

RETROCRUZAS ENTRE CULTIVARES DE FRIJOLES PANAMEÑOS Y FUENTES DE ALTO CONTENIDO DE HIERRO¹

Emigdio Rodríguez-Quiel²; Román Gordón-Mendoza³; Francisco González-Guevara⁴

RESUMEN

Se recibieron 31 poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) con el objetivo de generar líneas y/o variedades de frijol poroto con grano de color rosado similar en características a las que utilizan los agricultores, con mayor rendimiento, mejor tolerancia a la mustia hilachosa y una precocidad similar a la variedad criolla. Durante dos años se evaluaron las líneas generadas utilizando un Alfa-Látice para su establecimiento en campo y posterior evaluación. Fueron seleccionadas 500 líneas en el primer año, y posteriormente las mejores 140 líneas, por sus características agronómicas. En el segundo año de evaluación la Diferencia Mínima Significativa para rendimiento fue de 0,5075 y las líneas con rendimiento superior a 1,1515 t ha⁻¹ superaron la variedad rosado o criollo del productor y con 1,7682 t ha⁻¹ superando a la variedad IDIAP R2. Resultaron 22 líneas con un rendimiento mayor a 1,2 t ha⁻¹ superando al rosado criollo estadísticamente. Se calculó la repetitividad o heredabilidad que indica la precisión del experimento y cuanto es la ganancia genética obtenida para cada variable evaluada, siendo mayor para el rendimiento, días a floración, días a madurez fisiológica con valores de 0,4; 0,94 y 0,95; respectivamente. Estos valores son considerados como medios a altos para la precisión del experimento. Se analizó el contenido de hierro en las líneas y ninguna línea superó los 75 ppm para que pueda ser considerada como línea biofortificada.

PALABRAS CLAVES: Altos minerales, color del grano, precocidad, mustia hilachosa, rendimiento.

¹Recepción: 7 de noviembre de 2016. Aceptación: 10 de marzo de 2017.

²M.Sc. en Fitomejoramiento. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOc).
e-mail: emigdiordrodriguezq@gmail.com

³M.Sc. en Protección de Cultivos. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Azuero (CIAA).
e-mail: gordon.roman@gmail.com

⁴Agr. IDIAP. CIAOc. e-mail: pancho125710@yahoo.com

RETRO-BREEDING BETWEEN PANAMANIAN BEANS CULTIVARS AND HIGH-CONTENT IRON SOURCES

ABSTRACT

Bean lines (*Phaseolus vulgaris*) were generated from 31 populations, in similar farmer's creole bean characteristics, with pink grain color, greater yields, better tolerance to web blight (*Thanatephorus cucumeris*, (Frank), Donk) and similar precocity. Using an alpha-lattice design for two years the generated bean lines were evaluated. Due to their agronomic characteristics, 500 lines were selected in the first year, and later the best 140 lines. In the second year of the evaluation, the Minimum Significant Difference for yield was 0,5075 and lines with yields higher than 1,1515 t ha⁻¹ exceeded the producer's creole pink variety and surpassing the variety IDIAP R2 with 1,7682 t ha⁻¹. A total of 22 lines resulted with a yield of more than 1,2 t ha⁻¹, statistically outperforming the creole pink. It was calculated the repeatability or heritability that indicates the precision of the experiment and how much is the genetic gain obtained for each evaluated variable, resulting greater for the yield, days to flowering, days to physiological maturity with values of 0,4; 0,94 and 0,95; respectively. These values are considered as medium and high for the precision of the experiment. The content of iron in the lines was analyzed and no line exceeded 75 ppm so that it can be considered as a biofortified line.

KEY WORDS: High minerals, grain color, precocity, web blight, yields.

INTRODUCCIÓN

Hasta hace algunos años los programas de mejoramiento genético tenían como objetivo principal el rendimiento agronómico. La apertura comercial, la competencia de productores nacionales con agricultores extranjeros altamente tecnificados y las necesidades propias de la industria, han propiciado un reenfoque en los programas que incluye los aspectos de calidad industrial y nutricional (Vázquez *et al.* 2003).

El principal impedimento para lograr avances en el mejoramiento del frijol común cultivado es la reducida variabilidad genética por la utilización de progenitores genéticamente cercanos y por el efecto de autofecundación (Silbernagel y Hanna 1988, Singh 2001). En la actualidad se prefieren utilizar los mejores en un programa de mejoramiento de líneas élite dentro de la misma clase comercial y evitar utilizar germoplasma exótico. Lo anterior, lo hacen para poder

recuperar con relativa facilidad el tipo de grano comercial y las características de la planta que facilitan la mecanización y el cultivo intensivo.

Las deficiencias de micronutrientes constituyen problemas de grandes magnitudes a nivel mundial; la Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que la deficiencia de hierro es una de las principales causas de las anemias. Las acciones que se adelantan para luchar contra la deficiencia nutricional están encaminadas hacia el suministro de suplementos de vitaminas y minerales, a la fortificación industrial de alimentos, la promoción de diversificación de la dieta y, en los últimos años, a la biofortificación de productos agrícolas (Gómez-González *et al.* 2009).

En Panamá encontramos una situación que debe ser preocupación de los investigadores, empresas privadas e instituciones de gobierno, el 20% de la población muestra desnutrición en la población total de niños en edad escolar (Beebe 1997). A nivel nacional las áreas con mayor nivel de desnutrición son las comarcas Ngäbe Buglé con 71,8%, Guna Yala con 66,3%, Emberá con 60,1%, y las provincias de Bocas del Toro con 36,3% y Chiriquí con 15,4% (FAO 2001).

En Panamá, en evaluaciones de germoplasma de frijol de grano tipo calima se encontró líneas que tenían alto contenido de hierro (Fe) y zinc (Zn), con buen rendimiento en diferentes zonas edafoclimáticas. Se encontraron dos variedades que expresaron alto rendimiento (NUA 45 y NUA 11) y dos líneas que mostraron alto contenido de hierro y zinc (NUA 24 y NUA 27). Estas líneas con grano tipo calima, fueron validadas y liberadas posteriormente (Rodríguez-Quiel *et al.* 2013).

En cuanto al frijol de grano color rosado se evaluó un conjunto de genotipos de frijol común y se generó cuatro líneas de frijol poroto de color rosado con un contenido de Fe entre 74 ppm y 88 ppm. Dos líneas de grano rosado biofortificadas fueron validadas y la línea P-09-11 fue la seleccionada por los agricultores, con un contenido de 88 ppm de Fe. También, seleccionaron la línea P-13-38 por su color, tamaño del grano junto al rendimiento expresado. Estas líneas serán validadas con los agricultores en el año agrícola 2016-17 (Rodríguez-Quiel *et al.* 2016).

En Colombia, en promedio, los frijoles mejorados nutricionalmente evaluados en el Cesar presentaron 172% más de hierro, 94% más de zinc y 150% más de rendimiento con respecto al testigo regional, el frijol negro tipo caraota:

El genotipo mejorado SMN18 presentó, con respecto al testigo, gran aceptación entre los productores y consumidores evaluadores, mostrando buenas características organolépticas, como espesor del caldo para el potaje, sabor y textura del grano (Tofiño *et al.* 2011).

El objetivo de la evaluación fue generar líneas y/o variedades de frijol poroto con grano de color rosado, similar en características a las que utilizan los agricultores, con mayor rendimiento, mejor tolerancia a la mustia hilachosa, mayor contenido de hierro en el grano y una precocidad similar a la variedad criolla.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el año 2012 se recibieron del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) 31 retrocruzas entre padres panameños y las F_1 de cruzas directas entre padres panameños y nuevas fuentes de alto contenido mineral (Cuadro 1).

A partir de ese año, se avanzaron las generaciones hasta la F_5 a través de la selección masal y se seleccionaron 500 líneas F_{5-6} para su evaluación en el año 2014-15. Para su evaluación en campo se utilizó un diseño de Bloques al Azar en un

arreglo Alfa Látice 20x25. Se incluyó un testigo susceptible (criollo del productor) y uno tolerante a la mustia (IDIAP R2) cada 20 líneas. Se midieron las variables rendimiento, porcentaje de severidad de la mustia hilachosa, relación con el testigo tolerante (RTT) que consistió en dividir el valor obtenido por la línea entre el valor obtenido por el testigo tolerante más cercano. Adicional, se calculó la relación con el testigo susceptible (RTS) dividiendo el valor obtenido por la línea entre el valor obtenido por el testigo susceptible más cercano. Los valores para la severidad de la mustia hilachosa, RTT y RTS fueron transformados utilizando la raíz cuadrada del valor más 0,5 por ser variables de no paramétrico. Para el análisis se utilizó la metodología REML.

De las líneas F_{5-6} fueron seleccionadas 140 líneas F_{6-7} y evaluadas en campo en el año 2015-16. Para su evaluación en campo se utilizó el diseño de Bloques al Azar en un arreglo Alfa Látice 20x7. Se colocaron testigos susceptible (criollo del productor) y testigos tolerantes (IDIAP R2) cada 20 líneas. Se midieron las variables rendimiento, porcentaje de severidad de la mustia hilachosa, relación con el testigo tolerante (RTT) y relación con el testigo susceptible (RTS).

CUADRO 1. RETROCRUZAS REALIZADAS PARA DESARROLLO DEL EXPERIMENTO, PANAMÁ-2016.

N° de crusa	IDENTIFICACIÓN	PEDIGREE
1	NA 25906-12 WF2-(CM)2	PVA1076 x (PVA 1076xMIB748)
2	NA 25907-18 WF2-(CM)2	PVA1076 x (MIB749xPVA1076)
3	NA 25908-5 WF2-(CM)2	PVA1076 x (MIB751xPVA1076)
4	NA 25916-14 WF2-(CM)2	PVA1111 x (PVA1111xMIB764)
5	NA 25920-3 WF2-(CM)2	ROSADO x (ROSADOxMIB748)
6	NA 25923-2 WF2-(CM)2	ROSADO x (ROSADOxMIB753)
7	NA 25924-4 WF2-(CM)2	ROSADO x (ROSADOxMIB754)
8	NA 25928-1 WF2-(CM)2	ROSADO x (ROSADOxMIB755)
9	NA 25929-1 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (Velazco LargoxG14519)
10	NA 25930-1 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (Velazco LargoxG14519)
11	NA 25932-2-WF2-(CM)2	Velazco Largo x (MIB748x Velazco Largo)
12	NA 25932-3 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (MIB753x Velazco Largo)
13	NA 25933-3 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (MIB754x Velazco Largo)
14	NA 25675-10 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (MIB755x Velazco Largo)
15	NA 25679-8 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (MIB759x Velazco Largo)
16	NA 256680 10 WF2-(CM)2	PVA 1076 x (PVA1076 x G28823E)
17	NA 25681-3 WF2-(CM)2	PVA 1111 x (PVA1111 x NUA 430)
18	NA 25681-5 WF2-(CM)2	(PVA 1111 x G23823E) x PVA 1111
19	NA 25682-1 WF2-(CM)2	PVA 1111 x (PVA 1111 x NUA35)
20	NA 25682-5 WF2-(CM)2	PVA 1111 x (PVA 1111 x NUA35)
21	NA 25682-6 WF2-(CM)2	ROSADO x (ROSADO x NUA56)
22	NA 25688-2 WF2-(CM)2	ROSADO x (ROSADO x NUA56)
23	NA 25688-3 WF2-(CM)2	ROSADO x (ROSADO x NUA56)
24	NA 25675-10 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (Velazco Largo x NUA 428)
25	NA 25688-8 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (Velazco Largo x NUA 428)
26	NA 25689-2 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (Velazco Largo x NUA 428)
27	NA 25689-4 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (Velazco Largo x NUA 430)
28	NA 25675-10 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (Velazco Largo x NUA 430)
29	NA 25690-5 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (Velazco Largo x NUA 420)
39	NA 25691-8 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (Velazco Largo x NUA 35)
31	NA 25691-19 WF2-(CM)2	Velazco Largo x (Velazco Largo x NUA 35)

El modelo matemático para el Alfa Látice es:

$$Y_{ijk} = \mu + Rep_i + Block_j(Rep_i) + Gen_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

μ = Promedio general

Rep_i = Efecto de Repeticiones

$Block_j(Rep_i)$ = Efecto de los bloques dentro de las repeticiones

Gen_k = Efecto de genotipos

ε_{ijk} = Error experimental

Se calculó la repetitividad del carácter evaluado y coeficiente de variación. Para la separación de medias se calculó la Diferencia Mínima Significativa (DMS $P \leq 0,05$).

Para la preparación del suelo se utilizó el método de cero labranza, con siembra manual colocando dos semillas por golpe a una distancia entre plantas de 0,20 m y 0,50 m entre hileras, con una población inicial de 200 000 plantas ha^{-1} (Rodríguez 2012).

Se realizó un control de malezas previo a la siembra con la aplicación de glifosato a razón de 3,0 L ha^{-1} ; posteriormente se realizó un control de malezas entre calles con la aplicación de forma dirigida del herbicida glufosinato de amonio en dosis de 1,0 L ha^{-1} . Los insectos se controlaron con Neem en dosis de 1,0 L ha^{-1} . La cosecha se realizó de forma manual cuando las plantas alcanzaron la madurez.

Previo a la evaluación del ataque de mustia hilachosa a las plantas (Cuadro 2), no se aplicó ningún fungicida para el control del hongo causante de la enfermedad. Posterior a la clasificación del ataque por parcela, se efectuó la aplicación de azoxystrobim en dosis de 100 g ha^{-1} de producto comercial, para el control de la enfermedad.

CUADRO 2. ESCALA DE EVALUACIÓN DE LA MUSTIA HILACHOSA.

Grado de afectación	Severidad (%)	Tipo de reacción
1	0	Resistencia
2	1 a 5	Resistencia
3	6 a 10	Resistencia
4	11 a 20	Resistencia intermedia
5	21 a 30	Resistencia intermedia
6	31 a 40	Resistencia intermedia
7	41 a 60	Susceptible
8	61 a 80	Susceptible
9	81 a 100	Susceptible

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de líneas F₅₋₆ en el ciclo 2014-15

Se calculó la repetitividad que indica cual es la precisión del experimento (Gordón y Camargo 2015) y cuanto es la ganancia genética obtenida (Vargas *et al.* 2013) para cada valor encontrado, siendo mayor para el rendimiento y la transformación de la relación con el testigo tolerante (RTT) con valores 0,37 y 0,30, respectivamente, los cuales son valores que indican que las líneas están emparentadas entre sí debido a que se utilizaron para las retrocruzas de las variedades IDIAP R2 y Rosado criollo (Cuadro 3). Rodríguez (2013) encontró una heredabilidad de 0,30 para el rendimiento de grano, similar a la encontrada en este estudio. Rodríguez-Quiel (2016) en la evaluación de las líneas de frijol poroto

biofortificado de grano rosado en Panamá encontró valores de heredabilidad del 0,25 para el rendimiento, similar al encontrado en esta ocasión.

Cuando se realizó la transformación de los valores de la mustia, transformación del valor de la línea comparada con el testigo tolerante y transformación del valor de la línea comparada al testigo susceptible, se observó que aumentó la heredabilidad y disminuyó notablemente el coeficiente de variación por ser valores no paramétricos. Para los valores de heredabilidad se pasó de 0,19; 0,24 y 0,18 a valores de 0,24; 0,30 y 0,29, respectivamente; mientras que para el coeficiente de variación disminuyó de 42,9; 66 y 70,9 a 20,5; 25,2 y 25,1 aumentando la precisión del experimento considerando el gran número de entradas

CUADRO 3. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL ALFA LÁTICE DE LAS RETROCRUZAS, PANAMÁ 2014-2015.

FV	gl	REND	MUSTIA	RTT	RTS	TMUST	TRTT	TRTS
δ ² repeticiones	1	0,120	0,001	0,001	0,05	0,04	0,001	0,001
δ ² repxblk	24	0,105	76,5	0,10	0,54	0,71	0,03	0,05
δ ² tratamientos	499	0,119	11,9	0,04	0,15	0,15	0,01	0,02
δ ² del error	475	0,404	103,0	0,24	1,39	0,92	0,04	0,09
Repetitividad		0,37	0,19	0,24	0,18	0,24	0,30	0,29
DMS/Rango		0,39	0,38	0,26	0,26	0,37	0,30	0,29
CV		25,3	42,9	66,0	70,9	20,5	25,2	25,1
Promedio ajustado		2,516	23,6	0,74	1,66	4,68	0,81	1,22
DMS		1,25	19,94	0,96	2,31	1,88	0,40	0,60

FV= Fuente de variación; gl = Grados de libertad; REND= Rendimiento; RTT= Relación con el testigo tolerante; RTS= Relación con el testigo susceptible; TMUST= Transformación de los valores porcentuales de la mustia hilachosa; TRTT= Transformación de los valores de la relación de las líneas con el testigo tolerante; TRTS= Transformación de los valores de la relación de las líneas con el testigo susceptible.

en evaluación. Se seleccionó 140 líneas de frijol poroto para su posterior evaluación, lo que representó un 28% de presión de selección.

El grupo de líneas sobresalientes por sus características agronómicas se observa en el Cuadro 4. Se incluyó la fecha de madurez de cosecha y dentro de las líneas seleccionadas existen algunas con tiempo a cosecha similar al testigo criollo, lo que representaría ventajas de estas líneas con mayor rendimiento y con fechas de cosecha similares, superando al criollo en más de 1,5 t ha⁻¹ de grano.

En cuanto al rendimiento, existen líneas con rendimiento superior al criollo del productor entre 1,25 t y 2,5 t más de grano por hectárea con diferencias estadísticas medidas a través del DMS que fue de 1,25 t de grano; sin embargo, otros caracteres deberán complementarse como es el color y tamaño del grano para satisfacer las demandas de los usuarios y consumidores de la tecnología que genera el Instituto (Cuadro 4).

Once poblaciones mostraron mejores características para el rendimiento, para la severidad de la mustia hilachosa, la transformación del porcentaje y las transformaciones de las relaciones con los testigos tolerantes y susceptibles. Tres líneas derivadas del cruzamiento

PVA1076 x (MIB749xPVA1076) resultaron con un rendimiento superior en la prueba y una de ellas mostró mejor reacción a la mustia hilachosa. En este año, las líneas expresaron mayor rendimiento debido a que la mustia hilachosa se presentó con un promedio de 23,6% de infestación, como un comportamiento normal.

Evaluación de líneas F₆₋₇ en el ciclo 2015-16

Se calculó la repetitividad o heredabilidad que indica la precisión del experimento y cuanto es la ganancia genética obtenida para cada variable evaluada, siendo mayor para el rendimiento, días a floración, días a madurez fisiológica con valores de 0,4; 0,94 y 0,95, respectivamente, estos resultados son similares al reportado por Rodríguez-Quiel *et al.* 2013, 2016, respectivamente. En cambio, en el caso del gorgojo del frijol reportado por Posso *et al.* (1992) se derivaron líneas con alto nivel de resistencia y excelente condición agronómica, comercial y calidad proteínica. Las líneas derivadas presentaron un nivel de resistencia similar o superior al testigo resistente; se detectó resistencia de nivel intermedio mientras que las líneas derivadas de cruza con padres arcelina 3 y 4 resultaron susceptibles. Por otra parte, Herrera y Acosta (2008) reportó que retrocruzas realizadas en frijol negro obtuvieron plantas con

similitud fenológica y morfológica al progenitor recurrente, siendo el resultado esperado. Delgado *et al.* 2013 demostró en Colombia que la metodología de retrocruzas avanzadas se mostró como eficiente para introgresar genes para alto rendimiento, desde accesiones silvestres

hacia cultivares mejorados. Las líneas de mejor comportamiento deberán seguir siendo avanzadas con dicha metodología, para la búsqueda de progenitores donantes de genes para alto rendimiento y para la obtención de nuevas variedades mejoradas de frijol arbustivo.

CUADRO 4. LÍNEAS SOBRESALIENTES POR SUS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS, PANAMÁ 2015-16.

IDENTIFICACIÓN	RENDIMIENTO	MUSTIA	MUSTIA	MUSTIA	MADUREZ
P-RC -2-31	4,316	7,00	1,26	2,76	82
P-RC -2-23	4,029	10,50	1,79	5,24	76
P-RC-2-45	3,977	17,3	0,68	1,18	86
P-RC-28-28	3,932	14,5	0,90	2,08	76
P-RC-16-5	3,852	17,4	0,70	1,76	78
P-RC-16-4	3,814	22,8	0,74	1,61	78
P-RC-30-7	3,802	22,8	0,35	1,03	76
P-RC-24-4	3,789	15,7	0,74	1,65	76
P-RC-2-41	3,770	11,5	1,72	3,38	84
P-RC-16-19	3,748	20,4	1,14	2,73	78
P-RC-16-17	3,735	20,7	0,66	1,25	80
P-RC-25-38	3,662	17,3	0,89	1,04	76
P-RC-25-32	3,655	20,3	1,90	4,02	76
P-RC-30-1	3,638	31,7	0,49	1,53	78
P-RC-16-16	3,637	19,5	0,30	1,17	80
P-RC-16-8	3,630	17,3	0,73	1,20	80
P-RC-1-42	3,626	22,3	0,81	2,12	76
P-RC-16-12	3,619	9,0	0,72	2,06	80
P-RC-24-30	3,611	22,1	0,70	1,94	78
P-RC-24-24	3,568	18,9	0,93	1,78	76
P-RC-2-17	3,552	15,4	2,58	3,60	82
P-RC-14-53	3,524	21,3	0,62	1,63	76
P-RC-11-18	3,511	22,6	0,44	1,22	76
P-RC-16-6	3,500	29,2	0,71	1,84	82
IDIAP - R2	3,107	16,1	1,60	2,93	86
ROSADO FAO	2,156	30,3	0,24	0,28	74
ROSADO CAISAN	2,459	29,0	0,08	0,16	74

El DMS para rendimiento fue 0,5075 y las líneas con rendimiento superior a 1,1515 t ha⁻¹ superaron la variedad rosado o criollo del productor y con 1,7682 t ha⁻¹ superaron a IDIAP R2. Se mostraron estadísticamente superiores al rosado criollo 22 líneas con un rendimiento mayor a 1,2 t ha⁻¹ (Cuadro 5).

Es importante indicar que este año debido a las intensas lluvias durante los primeros 20 días de cultivo, causó que la presión de mustia fuera severa, por lo que se disminuyó los intervalos de aplicación del fungicida para el control de la enfermedad. Las líneas expresaron un promedio de 40,2% de infestación de la mustia hilachosa. Diez poblaciones

mostraron las mejores características para el rendimiento, porcentaje de la mustia hilachosa, la transformación del porcentaje de la mustia hilachosa y de las relaciones con los testigos tolerantes y susceptibles (Cuadro 6).

El cruzamiento PVA1076 x (MIB749xPVA1076) mostró mayor rendimiento y la mejor reacción a la mustia hilachosa, la que se mantuvo por debajo del promedio mostrado en el experimento.

De las líneas provenientes de las retrocruzas se seleccionaron las de mayor rendimiento, tamaño y color de grano más cercanos al criollo del productor y la variedad IDIAP R2 y los resultados indican que la retrocruza Velazco Largo x

CUADRO 5. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL ALFA LÁTICE DE LAS RETROCRUZAS, PANAMÁ 2015-2016.

FV	gl	REND	MUSTIA	DF	RTS	TMUST	TRTT	TRTS	TRTS
δ ² repeticiones	2	0,066	123,62	0,248	0,724	0,001	0,003	0,028	0,001
δ ² repxblk	12	0,001	5,33	0,000	10,67	2,424	0,0001	0,385	0,156
δ ² tratamientos	139	0,044	14,61	6,783	0,169	0,077	0,001	0,014	0,007
δ ² del error		0,199	255,65	1,232	6,346	1,388	0,007	0,207	0,098
Repetitividad		0,40	0,15	0,94	0,07	0,14	0,23	0,17	0,18
DMS/Rango		0,29	0,35	0,04	0,25	0,27	0,35	0,28	0,31
CV		47,3	39,7	3,6	114,2	83,2	8,9	31,4	24,3
Promedio ajustado		0,943	40,2	31,04	2,20	1,41	0,94	1,45	1,28
DMS		0,507	18,2	1,54	2,86	1,33	0,09	0,52	0,36

FV = Fuente de variación; gl = Grados de libertad; DF = Días a floración; DM = Días a madurez de cosecha; RTT = Relación con el testigo tolerante; RTS = Relación con el testigo susceptible; TMUST = Transformación de los valores porcentuales de la mustia hilachosa; TRTT = Transformación de los valores de la relación de las líneas con el testigo tolerante; TRTS = Transformación de los valores de la relación de las líneas con el testigo susceptible.

CUADRO 6. LÍNEAS SOBRESALIENTES POR SUS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS, PANAMÁ 2015-16.

LÍNEA	RENDIMIENTO	MUSTIA	DF	DM	RTT	RST	TMUS	TRTT	TRTS
P-RC-2-17	2,077	28,5	32	82	3,4	1,9	0,88	1,66	1,39
P-RC-16-16	1,896	32,2	33	81	2,2	1,4	0,89	1,39	1,23
NUA 11	1,818	14,7	33	82	2,4	0,8	0,81	1,48	1,01
P-RC-16-6	1,760	32,7	32	81	2,0	1,3	0,90	1,38	1,23
P-RC-16-5	1,706	28,1	33	81	-0,1	-0,1	0,87	0,85	0,83
P-RC-24-30	1,705	19,3	33	82	0,8	0,3	0,82	1,07	0,88
P-RC-2-41	1,689	22,2	34	80	0,0	0,0	0,84	0,88	0,83
P-RC-30-1	1,633	30,2	33	76	-3,5	-1,5	0,87	0,46	0,59
P-RC-16-10	1,598	31,8	33	77	1,9	1,1	0,90	1,30	1,15
P-RC-25-32	1,593	22,0	31	77	1,5	0,8	0,83	1,11	1,01
NUA 45	1,553	14,7	32	82	1,5	0,8	0,81	1,15	1,01
P-RC-16-17	1,548	23,3	31	73	1,5	1,2	0,84	1,22	1,17
P-RC-11-42	1,543	28,0	35	78	1,6	1,2	0,87	1,18	1,16
P-RC-2-33	1,443	41,5	31	79	2,3	1,4	0,96	1,49	1,26
P-RC-16-7	1,436	37,7	34	80	2,0	1,4	0,93	1,45	1,32
P-RC-2-45	1,381	28,2	32	74	1,8	1,1	0,87	1,21	1,12
P-RC-16-19	1,378	26,4	33	80	-0,4	-0,3	0,86	0,78	0,76
P-RC-28-3	1,343	34,9	31	78	2,3	1,2	0,92	1,41	1,20
P-RC-24-4	1,338	15,3	31	74	1,6	0,9	0,80	1,19	1,05
P-RC-14-53	1,285	43,0	31	76	-0,1	2,1	0,95	1,26	1,51
IDIAP - R2	1,261	13,3	33	82	-2,8	1,3	0,79	0,44	1,21
P-RC-24-24	1,260	36,0	30	73	0,2	0,6	0,93	0,98	1,03
P-RC-25-38	1,212	24,9	32	80	1,7	1,1	0,85	1,20	1,11
P-RC-16-2	1,204	43,2	31	79	1,9	1,1	0,97	1,41	1,22
P-RC-16-12	1,204	32,8	30	73	2,6	1,4	0,89	1,43	1,24
P-RC-2-21	1,184	47,1	31	79	2,6	1,7	0,99	1,62	1,42
P-RC-10-9	1,169	31,1	30	78	1,9	1,4	0,90	1,43	1,30
P-RC -2-31	1,150	26,2	32	79	1,8	1,0	0,86	1,21	1,09
P-RC-28-5	1,142	30,9	32	79	1,5	0,9	0,90	1,24	1,09
P-RC-14-19	1,141	40,5	32	80	1,8	1,1	0,95	1,35	1,18
P-RC-28-15	1,135	31,8	32	77	0,9	1,3	0,90	1,29	1,28
NUA 24	1,134	24,7	34	86	1,7	2,6	0,87	1,28	1,61
R Criollo	0,644	44,7	32	77	7,57	2,6	0,97	1,93	1,61

(MIB755x Velazco Largo) es la que mayor contenido de este elemento tiene con 65,5 ppm del elemento. Sin embargo, el mismo no alcanza los niveles mínimos propuestos

por Harvest Plus los que indican que las líneas o variedades deben tener 75 ppm de hierro en adelante para ser considerada como líneas biofortificadas (Cuadro 7).

CUADRO 7. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE HIERRO (Fe) EN LÍNEAS SELECCIONADAS DE LAS RETROCRUZAS.

LÍNEA	Fe (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Promedio	SD	CV (%)
PRC-14-7	65,5	65,5	65,5	0,00	0,0
PRC-24-26	61,7	62,3	62,0	0,42	0,7
PRC-5-12	61,8	61,4	61,6	0,28	0,5
PRC-30-23	60,5	59,6	60,1	0,64	1,1
PRC-34-31	60,9	59,0	59,9	1,34	2,2
PRC-28-5	59,7	59,6	59,7	0,07	0,1
PRC-24-25	58,7	58,5	58,6	0,14	0,2
PRC-24-16	58,3	58,6	58,4	0,21	0,4
PRC-25-14	56,4	54,0	55,2	1,70	3,1
PRC-16-17	54,6	53,8	54,2	0,57	1,0
PRC-16-12	52,6	54,3	53,5	1,20	2,2
PRC-23-5	51,8	52,4	52,1	0,42	0,8
PRC-23-24	50,4	52,6	51,5	1,56	3,0
PRC-24-24	51,3	50,3	50,8	0,71	1,4
PRC-11-18	50,4	50,9	50,7	0,35	0,7
Idiap-R2	50,4	50,5	50,4	0,07	0,1
PRC-23-4	50,8	48,9	49,8	1,34	2,7
PRC-28-31	49,4	49,3	49,4	0,07	0,1
PRC-16-8	49,7	48,9	49,3	0,57	1,1
PRC-23-20	48,1	47,3	47,7	0,57	1,2
PRC-11-42	47,1	47,9	47,5	0,57	1,2
PRC-14-24	47,5	47,4	47,4	0,07	0,1
PRC-24-12	47,4	46,2	46,8	0,85	1,8
PRC-23-21	46,4	46,9	46,6	0,35	0,8
PRC-27-4	45,7	45,0	45,4	0,49	1,1
PRC-23-10	44,6	45,7	45,2	0,78	1,7
PRC-31-7	45,0	44,0	44,5	0,71	1,6
PRC-23-6	44,1	42,5	43,3	1,13	2,6

CONCLUSIONES

- Se cuenta con un grupo de líneas avanzadas con diversas características agronómicas y que deberán ser evaluadas por los agricultores para formar parte la prueba regional de frijol poroto.
- Existen líneas con un rendimiento de grano, precocidad y tolerancia a la mustia hilachosa superior al criollo del productor.
- La prueba regional en diversas localidades del país decidirá las mejores líneas para los diferentes ambientes de Panamá.

Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a10.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2001. Perfiles Nutricionales por países. Colombia. 39.

Gómez-González, LK; Restrepo, J; Pachón, H. 2009. Caracterización del consumo de maíz y frijol en familias del departamento del Cauca, Colombia (en línea). Consultado jul. 2016. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-41082009000200004&script=sci_arttext&lng=en

BIBLIOGRAFÍA

Beebe, S. 1997. Mejoramiento de la calidad culinaria y nutricional del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); posibilidades y perspectivas. In Taller de mejoramiento de frijol para el siglo XXI. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. p. 249-256.

Delgado, H; Pinzón, EH; Blair, M; Izquierdo, PC. 2013. Evaluation of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines result of an advanced backcross between a wild accession and radical cerinza (en línea). Consultado jul. 2016.

Gordón, R; Camargo, I. 2015. Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. Agron Mesoam 26(1):55-63.

Posso G, E; Cardona, C; Valor, J; Morales, H. 1992. Desarrollo de líneas de frijol resistentes al gorgojo *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Bruchidae). Revista Colombiana de Entomología 18(1):8-13.

Herrera, T; Acosta, J. 2008. Seed yield of three types of crosses between

- wild by domesticated genotypes in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agricultura Técnica en México 34(2):167-176.
- Rodríguez, E. 2012. Producción de semilla de frijol poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) con tecnología amigable con el ambiente. Manual técnico. IDIAP, PA. 34 p.
- Rodríguez-Quiel, E; Gordon-Mendoza, R; González-Guevara, F; Quirós-Rodríguez, E; Hernández-Rojas, R; Palacio-Rodríguez, E; Melgar-Moreno, A. 2013. Líneas de frijol poroto con alto contenido de hierro y zinc. Ciencia Agropecuaria no. 21:25-37.
- Rodríguez-Quiel, E; Gordón-Mendoza, R; González-Guevara, F. 2016. Líneas de frijol poroto biofortificado de grano rosado en Panamá. Ciencia Agropecuaria no. 24:35-51.
- Silbernagel, MJ; Hannan, RM. 1988. Utilization of genetic resources in the development of commercial bean cultivars in the USA. In P. Gepts (ed), Genetic Resources of *Phaseolus* beans (Kluwer, Dordrecht, Netherlands) p. 561-596.
- Singh, SP. 2001. Broadening the Genetic Base of Common Bean Cultivars. Crop Science 41:1659-1675.
- Tofiño, A; Tofiño, R; Cabal, D; Melo, A; Camarillo, W; Pachón, H. 2011. Evaluación agronómica y sensorial de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) mejorado nutricionalmente en el norte del departamento del Cesar, Colombia. Perspect Nutr Humana 13:161-177.
- Vargas, M; Combas, E; Alvarado, G; Atlin G; Mathews, Ky; Crossa, J. 2013. Meta: A Suite of SAS Programs to Analyze Multi environment Breeding Trials. Agronomy Journal 105:11-19.
- Vázquez, M; Guzmán, L; García, J; Márquez, F; Merino, J. 2003. Grain and tortillas quality of native maize landraces and their backcrosses. Revista Fitotecnia 26(4):231-238.