivos análisis de varianza, individual para cada ambiente, seguido de un análisis combinado de va-

rianza y pruebas de medias. Los genotipos fueron considerados como efectos fijos y el ambiente como aleatorio. Una vez detectada la significancia de la interacción GxA, fueron realizados los análisis de estabilidad y adaptabilidad referentes a los nueve cultivos en seis ambientes, utilizando las metodologías propuestas por Ecovalencia de Wricke [6], Eberhart y Russell [5], Lin y Binns [7] y Carneiro [8]. Para la realización de estos análisis, fue utilizado el programa estadístico GENES V.2013.5.1 [10].

La metodología propuesta por Wricke [6], se basa en el parámetro de estabilidad conocido como "ecovalencia (ω_i)", es uno de los métodos más sencillos y determina la contribución de cada genotipo a la interacción GxA. Los genotipos con valores pequeños de ω_i son considerados como estables y se calcula de la siguiente manera:

$$\omega_i = r \sum_j GA_{ij}^2 = r \sum_j (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{..})^2 \quad [\text{Ec.1}]$$

Donde:

ω_i = ecovalencia del genotipo i en relación a la interacción genotipo x ambiente total;

Y_{ij} = valor de la característica en el genotipo i en el ambiente j;

\bar{Y}_i = media general del genotipo i;

\bar{Y}_j = media general del ambiente j;

$\bar{Y}_{..}$ = media general de todos los genotipos y ambientes.

Según Wricke [6] el genotipo ideal a seleccionar, es aquel que presenta el menor valor de ω_i y el más alto rendimiento promedio.

La metodología de Eberhart y Russell [5], considera la media del genotipo, el coeficiente de regresión (β), como medida de la respuesta de un cultivar en diferentes ambientes y el desvío de la regresión (δ_{ij}) que mide la consistencia de dicha respuesta. El coeficiente de regresión se calcula con el efecto ambiental (índice ambiental), considerado fijo, y representa la respuesta de un genotipo al mejorar la condición ambiental, mientras que el segundo representa una medición de variabilidad de la respuesta, interpretada como falta de consistencia. Un genotipo es deseable

si su media es superior al promedio general, su coeficiente de regresión es igual a 1 y las desviaciones de regresión igual a 0. Los anteriores parámetros son estimados de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij} \quad [\text{Ec.2}]$$

Donde:

Y_{ij} = Media fenotípica del i ésimo genotipo en el j ésimo ambiente ($i = 1, 2, \dots, n$); ($j = 1, 2, \dots, n$).

μ_i = Promedio del genotipo i ésimo sobre todos los ambientes;

β_i = Coeficiente de regresión que mide la respuesta del genotipo i ésimo a la variación de ambiente, basada en él;

I_j = Índice ambiental que resulta de la diferencia entre el promedio de todos los genotipos en el j ésimo ambiente menos el gran promedio o media general de todos los experimentos;

δ_{ij} = Desviación de la regresión del i ésimo genotipo en el j ésimo ambiente.

La metodología de Lin y Binns [7], clasifica los genotipos en función del parámetro (P_i), que asocia la estabilidad, adaptabilidad y rendimiento promedio. El cultivar más estable y deseable es aquel que tiene un rendimiento próximo al máximo en varios ambientes, o sea el que registre un menor (P_i).

Para estimar los parámetros de estabilidad por la metodología propuesta se utiliza la siguiente expresión:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2}{2N} \quad [\text{Ec.3}]$$

P_i = Estimativa de adaptabilidad o estabilidad del cultivar i a través de todos los ambientes;

μ_i = Promedio del genotipo i ésimo sobre todos los ambientes;

X_{ij} = Rendimiento del cultivar i en el ambiente j ;

M_j = Rendimiento máximo obtenido en todos los cultivos en el ambiente j ;

N = Número de ambientes.

El método de Lin y Binns [7], fue modificado por Carneiro [8] con el fin de identificar genotipos superiores para los ambientes favorables y desfavorables. Los siguientes parámetros fueron considerados:

$$P_{if} = \frac{\sum_{j=1}^f (Y_{ij} - M_j)^2}{2f} \quad [\text{Ec.4}]$$

$$P_{id} = \frac{\sum_{j=1}^d (Y_{ij} - M_j)^2}{2d}$$

P_{if} = Estimador de P_{ig} para ambientes favorables;

P_{id} = Estimador de P_{ig} para ambientes desfavorables;

f = Número de ambientes favorables;

d = Número de ambientes desfavorables;

Y_{ij} = Rendimiento del cultivar i en el ambiente j ;

M_j = Rendimiento máximo obtenido en todos los cultivos en el ambiente j .

RESULTADOS

Análisis de varianza y comparación de medias

El análisis de varianza para número de semillas por vainas (SEMV), peso de 100 semillas (P100S), y rendimiento de grano (RTO) detectó diferencias altamente significativas entre ambientes, genotipos y en la interacción genotipo por ambiente para las tres variables en estudio (Cuadro 2). Estos resultados señalan que al menos entre dos ambientes o entre dos genotipos se registraron diferencias en las características evaluadas. La presencia de interacción significativa refleja las diferentes sensibilidades de los genotipos en los ambientes evaluados, lo que limita la identificación de cultivos superiores para todo el Caribe húmedo con diferentes condiciones ambien-

tales, circunstancia que concuerda con [9, 11, 12, 13, 14 y 15], por el cambio en la clasificación de dichos cultivares como reflejo de los efectos ambientales.

A nivel de la oferta edafoclimática que ofrecieron los ambientes, el número de semillas por vainas osciló entre 10,66 para Montería 2014A a 13,47 en Montería 2013B; el peso de 100 semillas fluctuó entre 15,74 g para Montería 2014A a 19,94 g en Sampués 2014A y el rendimiento de grano varió entre 683 kg ha⁻¹ en Mahates 2013B a 1425 kg ha⁻¹ en Montería 2013B (Cuadro 3), lo que puede obedecer a la cantidad y distribución de la precipitación y la fertilidad de los suelos [3].

En lo concerniente a genotipos (Cuadro 4), el número de semillas por vainas varió entre 11,33 (L-047) a 14,16 (L-014) con una media de 12,24, valor superior en un grano al reportado por [11] y menor en dos granos al encontrado por [3]; el peso de 100 semillas fluctuó entre 14,48 g (L-034) a 20,44 g (L-042) con una media de 17,44 g que es superior a la reportada por [3, 11]; en tanto que el rendimiento de granos varió de 554 kg ha⁻¹ (L-020) a 1104 kg ha⁻¹ (L-042) con una media de 920 kg. ha⁻¹, superior al reportado por [3, 11, 16]; que acusaron valores medios de 794 y 706 kg ha⁻¹, ello demuestra que existe una estabilidad agronómica en la cual los genotipos responden efectivamente al potencial productivo ofrecido por los ambientes.

La magnitud de los efectos ambientales (78,98%), mucho mayor que los efectos genéticos (18,42%) y que la interacción genotipo por ambiente (2,58%), para el rendimiento de

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis combinado de varianza para tres variables agronómicas a partir de la evaluación de nueve genotipos de frijol caupí en seis ambientes del Caribe húmedo colombiano, 2013B y 2014A.

Fuente de variación	GL	SEMV (#)	P100S (g)	RTO (t ha ⁻¹)	VARIACIÓN (%)
Bloques	18	1,27	2,32	0,232	
Ambientes (A)	5	40,55 **	70,62 **	2,44**	78,98
Genotipos (G)	8	24,75 **	123,71 **	0,569**	18,42
G x A	40	1,41*	8,75 **	0,080**	2,58
Error	144	0,92	1,93	0,62	
Total	215	2,85	9,36	0,154	
Media		12,24	17,44	0,92	
C.V %		7,85	7,97	26,78	

SEMV: número promedio de semillas en cinco vainas; P100S: peso de 100 semillas; RTO: rendimiento de granos; **, * = Significativos al 1% y 5% de probabilidad.

Cuadro 3. Valores promedios de semillas por vaina (SEMV), peso de 100 semillas (P100S) y rendimiento de grano (RTO) evaluadas en seis ambientes del Caribe húmedo colombiano.

Ambiente	SEMV(#)	P100S (g)	RTO (t ha ⁻¹)
Monteria.2013B	13,47 a	16,40 c	1,425 a
Monteria.2014A	10,66 d	15,74 c	0,856 b
Mahates.2013B	12,80 ab	18,13 b	0,683 b
Sampués.2014A	12,11 bc	19,94 a	0,844 b
Cereté.2013B	11,38 cd	18,22 b	0,799 b
Cereté.2014A	13,00 a	16,70 c	0,981 b

Medias con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes.

Cuadro 4. Valores promedios de genotipos de frijol caupí para semillas por vaina (SEMV), peso de 100 semillas (P100S) y rendimiento de grano (RTO) evaluadas en seis ambientes del Caribe húmedo colombiano, 2013B y 2014A.

Genotipo	SEMV (#)	P100S (g)	RTO (t ha ⁻¹)
L-047	11,33 cd	19,67 a	0,964 a
Cr-Co	11,83 bcd	19,93 a	0,986 a
L-042	11,37 cd	20,44 a	1,104 a
L-014	14,16 a	16,44 bc	0,922 a
L-001	12,70 b	15,94 c	0,969 a
L-019	12,41 bc	15,92 c	1,027 a
L-006	12,58 b	15,28 c	0,891 a
L-034	12,91 b	14,48 c	0,964 a
L-020	11,83 d	18,89 ab	0,554 b

Medias con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes.

grano. Este resultado indica un gran contraste entre los ambientes dando como resultado diferencias entre las medias de los ambientes y, en consecuencia, en los rendimientos

de los genotipos. Estudios realizados en frijol caupí por [9], arrojaron resultados similares para los efectos de ambientes, genotipos e interacción genotipo por ambiente, sugiriendo

que los ambientes de producción del Caribe húmedo son más variables edafo-climaticamente, ello posiblemente por su ubicación y mayor efecto de la variabilidad de la zona tropical, lo que implica mayor dificultad y la necesidad de realizar un mayor número de pruebas en ambientes más contrastes para identificar cultivares bien con adaptación específica o adaptabilidad general.

Parámetros de estabilidad y adaptabilidad

Los resultados de los métodos de Wricke [6], Eberhart y Russell [5], Lin y Binns [7] y Carneiro [3], están consignados en la Cuadro 5.

Al aplicar los métodos de Lin y Binns [7] y Carneiro [8], se encontró que el estadístico P_i , P_{if} y P_{id} , que es la diferencia en relación al máximo rendimiento en cada ambiente, también estima la capacidad de respuesta de los cultivares, con relación a un cultivar hipotético y este estadístico tiene en consideración la adaptación de los cultivares en términos generales al igual que en ambientes favorables (f) y desfavorables (d) Por tanto, dicho estadístico, contempla en un solo parámetro, adaptabilidad y estabilidad [8].

El genotipo más adaptado, de acuerdo a las metodologías antes citadas (P_i , P_{if} y P_{id}), corresponde al cultivar L-042, dado que registró un P_i general de 0,003; en ambientes favorables 0,0033 y en ambientes desfavorable 0,0028, ocupando siempre el primer lugar, a causa de su menor desviación genética, rendimiento y estabilidad [15] y así mismo, fue el genotipo que presentó el mayor rendimiento de grano. De igual manera, se destaca el genotipo L-019 por presentar

un P_i general reducido ocupando el segundo lugar en ambientes desfavorables y el cuarto en ambientes favorables (Cuadro 5), constituyéndose así en otra alternativa de siembra para los agricultores como lo sostienen Lin y Binns [7]. Estudios adelantados por [17], encontraron resultados similares con respecto al parámetro P_i , confirmando así que los genotipos más adaptados y estables están siempre relacionados con altos rendimientos, debido a su estabilidad agronómica y son altamente predecibles.

La ecovalencia de Wricke [6] destaca la línea L-019 como el genotipo de menor valor ($\omega_i=0,024116$), seguido de la línea L-001 ($\omega_i=0,098343$) y el testigo Criollo Córdoba ($\omega_i=0,117284$), por su menor contribución a la interacción genotipo por ambiente total, siendo por tanto más estable la Línea L-019. De esta manera, una alternativa promisorio de liberación como nueva variedad para los productores de frijól caupí del Caribe colombiano es la línea L-019, por su mayor rendimiento de granos y un menor valor de ω_i (alta estabilidad), la cual superó en ambos parámetros al testigo criollo Córdoba Estos resultados son congruentes y similares a los de [13].

El análisis de estabilidad y adaptabilidad medido a través de la regresión lineal de Eberhart y Russell [5], excluyendo el parámetro rendimiento de grano, arrojaron como resultado que la línea L-020, posee adaptabilidad en ambientes desfavorables, por su $\beta_i=0,12^*$, que es menor que 1,0 y altamente predecible, por su desvío de la regresión estadísticamente igual a cero ($S^2d = 0,01680$). Es posible que su precocidad de cuatro días en floración y en días a cosecha

Cuadro 5. Parámetros de estabilidad y adaptabilidad de nueve genotipos de frijól caupí evaluados en seis ambientes del Caribe húmedo colombiano, 2013B y 2014A.

Genotipo	Rendimiento (t ha ⁻¹)	LIN Y BINNS		CARNEIRO		EBERHART Y RUSSEL		WRICKE
		P_i	P_{if}	P_{id}	β_i	S^2d	ω_i	
L-042	1,104 (1)	0,003 (1)	0,0033 (1)	0,0028 (1)	0,85 (2)	0,0011 (2)	0,296454 (7)	
L-019	1,027 (2)	0,010 (2)	0,0133 (4)	0,0086 (2)	0,95 (3)	-0,0142 (6)	0,024116 (1)	
Cr-Co	0,986 (3)	0,016 (3)	0,0108 (3)	0,0193 (6)	1,28 (6)	-0,0149 (7)	0,117284 (3)	
L-001	0,969 (4)	0,018 (4)	0,0208 (5)	0,0177 (5)	1,15 (5)	-0,0113 (4)	0,098343 (2)	
L-047	0,964 (5)	0,019 (5)	0,0402 (7)	0,0094 (3)	0,96 (4)	-0,0115 (5)	0,157062 (4)	
L-034	0,964 (5)	0,025 (6)	0,0452 (8)	0,0150 (4)	1,15 (5)	-0,0058 (3)	0,190785 (5)	
L-014	0,922 (6)	0,038 (7)	0,0073 (2)	0,0546 (8)	1,39 (8)	0,0040 (1)	0,521638 (8)	
L-006	0,891 (7)	0,039 (8)	0,0342 (6)	0,0415 (7)	1,34 (7)	-0,0113 (4)	0,231133 (6)	
L-020	0,554 (8)	0,216 (9)	0,4106 (9)	0,1187 (9)	0,12* (1)	0,0168 (8)	1,567997 (9)	

(): Clasificación u orden de preferencia del cultivar de acuerdo a la metodología aplicada.

con relación a los demás genotipos en todas las localidades pudiera estar relacionada con su bajo rendimiento de grano. En tanto que los otros cultivares registraron alta adaptabilidad general y estabilidad por acusar estadísticamente un $\beta_i = 1,0$ y $S^2d = 0$.

Los anteriores resultados son contrarios a los reportados Nunes et al. [9], quienes informan que genotipos de mejor estabilidad y adaptabilidad no son los de mejores rendimientos de grano, pero si congruentes con los manifestados por otro trabajo [6], dado que el genotipo ideal es aquel que además de tener $\beta_i = 1,0$ y $S^2d = 0$, debe registrar el mayor rendimiento de grano, de acuerdo a Eberhart y Russell [5].

En relación a los rendimientos de grano obtenidos, las líneas L-042 y L-019, fueron las mejores prospectivas para los agricultores (Cuadro 5) y ello obedece principalmente al efecto directo que tiene el número de vainas por metro lineal, semillas por vaina y peso de 100 semillas (Cuadro 4) sobre el rendimiento [15]. Por lo tanto, los resultados del presente estudio son confiables, ya que estudios reportados por [1], señalan la existencia de correlación positiva y significativa entre los métodos de Eberhart y Russell [5], Lin y Binns [7] y Carneiro [8].

CONCLUSIONES

El tipo de estabilidad y adaptabilidad que presentaron los genotipos evaluados en los diferentes ambientes fue agronómica.

Tres de los cuatro métodos aplicados identificaron al genotipo L - 042 como el de mejor estabilidad y adaptabilidad para las condiciones ambientales en que fueron evaluados.

Las líneas L-042 y L-019 acusaron rendimientos superiores a los 1000 kg ha⁻¹, que las torna muy promisorias para el Caribe húmedo colombiano.

REFERENCIAS

[1] COLOMBIA. FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE CEREALES (FENALCE). Situación del frijón en Colombia. Departamento de Información Económica y Estadística [en

- línea]. 2013. Disponible: www.fenalce.org [citado 4 de mayo de 2016].
- [2] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). Perfiles nutricionales por países: Colombia [en línea]. 2001. Disponible: <ftp://ftp.fao.org/es/esn/nutrition> [citado 15 de junio de 2016].
- [3] AZEVEDO, C.V.G., RIBEIRO, T., SILVA, D., CARBONELL, S. e CHIORATO, A. Adaptabilidade, estabilidade e resistência a patógenos em genótipos de feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 50(10), 2015, p. 912-922.
- [4] SANTOS, J.A.S., TEODORO, P.E., CORRÊA, A.M., SOARES, C.M.G., RIBEIRO, L. e ABREU, H. Desempenho agrônomo e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi cultivados no ecótono Cerrado/Pantanal. Bragantia, 73(4), 2014, p. 377-382.
- [5] EBERHART, S.A. and RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. Crop science, 6(1), 1966, p. 36-40.
- [6] WRICKE, G. On a method of understanding the biological diversity in field research. Z. Pflanzenzucht, 47, 1962, p. 92-96.
- [7] LIN, C. and BINNS, M. A method of analyzing cultivar x location x year experiments: a new stability parameter. Theoretical Applied Genetics, 76(3), 1988, p. 425-430.
- [8] CARNEIRO, P.C.S. Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento [Doutor Tese em Genética e Melhoramento]. Viçosa (Brasil): Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, 1988, 155 p.
- [9] NUNES, H., FREIRE FILHO, F., RIBEIRO, V. and GOMES, R. Grain yield adaptability and stability of blackeyed cowpea genotypes under rainfed agriculture in Brazil. African Journal of Agricultural Research, 9(2), 2014, p. 255-261.
- [10] CRUZ, C.D. Programa Genes V. 2013.5.1. - Aplicativo computacional em genética e estatística [em linha]. 2013. Disponible: <http://www.ufv.br/dbg/genes/gdown1.htm> [citado 10 de septiembre de 2013].
- [11] EL-SHAIENY, A.A.H., ABDEL-ATI, Y.Y., EL-DAMARANY, A.M. and RASHWAN, A.M. Stability analysis of components characters in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Journal of Horticulture and Forestry, 7(2), 2015, p. 24-35.

- [12] REA, R., DE SOUSA-VIEIRA, O., DÍAZ, A., RAMÓN, M., BRICEÑO, R., GEORGE, J. and DEMEY, J. Assessment of yield stability in sugarcane genotypes using non-parametric methods. *Agro-nomía Colombiana*, 33(2), 2015, p. 131-138.
- [13] TADEGE, M.B., UTTA, H.Z. and AGA, A.A. Association of statistical methods used to explore genotypic x environment interaction (GEI) and cultivar stability. *African Journal Agricultural Research*, 9(29), 2014, p. 2231-2237.
- [14] VANGE, T., ANGO, I.N. and ADEDZWA, D.K. Stability Analysis of Six Improved Sorghum Genotypes across Four Environments in the Southern Guinea Savanna Agroecological Zone of Nigeria. *International Journal of Advances in Agricultural Science and Technology*, 2(2), 2014, p. 1-14.
- [15] VARGAS, E., VARGAS, J. y BAENA, D. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de híbridos de maíz de alta calidad proteica en diferentes zonas Agroecológicas de Colombia. *Acta Agronómica*, 65(1), 2016, p. 72-79.
- [16] TORRES, F., SAGRILO, E., TEODORO, P., RIBEIRO, L. e CARGNELUTTI-FILHO, A. Número de repetições para avaliação de caracteres em genótipos de feijão-caupi. *Bragantia*, 74(2), 2015, p. 161-168.
- [17] KEFELEGN, N., MEKBIB, F. and DESALEGN, Y. Association of Stability Models in Measuring Stability of Common Bean Varieties. *American Journal of Experimental Agriculture*, 10(5), 2016, p. 1-9.