

Desarrollo de líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerante a sequía a partir de cruces inter acervo con genotipos procedentes de diferentes orígenes (Mesoamericano y Andino)

Developing of drought tolerant common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from inter genepool crosses with genotypes from different origins (Andean and Mesoamerican)

Víctor Manuel Mayor-Duran^{1*}, Bodo Raatz¹ y Matthew W. Blair²

¹Centro Internacional de Agricultura Tropical, (CIAT), Cali, Colombia. ²Tennessee State University, 3500 John A. Merritt Boulevard Nashville, Estados Unidos de América. *Autor para correspondencia: v.m.mayor@cgiar.org

Rec.: 29.01.2015 Acep.: 30.10.2015

Resumen

La principal causa de la baja productividad en campo es la sequía, y como la mayoría de métodos para contrarrestarle son costosos e inasequibles para los agricultores de bajos recursos, se ha encontrado que el mejoramiento genético es la opción más económica para incrementar o estabilizar la producción de frijol común en condiciones de sequía. Por lo tanto el objetivo principal de esta investigación fue obtener líneas de frijol provenientes de cruces inter acervo, con el fin de seleccionar líneas tolerantes a estrés hídrico. En la generación F_{5,6}, se seleccionaron las 54 mejores líneas elites en términos de rendimiento y características agronómicas favorables, de un total de 492 líneas cosechadas. Posteriormente se codificaron como líneas DAB (*Drought Andean Bean*). Se evaluaron estas 54 líneas elites en ensayos de rendimiento en dos condiciones de sequía, pudiéndose elucidar que las líneas DAB 18, DAB 49, DAB 52 y DAB 3, presentaron mayor rendimiento con un rango de 2506.2 a 2682.3 Kg. ha⁻¹ en las dos condiciones de sequía evaluadas; lo cual aporta genotipos con características de importancia para ser multiplicados y distribuidos a agricultores, además de obtener líneas parentales para generar nuevos programas de mejoramiento con tolerancia a sequía.

Palabras clave: Características de importancia, compuestos masales, estrés hídrico, líneas tolerantes a sequía, selecciones individuales.

Abstract

Drought is the main cause of low productivity in field conditions, and like most of methods to counter; they are costly and unaffordable for low-income farmers, the plant breeding has found the most economical option to increase or stabilize the common bean production under drought conditions. Therefore, the main objective of this research was to obtain bean lines derived from inter- gene pool crosses, in order to select lines tolerant to water stress. In the F_{5,6} generation, the top 54 elite lines in terms of performance and favorable agronomic traits, from 492 harvested lines. In addition, they were coded as DAB lines (*Drought Andean Bean*). These 54 elite lines were evaluated in yield trials in two conditions of drought, being able to elucidate the DAB 18, 49 DAB, DAB 52 and DAB 3 lines, showed a higher performance with a range of 2506.2 to 2682.3 kg. ha⁻¹ in the two drought conditions evaluated, which brings genotypes with traits of importance to be multiplied and distributed to farmers, in addition to obtaining parental lines to generate new plant breeding programs to improve drought tolerant lines.

Keywords: Drought tolerant lines, individual selections, massal compounds, traits of importance, water stress.

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), es la leguminosa alimenticia más importante para el consumo humano directo, ya que representa el 50% del grano de leguminosas consumido en el mundo (Broughton *et al.* 2003). Se produce en diversos ambientes, lo que hace del frijol común, una especie cosmopolita (Gepts, 2001). Sin embargo, se ha estimado que el 60% de los cultivos de frijol son sembrados bajo el riesgo de una sequía intermitente o terminal (Miklas & Singh, 2007).

Por lo anterior, la principal causa de la baja productividad en campo es la sequía, por lo cual se han implementado diferentes técnicas para contrarrestar los efectos de la misma como: riego suplementario y algunas prácticas agronómicas. Sin embargo, han sido de poca utilidad ya que el alto costo de la infraestructura necesaria, la ausencia de agua para riegos y rubros asociados, impiden que los agricultores de bajos recursos accedan a estas prácticas. Por tal motivo el mejoramiento genético se ha convertido en la mejor opción en términos económicos, ecológicos y de sostenibilidad para incrementar y/o estabilizar la producción de frijol en condiciones de sequía (Rosales-Serna *et al.* 2000). Aunque no es reconocido como una especie tolerante a sequía, el frijol posee estrategias que le confieren dicha tolerancia (Beebe *et al.* 2013)

El progreso de mejoramiento para tolerancia a sequía en frijol ha sido lento, aunque se han obtenido avances en cuanto a los criterios a utilizar, para seleccionar líneas tolerantes a estrés hídrico (Beebe *et al.* 2013; White *et al.* 2009). Actualmente, el rendimiento de grano se ha definido como el criterio más claro para seleccionar correctamente genotipos tolerantes a sequía (Acosta-Gallegos & Adams, 1991; Beebe *et al.* 2013; Mir *et al.* 2012; Terán & Singh, 2002).

El objetivo del presente estudio es obtener líneas provenientes de cruzas inter acervo, con el fin de identificar líneas tolerantes a sequía y dilucidar el comportamiento de las mismas en dos ambientes, correspondientes a sequía intermitente y sequía a floración.

Materiales y métodos

La evaluación y caracterización de las líneas en campo, se llevó a cabo en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el cual está ubicado en Palmira, Colombia (03°31'N, 76°18'O: 1001 m.s.n.m.). Las líneas utilizadas se generaron de cruzas simples entre líneas tolerantes a sequía de origen mesoamericano (SER8, SER16, SER22, SEC16, SEQ11) desarrolladas en el CIAT y líneas susceptibles a sequía de importancia agronómi-

ca en Zimbabwe (África) de origen andino (Red Canadian Wonder, CAL143, SUG131, PAN147, Natal Sugar) (Beebe, Makunde, Blair, Chirwa, & Lungu, 2007). Las cinco líneas tolerantes fueron cruzadas con las cinco líneas susceptibles, para un total de 25 cruzas, utilizando un diseño Norte Carolina II.

Las poblaciones fueron avanzadas durante los años 2005, 2006 y 2007; donde se desarrollaron tanto compuestos masales (F_1 , F_3 , F_4) como selecciones individuales (F_2 , F_5), con el fin de alcanzar líneas en generación F_6 y obtener líneas uniformes con alto grado de homocigosidad. Cabe aclarar que las selecciones individuales que se realizaron en F_2 y F_5 , no estuvieron direccionadas hacia la tolerancia a sequía, sino a rasgos morfoagronómicos de alta heredabilidad como: color de grano, hábito, tamaño de grano, etc. Se utilizó el método de mejoramiento combinado genealógico.

En la estación seca del 2008 (junio-agosto) se evaluaron 459 líneas $F_{5,6}$ en condiciones de sequía sin repeticiones, y se tomó datos de producción por parcela y adaptación. A partir de este resultado se seleccionaron 54 líneas y se codificaron como Líneas DAB (*Drought Andean Bean*), con las cuales se realizaron ensayos de rendimiento en condiciones de sequía en el CIAT, Palmira, entre enero – abril de 2009.

Para la evaluación de las líneas DAB se consideró el rendimiento de grano como la variable más importante en la selección de genotipos tolerantes a estrés hídrico (Acosta-Gallegos & Adams, 1991; Beebe *et al.* 2013; Terán & Singh, 2002) nine drought resistant lines selected from interracial or intergene pool populations, and two drought resistant and two susceptible checks. The 36 genotypes were evaluated in drought-stressed (DS). Se utilizó un diseño en lattice 8x8 con tres repeticiones, en dos ambientes: Sequía intermitente (SI) y sequía a floración (SF). Como testigos fueron incluidos los padres involucrados en las cruzas y dos variedades comerciales: Tio canela y Diacol Calima. El tamaño de la parcela experimental fue de 3.09 m x 0.6 m.

Las condiciones climáticas en la localidad de CIAT, Palmira durante la estación seca (julio – octubre de 2008), donde se sembró la población $F_{5,6}$ fueron: temperatura máxima entre 24.5 y 35°C con un promedio de 30°C, temperatura mínima entre 16.6 y 21°C con un promedio de 19°C, precipitación total de 163.5 mm distribuidos irregularmente, la evaporación total fue de 416.8 mm y se determinó como sequía intermitente. Se realizaron tres aplicaciones de riego, uno de ellos para germinación y los dos restantes, para el establecimiento del cultivo de frijol. En la estación donde se evaluaron las líneas DAB ($F_{5,7}$) correspondiente a la estación seca (enero – abril

de 2009), se presentó una temperatura máxima entre 23.8 y 33°C con un promedio de 30.5°C, temperatura mínima entre 17.4 y 21.3°C con un promedio de 19.4°C, la precipitación total fue de 270.2 mm distribuidos irregularmente, La evaporación total fue de 408.6 mm se determinó como sequía intermitente. Los suelos en los lotes del CIAT, Palmira, fueron clasificados como Aquic Haplustoll (Molisol), con un pH de 7.0.

Para las líneas F_{5,7}, se realizaron análisis de varianza por ambiente para observar las interacciones entre genotipos dentro de cada uno de los mismos y un análisis combinado para observar la interacción fenotipo por ambiente y la variación entre los ambientes, la diferencia mínima significativa fue usada para el análisis de los datos y selección de las líneas tolerantes a sequía en términos de rendimiento. Se usó el paquete estadístico SAS (v9.1.3[®]) y finalmente, se estimaron los coeficientes de correlación simple entre las variables evaluadas y rendimiento con el fin de dilucidar posibles estrategias de tolerancia a sequía.

Resultados y Discusión

El hecho de utilizar un método de mejoramiento genealógico brinda la oportunidad de tener una visión general de la posible habilidad combinatoria general y específica de cada genotipo (Vallejo & Salazar, 2002), aún después de pasadas varias generaciones como en este caso; y así poder identificar buenos padres para futuros procesos de mejoramiento.

De las líneas sembradas F_{5,6}, se cosecharon el 97%, que corresponde a 479 de un total de 492 líneas. Durante la inspección en campo se observó que las cruzas que involucraban como madre a SER16 y SER22 fueron las que mejor estaban adaptadas, seguidas de las que involucraban SER8 y SEQ11, finalmente las menos adaptadas fueron las que involucraron SEC16. Los padres andinos que mejor se comportaron fueron SUG131 y NATAL SUGAR, seguidos por PAN127 y RED CANADIAN WONDER, finalmente las cruzas que involucraban a CAL143, resultaron ser las menos adaptadas a las condiciones de sequía (Tabla 1).

Fueron seleccionadas por rendimiento, 26 líneas provenientes de cruzas con SER22, 13 líneas de cruzas con SER16, 8 líneas de cruzas con SEQ11, 7 líneas de cruzas con SER8 y finalmente no fueron incluidas líneas provenientes de cruzas con SEC16, ya que presentaron rendimientos bajos con respecto a los padres y a las demás líneas (Tabla 1).

Con base a los datos de rendimiento, se encontró que la familia de mayor rendimiento fue

SER22 x CAL143 con 2822 Kg/ha⁻¹ en promedio, y la familia con menor rendimiento fue SEC16 x NATAL SUGAR con un rendimiento de 1168 Kg. ha⁻¹ en promedio. La familia SER22 x SUG131 aunque presentó un menor rendimiento, las características del grano fueron conformes a lo buscado en términos de tamaño (36g/100 semillas), color y forma, por lo que se seleccionaron 16 líneas de esta cruz (Tabla 1).

En total fueron seleccionadas 54 líneas que corresponden aproximadamente al 12% de las líneas cosechadas, las cuales se codificaron como líneas DAB (*Drought Andean Bean*) formando parte de un grupo elite de líneas tolerantes a sequía. Las 54 líneas seleccionadas fueron evaluadas en un ensayo de rendimiento en dos ambientes correspondientes a sequía intermitente (SI) y sequía a floración (SF).

El rango de rendimiento en el tratamiento de SI, fue de 758 a 2682 Kg. ha⁻¹ con un promedio general de 1694.9 Kg. ha⁻¹, los valores más bajos de rendimiento fueron de los testigos PAN127, SUG131 y NATAL SUGAR con 831.4, 848.4 y 758 Kg. ha⁻¹ respectivamente, indicando que los testigos que se seleccionaron para este ensayo fueron ideales en el proceso de selección ya que se pudo tener el contraste entre testigos susceptibles y tolerantes a estrés hídrico. Las líneas que tuvieron mayores rendimientos fueron DAB3 y DAB52 con 2448 y 2278 Kg. ha⁻¹ respectivamente, seguidos por los testigos SEQ11 y TIOCANELA con 2374 y 2521 Kg. ha⁻¹ (Tabla 3).

El rango de peso de cien semillas en el tratamiento de SI fue de 16.5 a 51 gramos, con un promedio de 31 gramos (Tabla 3). Los valores más bajos de peso de cien semillas fueron de los testigos RED CANADIAN WONDER, TIOCANELA y SER16 con 16.1, 20.8 y 23.2 gramos respectivamente, en este caso es esperado que las líneas TIOCANELA y SER16 presenten tamaño de grano pequeño ya que es una característica propia de los mismos; en el caso de RED CANADIAN WONDER que es una línea de acervo andino, el hecho de que presente grano pequeño es posiblemente a causa de su susceptibilidad a el estrés hídrico, ya que el estrés por sequía puede causar reducción en el rendimiento, biomasa, número de semillas y peso de 100 semillas hasta en un 60%. (Rosales-Serna *et al.* 2000). Las líneas que tuvieron mayor peso de cien semillas, fueron: DAB48, DAB53 y DAB54 con 49.6, 48.7 y 51.5 gramos, indicando que se realizó una buena selección de líneas en términos de peso de cien semillas, ya que los tamaños de semillas fueron superiores a los testigos. Es importante el hecho de que se pudieron introgresar genes de tolerancia a sequía de las líneas mesoamericanas a las líneas DAB, manteniendo el tamaño de grano grande, altos rendimientos y características morfoagronómicas de interés comercial.

Tabla 1. Número y datos fenotípicos de líneas cosechadas vs líneas que fueron seleccionadas para siguiente generación.

CRUCES	Líneas cosechadas (Jul-Oct 08)	Rendimiento promedio (Kg/Ha)	CV (%)	Peso de cien semillas promedio (g)	CV (%)	Número de líneasselecciones (DAB)
SER8 x CAL143	5	1402	22	35	8	0
SER8 x SUG131	26	1890	34	32	14	4
SER8 x NATAL SUGAR	9	2062	28	32	11	0
SER8 x PAN127	33	1980	27	29	14	1
SER 8 x R.C.WONDER	7	2420	31	36	18	2
Total	80	1951	-	33		7
SER16 x CAL143	26	2095	43	31	6	0
SER16 x SUG131	24	1978	45	32	17	2
SER16 x NATAL SUGAR	21	2402	37	27	32	4
SER16 x PAN127	18	2714	51	31	17	4
SER16 x R.C.WONDER	12	2533	28	32	8	3
Total	101	2344	-	31		13
SER22 x CAL143	23	2822	29	33	17	1
SER22 x SUG131	51	2794	32	36	15	16
SER22 x NATAL SUGAR	59	1950	35	31	16	6
SER22 x PAN127	36	2119	22	30	12	3
Total	169	2421	-	32		26
SEC16 x CAL143	2	1777	9	24	6	0
SEC16 x SUG131	11	1863	20	29	14	0
SEC16 x NATAL SUGAR	17	1168	32	30	12	0
SEC16 x PAN127	8	1744	55	28	11	0
SEC16 x R.C.WONDER	14	1389	31	29	16	0
Total	52	1588	-	28		0
SEQ11 x CAL143	22	1692	52	30	15	1
SEQ11 x SUG131	7	1853	43	35	27	1
SEQ11 x NATAL SUGAR	19	1905	35	27	8	3
SEQ11 x PAN127	15	1852	47	27	22	1
SEQ11 x R.C.WONDER	14	2114	29	42	29	2
Total	77	1883	-	32		8
Total líneas DAB (MxA)	479					54

CV=Coefficiente de variación.

Tabla 2. Análisis de varianza combinado para líneas DAB.

Cuadrados Medios			
Fuente de variación	G.L	Rendimiento	P100
Ambiente	1	724190,04	55,51
Bloque(A)	4	274701,25	19,67
Genotipo	63	941852,36***	219,18***
Genotipo x Ambiente	63	113797,17*	6,90***
Error	252	81600,72	3,32
C.V %		17,55	5,88

P100: Peso 100 semillas * Significancia P<0.05; ** Significancia P<0.01; ***Significancia P<0.001

En el tratamiento de **SF**, el rango de peso de cien semillas fue de 19 a 54 gramos, con un promedio general de 30 gramos. Los valores más bajos de peso de cien semillas fueron DAB20 y TIOCANELA con 21.2 y 19.6 gramos respectivamente. Por otro lado, el tamaño de grano pequeño

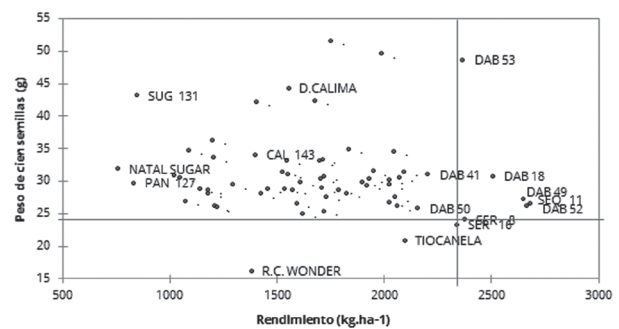


Figura 1. Representación bidimensional: rendimiento vs peso de cien semillas (P100) para el ambiente SI.

Nota: Genotipos con leyenda en rojo corresponden a testigos.

puo haber sido una característica heredada de su madre SER 16 (Mesoamericano), por lo tanto, es posible que esta línea no sea tenida en cuenta en futuros cruzamientos.

Tabla 3. Resultado de la evaluación en los dos ambientes de los genotipos de frijol provenientes de cruces inter acervo codificadas como líneas DAB.

Línea	Pedigrí	Color Semilla	Hab	YDHA		100SW		DF		DPM	
				SI	SR	SI	SR	SI	SR	SI	SR
DAB1	SER8 x SUG131	6	II	2045	1809	35	32	36	35	65	63
DAB2	SER8 x SUG131	6	II	1834	1795	35	34	34	33	65	60
DAB3	SER8 x SUG131	6	II	2026	2448	29	29	34	34	64	65
DAB4	SER8 x SUG131	56	II	1208	1405	26	23	36	35	66	65
DAB5	SER8 x PAN127	6	II	1591	1244	27	30	34	33	65	64
DAB6	SER8 x R.C.WONDER	6	IIB	2051	1630	28	25	34	33	64	63
DAB7	SER8 x R.C.WONDER	6	IIB	2024	1730	30	27	33	32	65	63
DAB8	SER16 x SUG131	6	II	1205	1475	34	33	35	35	65	64
DAB9	SER16 x SUG131	6	II	1526	1305	31	30	34	33	64	62
DAB10	SER16 x NATAL SUGAR	62	I	1677	1497	42	37	33	32	65	65
DAB11	SER16 x NATAL SUGAR	6	IIB	1825	1590	28	29	35	35	67	64
DAB12	SER16 x NATAL SUGAR	6	II	2073	1794	31	30	34	32	64	63
DAB13	SER16 x NATAL SUGAR	6	II	2094	1962	32	31	34	33	65	64
DAB14	SER16 x PAN127	6	II	1704	1482	30	31	33	33	63	61
DAB15	SER16 x PAN127	56	II	1789	1422	29	30	34	32	63	61
DAB16	SER16 x PAN127	56	IIB	1552	1461	31	25	36	35	66	66
DAB17	SER16 x PAN127	6	II	1425	1434	28	27	35	37	65	67
DAB18	SER16 x R.C. WONDER	6	I	2506	1998	31	31	32	31	63	62
DAB19	SER22 x SUG131	6	IIB	1930	1705	30	31	34	34	66	65
DAB20	SER16 x R.C.WONDER	6	IIB	1296	1680	29	21	34	33	65	65
DAB21	SER16 x R.C.WONDER	6	II	1899	1792	30	28	31	31	66	65
DAB22	SER22 x SUG131	6	IIB	1610	1566	30	28	35	36	67	69
DAB23	SER22 x CAL143	62	I	1733	1546	28	28	32	32	64	65
DAB24	SER22 x SUG131	56	I	1019	1052	31	31	35	35	65	62
DAB25	SER22 x SUG131	56	I	1047	1120	31	30	36	37	66	64
DAB26	SER22 x SUG131	26	II	1139	1515	29	28	36	36	66	65
DAB27	SER22 x SUG131	26	II	1713	1462	33	33	34	33	66	65
DAB28	SER22 x SUG131	6	IIB	1949	1786	32	28	35	35	67	67
DAB29	SER22 x SUG131	6	II	1545	1336	33	33	32	34	66	65
DAB30	SER22 x SUG131	56	II	2023	1551	27	28	32	32	60	60
DAB31	SER22 x SUG131	56	II	1722	1723	25	30	31	31	60	60
DAB32	SER22 x SUG131	56	I	1918	1511	29	29	31	31	60	60
DAB33	SER22 x SUG131	56	I	1458	1415	29	29	33	32	63	61
DAB34	SER22 x SUG131	26	II	1181	1308	29	31	34	34	65	64
DAB35	SER22 x SUG131	26	II	1075	1293	27	26	34	35	64	64
DAB36	SER22 x SUG131	26	II	1697	1608	33	30	32	32	64	61
DAB37	SER22 x SUG131	26	I	1406	1306	42	40	32	32	64	64
DAB38	SER22 x NATAL SUGAR	26	II	1088	1231	35	27	36	35	70	68
DAB39	SER22 x NATAL SUGAR	6	II	1711	1669	29	29	32	32	64	62
DAB40	SER22 x NATAL SUGAR	6	II	1538	1475	29	27	32	32	63	62
DAB41	SER22 x NATAL SUGAR	6	II	2204	2078	31	32	33	33	64	63
DAB42	SER22 x NATAL SUGAR	56	II	1218	1597	26	25	35	35	65	66
DAB43	SER22 x NATAL SUGAR	26	II	1177	1248	28	27	35	34	65	65
DAB44	SER22 x PAN127	6	II	1575	1945	29	30	33	34	68	67
DAB45	SER22 x PAN127	26	II	1620	1990	25	25	34	35	66	65
DAB46	SER22 x PAN127	26	II	1720	1461	31	29	34	34	65	63
DAB47	SEQ11 x CAL143	72	I	1199	1582	36	35	34	33	67	69
DAB48	SEQ11 x SUG131	62	II	1987	1655	50	54	33	34	68	69
DAB49	SEQ11 x NATAL SUGAR	72	IIB	2665	2154	26	27	35	34	66	64
DAB50	SEQ11 x NATAL SUGAR	72	IIB	2156	2246	26	24	37	36	66	66
DAB51	SEQ11 x NATAL SUGAR	72	II	2062	2012	26	27	36	36	67	66
DAB52	SEQ11 x PAN127	72	II	2682	2278	27	27	36	36	66	65
DAB53	SEQ11 x R.C.WONDER	6	I	2366	1657	49	49	31	30	64	65
DAB54	SEQ11 x R.C.WONDER	6	I	1752	1043	52	49	33	33	65	67
Promedio líneas DAB				1708	1613	31	30	34	34	65	64
CAL143	Control (Susceptible)	6	I	1397	1201	34	32	33	33	67	67
D.CALIMA	Control (Susceptible)	62	I	1555	1317	44	45	31	30	63	63
NATAL SUGAR	Control (Susceptible)	26	I	758	919	32	28	35	35	69	70
PAN127	Control (Susceptible)	26	II	831	719	30	26	36	37	70	71
R.C.WONDER	Control (Susceptible)	6	II	1382	1252	16	25	29	30	64	64
SUG131	Control (Susceptible)	26	II	848	1207	43	41	35	35	68	68
TIOCANELA	Control (Susceptible)	6	II	2101	2522	21	20	37	37	68	65
Promedio control (susceptible)				1268	1305	31	31	34	34	67	67
SEQ11	Control (Tolerante)	72	II	2650	2374	27	28	34	34	65	65
SER8	Control (Tolerante)	6	II	2375	2255	24	24	33	33	62	64
SER16	Control (Tolerante)	6	II	2342	2072	23	23	33	33	63	63
Promedio Control (tolerante)				2456	2234	25	25	33	33	63	64
PROMEDIO TOTAL				1695	1608	31	30	34	34	65	64

Color de semilla: 6.Rojo; 2.Crema; 5.Rosado 7.Morado, SI = Sequía intermitente, SR: Sequía en época reproductiva, 100SW: Peso de 100 semillas, DF: Días a Floración, DPM: Días a madurez fisiológica, YDHA: Rendimiento Kg.ha⁻¹, Hab: Habito.

Tabla 4. Correlaciones entre variables medidas en población de líneas DAB, de los dos ambientes en conjunto.

	DF	DM	Rendimiento (kg/ha ⁻¹)	P 100 (g)	DPR
DM	0,50 ***				
Rendimiento	-0,10 *	-0,20 ***			
p100	-0,28 ***	0,12 **	-0,13 ***		
DPR	-0,27 ***	0,70 ***	-0,15 **	0,36 ***	
IR	-0,73 ***	0,22 ***	-0,04	0,40 ***	0,85 ***

P100: Peso de cien semillas, DF: Días a floración, DM: Días a Madurez, DPR: Días del periodo reproductivo, IR: índice reproductivo

En el tratamiento de **SI**, el rango que se presentó en días a floración fue de 29 a 37 días, con un promedio general de 34 días (Tabla 2). Adicionalmente, se presentó una disminución en el promedio general de 3 días aproximadamente al comparar **SF** y **SI** (Tabla 3).

En cuanto a los días a madurez fisiológica, el rango que se presentó en el tratamiento de **SI** fue de 60 a 70 con un promedio de 63 días a madurez fisiológica. Los genotipos más precoces fueron DAB30, DAB31, DAB32 con 60 días a madurez fisiológica y con rendimientos mayores a 1700 Kg.ha⁻¹. Los genotipos más tardíos fueron PAN127 y DAB38 con 70 días a madurez fisiológica. En el tratamiento de **SF** el rango fue de 60 a 71 días con un promedio de 64 días. Se presentó un incremento de 1 día aproximadamente en el promedio general al comparar **SF** y **SI** (Tabla 2).

Se pudo observar que tanto para el rendimiento como para peso de cien semillas, el promedio general del tratamiento de SF es menor que el promedio general del tratamiento SI, pero no presentan diferencias estadísticamente significativas (Tabla 2). Cabe mencionar que aunque el tratamiento de **SF** en comparación al tratamiento **SI**, se expuso menos tiempo en días a estrés hídrico; la época que presenta mayor sensibilidad a condiciones de sequía en frijol común, es la época reproductiva, por tal razón posiblemente los tratamientos a pesar de sus diferencias en niveles de estrés, produjeron el mismo efecto sobre las líneas evaluadas.

Por otro lado, se presentaron diferencias significativas entre genotipos, tanto para rendimiento, como para peso de cien semillas. El análisis de varianza combinado muestra una interacción significativa genotipo x ambiente de tipo cualitativo ya que los mejores genotipos en **SI** no fueron los mejores en **SF** en términos de rendimiento y peso de cien semillas, indicando que los tratamientos afectaron los genotipos de manera diferencial (Tabla 2).

Se encontró una correlación negativa significativa entre rendimiento y días a floración junto con días a madurez fisiológica (Tabla 4). Este

Tabla 5. Líneas DAB seleccionadas a partir de resultados de la Prueba de Medias Duncan para rendimiento (kg. ha⁻¹)

Línea	DF	DM	Rendimiento	p100	CP	CS
DAB52	36	66	2682,32	26,50	7	2
DAB49	35	66	2665,04	26,19	7	2
DAB18	32	63	2506,24	30,77	6	
DAB53	31	64	2366,15	48,66	6	
DAB41	33	64	2203,82	30,96	6	
DAB50	37	66	2156,45	25,76	7	2

P100= Peso de cien semillas, DF= Días a floración, DM= Días a Madurez, DMS= 470,8, 6.Rojo; 2.Crema; 5.Rosado; 7.Morado

resultado fue reportado en estudios anteriores por Rosales Serna *et al.* (2000), donde el ajuste en el número de días al inicio de la floración y madurez, favorece el incremento en el rendimiento del cultivo.

En los ensayos de rendimientos, se encontró una correlación negativa altamente significativa entre rendimiento y peso de 100 semillas (Tabla 4), lo cual es una característica de genotipos mesoamericanos tolerantes a sequía. Estos resultados también fueron reportados por Terán y Singh (2002), encontrando una correlación negativa entre el rendimiento y peso de cien semillas tanto en estrés hídrico como en riego.

Conclusiones

Las líneas DAB48, DAB53, DAB54 con 54.1, 48.8 y 49.3 gramos y rendimientos mayores a 1700 Kg.ha⁻¹, son promisorias para ser utilizadas como fuente de genes de tolerancia a sequía bajo diversas condiciones.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado en parte por el proyecto GCP para mejorar la productividad de las leguminosas tropicales en ambientes marginales en África subsahariana (concesión número: OPPGD 1392). Queremos también agradecer a todo el equipo de Campo del Programa de Mejoramiento de Frijol común del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia.

Referencias

- Acosta. J. A. Acosta. E. Padilla. S. Goytia. M. A. Rosales. R. & López. E. (1999). Mejoramiento de la resistencia a la sequía del frijol común en México. *Agron Mesoam*, 10, 10(1), 83-90.
- Acosta-Gallegos. J. A. & Adams. M. W. (1991). Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under drought stress. *J Agr Sci*, 117(02), 213-219. doi: 10.1017/S0021859600065308.

- Beebe. S. E. Makunde. G. S. Blair. M. W. Chirwa. R. & Lungu. D. (2007). Inheritance of drought tolerance traits in andean x andean and andean x Mesoamerican F2 populations. *Annu Rep Bean Improv Coop*, 50, 159-160.
- Beebe. S. E. Rao. I. M. Blair. M. W. & Acosta-Gallegos. J. A. (2013). Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Font Physiol*, 4, 1-20. doi:10.3389/fphys.2013.00035.
- Broughton. W. J. Hernández. G. Blair. M. Beebe. S. Gepts. P. & Vanderleyden. J. (2003). Beans (*Phaseolus* spp.) – model food legumes. *Plant Soil*, 252(1), 55-128. doi:10.1023/A:1024146710611
- Gepts. P. (2001). Origins of plant agriculture and major crop plants. In: Our Fragile World, forerunner volumes to the Encyclopedia of Life-Supporting Systems, MK Tolba (ed.), EOLSS Publishers, Oxford, UK. Vol. 1, pp. 629-637
- Jones. A. L. (2001). Bean Improvement for Sustainable Productivity , Input Use Efficiency , and Poverty Alleviation: PROJECT IP-1, 188.
- Miklas. P. N. & Singh. S. P. (2007). Common bean. Pages 1 -31 in C. Kole, ed. Genome mapping and molecular breeding in plants. Vol. 3. Pulses, sugar and tuber crops. Springer, Berlin, Germany.
- Mir. R. R. Zaman-Allah. M. Sreenivasulu. N. Trethowan. R. & Varshney. R. K. (2012). Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. *Theor Appl Genet*. 125(4), 625-645. doi:10.1007/s00122-012-1904-9.
- Muñoz-Perea. C. G. Terán. H. Allen. R. G. Wright. J. L. Westermann. D. T. & Singh. S. P. (2006). Selection for Drought Resistance in Dry Bean Landraces and Cultivars. *Crop Science*, 46(5), 2111-2120. doi:10.2135/cropsci2006.01.0029
- Ramirez-Vallejo. P. & Kelly. J. D. (1998). Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*, 99(2), 127-136. doi:10.1023/A:1018353200015
- Rao. I. M. (2001). Role of physiology in improving crop adaptation to abiotic stresses in the tropics: the case of common bean and tropical forages. En: *Handbook of Plant and Crop Physiology* (pp. 583-613). New York, NY, Marcel Dekker, US: M. Pessaraki (Ed.). doi:10.1201/9780203908426.ch29.
- Rosales-Serna. R. Ramirez-Vallejo. P. Acosta-Gallegos. J. A. Castillo-González. F. & Kelly. J. D. (2000). Grain yield and drought tolerance of common bean under field conditions. *Agrociencia*, 34(2), 153-165.
- Schneider. K. A. Brothers. M. E. & Kelly. J. D. (1997). Marker-assisted selection to improve drought resistance in common bean. *Crop Science*, 37(1), 51. doi:10.2135/cropsci1997.0011183X003700010008x.
- Terán. H. & Singh. S. P. (2002). Comparison of Sources and Lines Selected for Drought Resistance in Common Bean. *Crop science*, 42(1), 64-70.
- Vallejo. F. A. & Salazar. E. I. E. (2002). *Mejoramiento Genético de Plantas* (Universidad). Palmira: Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
- Voyses. O. (2000). *Mejoramiento genético del frijol (Phaseolus vulgaris L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999*. CIAT.
- White. J. W. Ochoa. R. M. Ibarra. F. P. & Singh. S. P. (2009). Inheritance of seed yield, maturity and seed weight of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under semi-arid rainfed conditions. *J Agr Sci*, 122(02), 265. doi:10.1017/S0021859600087451.
- White. J. W. Singh. S. P. Schoonhoven. A. Van. & Voyses. O. (1991). Breeding for adaptation to drought, 501-560.