

LÍNEAS DE FRIJOL POROTO BIOFORTIFICADO DE GRANO ROSADO EN PANAMÁ¹

*Emigdio Rodríguez-Quiel²; Román Gordon-Mendoza³;
Francisco González-Guevara⁴*

RESUMEN

Se generaron 16 poblaciones de frijol poroto entre progenitores criollos y mejorados de Panamá con líneas de alto rendimiento y contenido de micronutrientes, con el objetivo de evaluar y seleccionar las mejores líneas. En la generación F₆ (2011) se utilizó el índice de selección para las variables rendimiento de grano y calificación del ataque de la mustia hilachosa. En la generación F₇ (2012) se utilizó un diseño experimental alfa Ládice 7x7 con tres repeticiones y se caracterizaron las líneas por su contenido de hierro. Para el cálculo de las varianzas se realizó un análisis REML. Se realizó una selección participativa con agricultores que eligieron por forma, color y tamaño del grano. La línea P-0229 mostró en la primera y segunda evaluación mayor tolerancia en cuanto a mustia hilachosa. La diferencia mínima significativa para separar las medias de rendimiento fue 0.591 t.ha⁻¹. Se analizó el contenido de hierro en las 49 líneas evaluadas, donde la línea P-09-11 presentó el mayor contenido de hierro con 88 ppm. El cruzamiento Velazco Largo x NUA 35 produjo las líneas con mayor rendimiento y la cruza IDIAP R2 x NUA 35 produjo mayor tolerancia a la mustia.

PALABRAS CLAVES: Progenitores, micronutrientes, índice de selección, alfa látice.

¹ Recepción: 26 de febrero de 2016. Aprobación: 28 de abril de 2016. Investigación financiada por el proyecto Mejoramiento Genético del Frijol Poroto. Financiado por el IDIAP.

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

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

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

LINES OF PINK KIDNEY BEANS BIOFORTIFIED IN PANAMA

ABSTRACT

Sixteen populations of kidney beans were generated between creole parents and improved lines in Panamá, with high yield lines and micronutrient contents. The objective of this study was to evaluate and select the best pink beans lines. For F_6 generation (2011) was used the selection index for the variable grain yields and infection level of web blight. For F_7 (2012) generation an alpha lattice 7x7 experimental design with three repetitions was used, and the characterization of the lines was made for its content of Fe. To calculate the variances, it was used a REML analysis. It was done a participative selection with farmers, who chose lines by shape, color and size of grains. In a first and a second evaluation, line P-0229 showed to be more tolerant to web blight. The least significant difference to separate the means of yield was 0,591 t.ha⁻¹. Iron content was analyzed for the 49 evaluated lines. Line P-09-11 showed the major Fe content with 88 ppm. The crossing of Velazco Largo by NUA 35 produced the highest yield lines and the crossing IDIAP R2 by NUA 35 showed the major tolerance to web blight.

KEYWORDS: Parents, micronutrients, selection index, alpha lattice.

INTRODUCCIÓN

Las deficiencias de micronutrientes constituyen problemas de grandes magnitudes a nivel mundial; la Organización Mundial de la Salud afirma que la deficiencia de hierro es una de las principales causas de anemia. 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 para la diversificación de la dieta y, en los últimos años, a la biofortificación de productos agrícolas (Gómez-González *et al.* 2009).

En Panamá se cultiva entre 2600 ha y 4200 ha del frijol poroto con una producción que fluctúa entre 3091 t/año y 4272 t/año. El consumo nacional es por el orden de 5454 t de frijol. Las importaciones de frijol poroto generan fugas de divisas entre uno y dos millones de balboas por año para el país (MIDA 2014). La producción de frijol poroto agrupa 2861 productores, de los cuales el 35% pertenecen a la provincia de Chiriquí, los que en su mayoría son de áreas donde se utilizan alta tecnología, 34% a la prov. de Herrera, 21% a la prov. de Veraguas y el 13% a la comarca Ngäbe Buglé (CNB), siendo ésta considerada como un área de pobreza y extrema pobreza.

En la cadena agroalimentaria del frijol poroto, se consensuó las demandas tecnológicas de los agricultores. De este consejo se generó un plan de acción que fue revisado por el Proyecto Regional de Sistemas de Cadenas de PRESICA - IICA en el 2014, obteniendo las demandas y los problemas investigables para el rubro. Se destaca la validación de nuevas variedades en los campos de los agricultores, de grano rosado, tipo chileno y tipo calima con rendimiento superior a 2000 kg.ha⁻¹, tamaño del grano entre 1,50 cm y 1,65 cm, peso de 100 semillas de 50 g a 62 g y mayor contenido nutricional en las nuevas variedades.

En Panamá encontramos una situación que debe ser preocupación de los investigadores, empresas privadas e instituciones de gobierno, el 20% de la población total de niños muestran desnutrición (Beebe 1997). En el área urbana se diagnosticó un 13,6%, en la rural total un 29%, en la rural no indígena 18,5%, en la rural indígena 56%, en las áreas catalogadas como no pobres un 10,2%, en las pobres 29,8% y en las de pobreza extrema 39,6%. A nivel nacional las áreas con mayor nivel de desnutrición son: la comarca Ngäbe Buglé con 71,8%, la comarca Guna Yala con 66,3%, la comarca Emberá con 60,1%, Bocas del Toro con 36,3% y Chiriquí con 15,4% (FAO 2001).

En Colombia a través de la encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia (2005) muestran la prevalencia de anemia nutricional en el país. Las cifras en niños y en mujeres gestantes son preocupantes: niños entre las edades de uno a cuatro años 33,2%; de 5 a 12 años 37,6%; adolescentes gestantes de 13 a 17 años 52,4% y de 18 a 20 años 41,3% (Gómez-González *et al.* 2009).

Evaluaciones de germoplasma de frijol de grano tipo calima, se encontró líneas que tenían alto contenido de hierro y zinc, con buen rendimiento en diferentes zonas edafoclimáticas de Panamá (Rodríguez-Quiel *et al.* 2013).

Existen dos grandes ambientes para esta evaluación, uno formado por la comarca Ngäbe Buglé y Río Sereno, y el otro, por las localidades de Santa Fe, San Francisco en la provincia de Veraguas; Las Minas y Los Pozos en la provincia de Herrera (Rodríguez-Quiel *et al.* 2013). 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 Colombia el 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).

En el proyecto de biofortificación del frijol común desarrollado en Panamá por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) con su socio colaborativo el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se realizaron cruzas entre las variedades nacionales y nuevas fuentes con alto contenido nutricional, con el propósito de generar líneas con las características solicitadas por la cadena agroalimentaria del frijol poroto.

El objetivo fue seleccionar los mejores genotipos en relación al rendimiento de grano, alto contenido de hierro (Fe) y tolerancia a la mustia hilachosa, después de generar líneas de grano de color rosado provenientes de cruzas entre progenitores de alto contenido de nutrientes y las variedades nacionales; evaluadas por sus características agronómicas y seleccionadas por su contenido nutricional sobresaliente para las condiciones de mercado exigidas por los consumidores locales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la obtención de las líneas se realizaron 16 cruzamientos (Cuadro 1) entre las variedades criollas y nacionales con nuevas fuentes con alto contenido de minerales y mayor rendimiento provenientes del CIAT. Se utilizaron como progenitores masculinos las variedades IDIAP R2 y Rosado criollo y otros progenitores masculinos del proyecto de frijol del CIAT, la variedad Velazco se utilizó como progenitor femenino, siendo una variedad originaria de Cuba con un excelente color, tamaño y grano.

CUADRO 1. CRUZAMIENTOS DE FRIJOL POROTO PARA LA OBTENCIÓN DE LÍNEAS DE COLOR DE GRANO ROSADO, PANAMÁ - 2010.

N° de Población	Cruzamiento
1	IDIAP R2 x G23823E
2	IDIAP R2 x NUA 35
3	IDIAP R2 x NUA 45 (I)
4	PVA 1111 x NUA 45 (I)
5	PVA 1111 x NUA 430
6	PVA 1111 x NUA G23823E
7	PVA 1111 x NUA 35
8	ROSADO CRIOLLO x NUA 56
9	ROSADO CRIOLLO x NUA 45 (I)
10	ROSADO CRIOLLO x NUA 35
11	ROSADO CRIOLLO x NUA 428
12	ROSADO CRIOLLO x NUA 430
13	VELAZCO LARGO x NUA 428
14	VELAZCO LARGO x NUA 430
15	VELAZCO LARGO x NUA 420
16	VELAZCO LARGO x NUA 35

La siembra de las primeras F_2 se realizó en la localidad de Río Sereno y las poblaciones se avanzaron hasta la F_5 por selección masal. En la F_5 se seleccionaron 530 líneas, las semillas se procesaron y secaron al sol hasta alcanzar 12% de humedad.

En la F_6 se evaluaron las líneas generadas y se colocaron testigos tolerantes y susceptibles en el campo, resultando en 718 líneas y variedades. Se manejó una parcela útil de 1 m². Para su análisis se utilizó el índice de selección, cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$IS = \{ [(Y_j - M_j)^2 * I_j] + [(Y_k - M_k)^2 * I_k] + [(Y_n - M_n)^2 * I_n] \}^{1/2}$$

Donde:

IS = Índice de selección

$Y_{j...n}$ = Variables medidas en unidades Z

$M_{j...n}$ = Meta de selección

$I_{j...n}$ = Intensidad de selección

La meta de selección para el rendimiento fue de dos unidades de la desviación estándar sobre la media general de la población. Mientras que para la mustia hilachosa la meta de selección fue de dos veces menos la desviación

estándar del promedio general. En relación a la intensidad de selección la misma fue realizada dando mayor énfasis al rendimiento (9) que a la enfermedad (6). Con la definición de estos parámetros del modelo se seleccionaron 100 líneas con el mayor índice de selección. Se manejó una parcela útil de 5 m².

En el siguiente ciclo agrícola fue sembrada la generación F₇, se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar con un arreglo Alfa Láctice 7x7 cuyo modelo matemático es el siguiente (Vargas *et al.* 2013).

$$X_{ji} = \mu + \text{rep}_i + \text{Block}_j(\text{rep}_i) + T_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

μ = Promedio general

rep_{ij} = Efecto de la jth Repetición

$\text{Block}_j(\text{rep}_i)$ = Efecto de los jth bloque dentro de la ith repetición

T_k = Efecto del kth Tratamiento

ε_{ijk} = Error experimental

Se calculó la repetitividad y el coeficiente de variación para cada variable analizada. Las medias de los genotipos fueron separadas utilizando la diferencia mínima significativa DMS (Vargas *et al.* 2013).

En las validaciones de las líneas con alto contenido de hierro y mayor

rendimiento, se utilizó el diseño de Bloques Completos al Azar, cuyo modelo matemático es el sigue:

$$X_{ij} = \mu + r_i + T_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

μ = Promedio general

r_i = Efecto de la ith Repetición

T_j = Efecto del jth tratamiento

ε_{ij} = Error experimental

Para la interpretación de la interacción de los genotipos con los ambientes se utilizó el modelo Biplot GGE cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$Y_{te} = \mu_i + T_t + \beta_e + \sum^n \lambda_n + Y_{tn} + \delta_{en} + P_{ge}$$

Donde:

Y_{te} = Rendimiento promedio de un tratamiento t en un ambiente e

μ_i = Media General

λ_n = Es el valor singular para el PCA

N = Número de PCA retenidos en el modelo

Y_{tn} = Son los valores vectores de los tratamientos (PCA)

T_t = Efecto de las desviaciones de las medias del ambiente

δ_{en} = Son los valores de los vectores para cada ambiente (PCA)

P_{ge} = Residual

La participación de los agricultores se incluyó desde las etapas tempranas de la investigación seleccionando las mejores líneas por su forma, color y tamaño del grano. Esta metodología es conocida como fitomejoramiento participativo.

También, se tomó una muestra de las líneas evaluadas y se enviaron al laboratorio del CIAT ubicado en Cali Colombia para su análisis por rayos X y determinar el contenido de hierro (Fe) y zinc (Zn).

La preparación de suelo se realizó utilizando la mínima labranza, la cual consistió en la chapia de las malezas existentes en el lote, a los 15 días se aplicó glifosato en dosis de 0,525 kg i.a.ha⁻¹, antes de la siembra se realizaron surcos en el suelo con una azada. La siembra se realizó a una distancia de 0,50 m entre surcos y 0,10 m entre plantas, obteniendo 200 000 plantas.ha⁻¹. Antes de la germinación se aplicó glufosinato de amonio en dosis de 300 g i.a.ha⁻¹, lo que completó el control de las malezas que persistían en el campo.

Para la fertilización se utilizó 113.6 kg.ha⁻¹ de 18-46-0 a la siembra más 181 kg.ha⁻¹ de urea, entre 25 y 30 días después de la siembra (Rodríguez *et al.* 1995). El control de malezas se realizó a los 25 días después de la siembra, con

una aplicación de glufosinato de amonio a razón de 150 g i.a.ha⁻¹, se asperjó con una bomba de tracción manual. Para complementar, se aplicó fluazifob – butyl a razón de 31 g i.a.ha⁻¹ para el control de malezas de hoja angosta (Gamboa y Alemán 1995).

El cultivo se mantuvo sin aplicaciones de fungicidas hasta los 45 días de la siembra para poder realizar la evaluación de la mustia hilachosa en las plantas de frijol, luego de completada esta etapa de la investigación se realizó una aplicación de azoxystrobim en dosis de 10 g i.a.ha⁻¹ (Rodríguez 2012).

En el año 2015 – 16 se realizó la prueba de validación de las mejores líneas por su rendimiento, porcentaje de severidad de la mustia hilachosa y contenido de hierro. Las líneas validadas fueron P-02-29, P-03-25 y P-1404 por su alto rendimiento y las líneas P-09-11, P-13-38 y P-14-04 por su alto contenido de Fe con 88 ppm, 78 ppm y 76 ppm de hierro, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de Líneas F₆ (2013)

La estadística descriptiva de la población inicial de 567 líneas, así como de la proporción seleccionada de 100 líneas a través del método utilizado de índice de selección se presentan en el

Cuadro 2. La ganancia genética del grupo de líneas seleccionadas para la variable rendimiento de grano fue de más de 1 t que representa 1,32 valores de N (valor normalizado). En cuanto a la mustia hilachosa se logró seleccionar un grupo de líneas con 4,9% menos de plantas que presentan los síntomas de la enfermedad en comparación con el promedio de la población, ésta reducción representó una disminución normalizada de 0,92 veces la media general indicando un avance genético en la tolerancia a este patógeno (Cuadro 2).

Las líneas con índice de selección cercano a cero son las de mejor adaptación a la zona donde se realizó la evaluación, este valor está en función de la desviación estándar para las dos variables consideradas (Cuadro 3).

Una vez identificadas las 100 líneas por esta metodología, los

productores a través del fitomejoramiento participativo seleccionaron 32 líneas tomando en cuenta el color y tamaño de grano. El rendimiento promedio de estas 32 líneas estuvo entre 3,90 t.ha⁻¹ y 4,80 t.ha⁻¹ (Cuadro 4). Para el siguiente ciclo de evaluación (F₇), se tomaron las líneas seleccionadas por los productores más 10 líneas adicionales seleccionadas en el proyecto y los testigos locales.

El fitomejoramiento participativo se basa en el principio de compartir conocimientos, materiales, tareas, responsabilidades, derechos y beneficios, así como en la toma de decisiones sobre el trabajo a realizar. Es una estrategia alternativa al proceso de fitomejoramiento convencional en donde los diferentes actores de la cadena productiva que trabajan juntos en el desarrollo de variedades y el fortalecimiento de los sistemas locales de producción de semillas (FPMA 2014).

CUADRO 2. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS PARA LAS LÍNEAS DE FRIJOL POROTO DE GRANO ROSADO, PANAMÁ-2013.

	Rendimiento			Mustia		
	Población	Selección	Diferencia	Población	Selección	Diferencia
Promedio (t.ha ⁻¹)	2,700	3,726	1,026	28,9	24,0	- 4,9
Valor normalizado			1,32			- 0,92
CV (%)	28,8			18,3		
Mínimo (t.ha ⁻¹)	0,336			10		
Máximo (t.ha ⁻¹)	5,680			50		

CUADRO 3. MEJORES 20 LÍNEAS POR SU ÍNDICE DE SELECCIÓN EN FUNCIÓN AL PORCENTAJE DE SEVERIDAD DE LA MUSTIA HILACHOSA Y RENDIMIENTO DE GRANO, PANAMÁ - 2013.

Entrada	Índice de Selección	Severidad (%)	Rend. (t.ha ⁻¹)	Entrada	Índice de Selección	Severidad (%)	Rend. (t.ha ⁻¹)
572	0,809	20	4,220	556	2,253	20	3,709
84	0,824	20	4,308	180	2,485	20	3,645
65	0,875	20	4,162	178	3,126	25	4,205
86	1,367	20	3,967	675	3,128	25	4,196
85	1,470	20	3,935	514	3,138	25	4,167
421	1,538	20	3,914	412	3,143	25	4,353
99	1,545	20	3,912	564	3,163	25	4,389
73	1,832	15	3,991	420	3,188	25	4,424
181	1,907	20	3,806	428	3,189	25	4,084
183	1,935	20	3,798	425	3,197	25	4,074

CUADRO 4. MEJORES LÍNEAS SELECCIONADAS POR SU RENDIMIENTO A TRAVÉS DEL ÍNDICE DE SELECCIÓN, PANAMÁ - 2013.

Línea	Índice de selección	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Línea	Índice de selección	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
P-16-14	3,875	4,850	P-02-31	3,197	4,074
P-02-20	3,404	4,607	P-06-09	3,197	4,074
P-07-23	3,524	4,552	P-13-35	3,200	4,070
P-03-23	3,188	4,424	P-06-18	5,503	4,042
P-11-25	3,163	4,389	P-02-12	5,509	4,037
P-16-40	5,463	4,379	P-07-05	5,509	4,032
P-05-20	5,456	4,358	P-16-42	3,239	4,029
P-05-37	3,143	4,353	P-03-20	5,515	4,023
P-03-13	5,451	4,338	P-15-32	5,520	4,014
P-16-50	5,451	4,338	P-02-06	5,524	4,009
P-16-17	0,824	4,308	P-14-42	5,524	4,009
P-16-12	0,809	4,220	P-14-44	3,265	4,005
P-03-02	3,126	4,205	P-16-44	3,265	4,004
P-14-17	3,128	4,196	P-11-34	3,262	4,000
P-03-01	3,138	4,167	P-16-13	5,543	3,981
P-16-42	0,875	4,162	P-07-14	5,550	3,972
Rosado C		2,100			

Evaluación de líneas F₇ (2014)

El análisis de varianza del experimento indicó que hubo diferencias significativas para todas las variables para los tratamientos o líneas evaluadas (Cuadro 5). La repetitividad para rendimiento y evaluación de la mustia fue de 0,25 y 0,45; respectivamente. Ambos valores sugieren buena precisión experimental de acuerdo a lo discutido por Gordón-Mendoza y Camargo-Buitrago (2015). Igualmente, indica que las líneas están emparentadas entre sí y que la contribución genética para la mustia hilachosa es mayor que para el rendimiento.

Al realizar la prueba de separación de medias utilizando la diferencia mínima significativa al 5% (0,591 t.ha⁻¹) para el rendimiento de grano se encontró un grupo de líneas que superaron al testigo criollo (2,231 t.ha⁻¹). Para la respuesta a la mustia hilachosa (DMS de 17,2%) se identificó un grupo de líneas que superaron al testigo. Las 37 líneas superiores al testigo del productor se presentan con valores de mustia entre 17% y 36% y rendimiento superior a 2,8 t.ha⁻¹ (Cuadro 6).

Estos nos indican que el cruzamiento con mayor rendimiento fue Velazco Largo x NUA 35 y el menor porcentaje de severidad a la mustia hilachosa fue IDIAP-R2 x NUA 35.

CUADRO 5. VARIANZA Y REPETITIVIDAD DE LAS LÍNEAS DE FRIJOL POROTO, PANAMÁ - 2014.

	Rendimiento	Severidad de la mustia (%)	Plantas/m ²	Rendimiento/ planta
PROMEDIO	2,930	30,2	15,02	196,49
δ² repetición	0,001	0,001	0,001	0,001
δ² rep x blk	0,019	9,627	0,186	70,03
δ² tratamientos	0,014	30,189	0,001	174,56
δ² residual	0,132	112,393	2,238	714,84
Repetitividad	0,25	0,45	0,001	0,42
CV	12,4	34,9	9,95	13,6

CUADRO 6. RENDIMIENTO Y SEVERIDAD DE MUSTIA HILACHOSA EN LAS LÍNEAS DE FRIJOL POROTO, PANAMÁ - 2014.

Entrada	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Severidad de la mustia (%)	Entrada	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Severidad de la mustia (%)
P 02-29	3,389	13,5	P 09-08	2,915	38,3
P 16-45	3,389	21,7	P 15-11	2,908	27,2
P 11-10	3,325	25,8	P 06-04	2,889	42,0
P 14-31	3,317	18,8	P 07-20	2,875	32,5
P 11-06	3,279	20,8	P 13-26	2,869	29,9
P 17-11	3,261	16,0	P 12-21	2,858	30,4
P 11-50	3,259	16,6	P 06-31	2,839	32,5
P 16-26	3,256	15,2	P 13-38	2,829	24,4
P 10-22	3,222	16,2	P 07-09	2,821	30,6
P 16-41	3,183	24,8	P 10-08	2,818	30,7
P 03-25	3,178	29,5	P 11-15	2,804	37,1
P 13-20	3,156	40,7	P 14-08	2,797	32,4
P 16-13	3,091	31,9	P 09-11	2,792	19,1
P 09-22	3,083	28,2	P 16-31	2,695	38,1
P 11-13	3,073	26,9	P 11-37	2,637	50,4
P 02-14	3,066	17,8	P 11-16	2,637	39,7
P 16-07	3,063	37,3	IDIAP R2	2,636	17,0
P 14-03	2,991	18,8	P 05-31	2,588	26,3
P 09-13	2,959	28,2	P 16-01	2,576	48,5
P 16-40	2,959	26,9	P 10-21	2,540	38,0
P 05-26	2,953	29,3	ROSADO	2,231	53,0
P 14-04	2,947	29,8	P 10-23	2,192	35,1
P 06-35	2,939	25,0	P 11-11	2,139	36,9

DMS 5%: Para el rendimiento es 0,591 y para la severidad de la mustia es 17,21

Análisis del contenido de Fe y Zn en el grano

Con base en el análisis de contenido de hierro sobresalieron las líneas P-09-11, P-13-38, P-11-37 y P-14-04 con 87,3 mg/kgm, 77,7 mg/

kg, 76,2 mg/kg y 74,8 mg/kg de Fe, respectivamente. Las mejores líneas para ambos elementos se presentan en el Cuadro 7. El coeficiente de variación fue de 17,2% para el rendimiento y 2,4% para la mustia hilachosa. Las líneas

con mayor contenido de hierro junto a las líneas P-03-25 y P-02-29, por sus características de color, tamaño del grano y rendimiento de 3,178 t.ha⁻¹ y 3,389 t.ha⁻¹, respectivamente. Se generaron líneas de grano de color rosado provenientes de cruza entre progenitores de alto contenido de nutrientes y las variedades nacionales que fueron evaluadas y seleccionadas por su rendimiento, severidad de la mustia hilachosa y su alto contenido de hierro.

En Guatemala el Instituto de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (ICTA) liberó la variedad ICTA Superchiva ACM en el 2014, con 40 - 50% más Fe que variedades disponibles y se diseminó el mismo año para promover su uso y consumo, y contribuir a reducir la deficiencia de Fe (Reyes *et al.* 2016). Los cultivares liberados en Panamá tienen entre 75 ppm y 77 ppm de Fe en las variedades de frijol tipo calima y se tiene una línea rosada con 88 ppm de hierro.

CUADRO 7. CONTENIDO DE HIERRO (Fe) Y ZINC (Zn) DE LAS LÍNEAS DE FRIJOL POROTO, PANAMÁ - 2014.

Línea	Fe (mg/kg)	Coefficiente de Variación	Zn (mg/kg)	Coefficiente de Variación
P-09-11	87,3 ±0,9192	1,05	32,5±0,3	1,09
P-13-38	77,7 ±0,9	1,18	32,0±0	2,87
P-11-37	76,2 ±0,7	0,09	30,0±0,2	0,71
P-14-04	74,8 ±0,4	0,57	31,5±0,2	0,67
P-03-25	69,8 ±0,1	0,10	34,8±2,1	5,89
NUA 24	69,4 ±0,8	1,12	33,8±0,1	0,42
P-02-29	69,0 ±0,3	0,41	31,5±1-9	6,06
P-11-16	66,4±0,6	0,85	33,2±0,1	0,43
P-11-13	66,0 ±1,01	1,61	30,6±0,8	2,77
NUA 45	65,9 ±1,7	2,58	35,7±0,6	1,58
P-09-08	65,0 ±0,6	0,98	28,4±1,2	4,23
P-16-26	65,0 ±1,1	1,63	30,9±0,2	0,69
P-16-31	64,9 ±2,0	3,05	31,2±1,3	4,31
P-07-09	64,8 ±0,5	0,76	31,7±1,1	3,35
P-13-20	64,7 ±0,1	0,22	27,9±0,07	0,25
IDIAP R-2	62,2 ±0,9	1,59	35,6±0,4	1,19
Rosado FAO	56,4 ±0,7	1,25	29,9±1,2	4,02
Rosado Caisán	55,2 ±0,2	0,38	32,5±0,4	1,31

En Colombia, se estudió la estabilidad del Fe y Zn en la semilla del frijol. Los contenidos de Fe y Zn se mantuvieron dentro del rango de biofortificación Zn>25 ppm, Fe>80 ppm, a pesar de los registros sobre el efecto de la interacción GXA, tipo y composición química edáfica, posiblemente debido a efectos genéticos en las variedades evaluadas. Se sugiere la liberación de dos nuevas variedades para el caribe seco de Colombia, CORPOICA Rojo 39 y CORPOICA 43 (Tofiño *et al.* 2016).

Validación de líneas élites (2015)

En el análisis de varianza se encontró que las localidades, los tratamientos y las localidades x tratamiento presentaron diferencias altamente significativas entre sí ($P \leq 0,01$) (Cuadro 8).

Para la interpretación de la interacción genotipo ambiente (Loc x Trat) se utilizó el análisis Biplot GGE, el análisis de varianza Tipo IV descompuso la interacción y en el mismo se encontró que los primeros dos ejes de los componentes principales explicaron el 91,7% de la interacción (Cuadro 9). Los valores o puntuaciones de los primeros dos ejes de los componentes principales

tanto para genotipos como para localidades se presentan en la Figura 1. Este analizó dos grupos de localidades, el primero o Grupo Ambiental A conformado por las localidades de Las Minas de Herrera, Cerro Mesa en la comarca Ngäbe Buglé, San Andrés en Chiriquí y Santa Fe de Veraguas. El segundo grupo o Grupo Ambiental B estuvo formado por la localidad de Río Sereno en Chiriquí. En el Grupo A sobresalió la líneas élites P 13-38, mientras que la P 03-25 fue la mejor en el Grupo B.

Cuando se preguntó a los agricultores la línea que preferían por su color y tamaño del grano indicaron que entre las tres líneas élites biofortificadas escogieron la P-09-11 y entre las líneas con alto rendimiento señalaron la P-13-38. La línea biofortificada seleccionada es de mayor contenido de hierro, lo que puede utilizarse como una razón adicional para su posterior liberación (Figura 2).

El primer criterio de selección para los agricultores es visual y luego el rendimiento *per se* de las variedades, por lo que será necesario incorporar estudios de aceptación y degustación antes de liberar una nueva variedad de frijol en el país.

CUADRO 8. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VALIDACIÓN DE LAS VARIEDADES, PANAMÁ-2015-16.

F de V	gl	CM	Valor de F	Prob
Localidades	4	14,689	239,6	0,0001
Rep (Loc)	10	0,061	0,85	0,5805
Tratamientos	7	0,961	13,37	0,0001
Loc x Trat	28	0,363	5,05	0,0001

CUADRO 9. ANÁLISIS DE VARIANZA TIPO IV PARA EL BIPLLOT GGE PARA LA VALIDACIÓN DE LAS VARIEDADES, PANAMÁ - 2015-16.

F de V	gl	CM	Valor de F	Prob	%
AMBIENTES	4	14,69	204,33	0,001	
GENOTIPOS	7	0,96	13,37	0,001	
ENV*GEN	28	0,36	5,05	0,001	
CP1	10	0,966	13,44	0,001	57,2
CP2	8	0,729	10,14	0,001	34,5

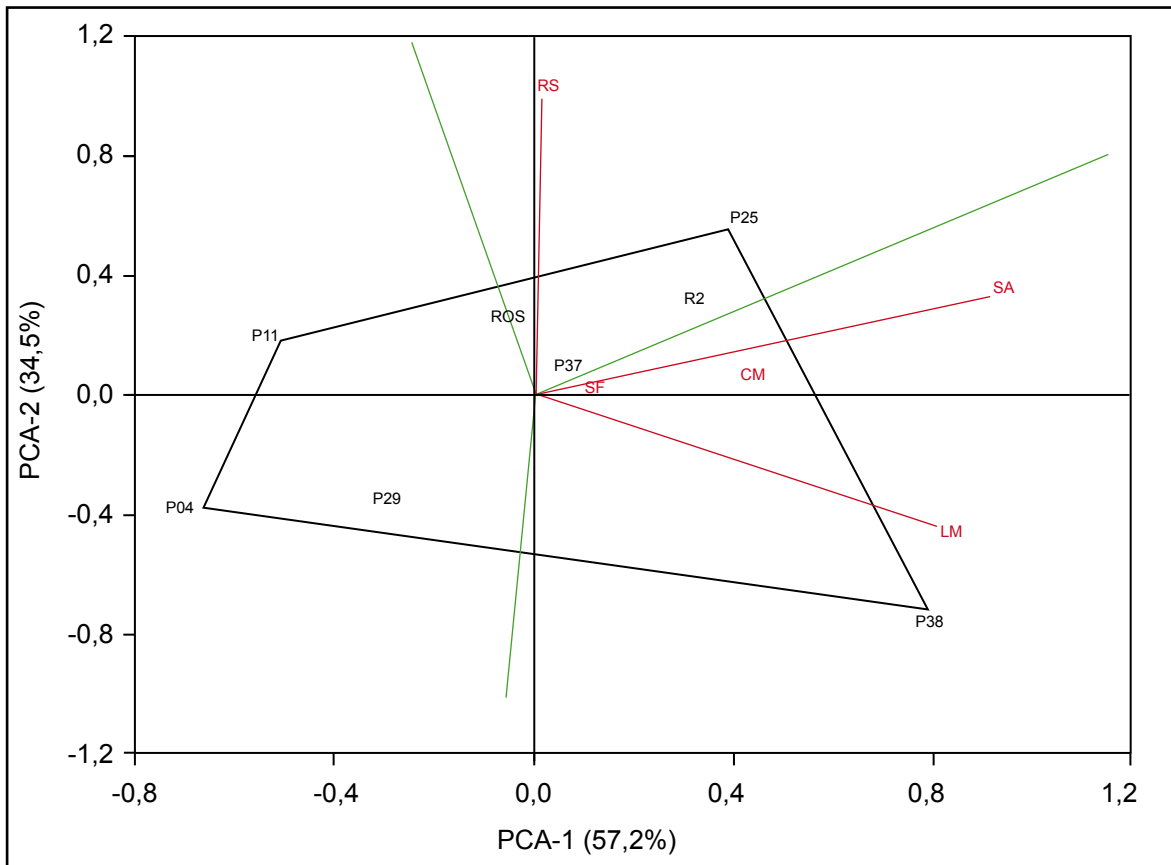


Figura 1. Análisis Biplot GGE, Panamá - 2015-16.



Figura 2. Entrevista con los productores colaboradores sobre su preferencia de tamaño y color del grano, Panamá - 2015-16.

CONCLUSIONES

- Se generaron cuatro líneas de frijol poroto de color rosado con un contenido de Fe entre 74 ppm y 87 ppm.
- Dos líneas de grano rosado biofortificadas fueron validadas y la línea P-09-11 fue la seleccionada por los agricultores y será liberada como variedad en el siguiente ciclo agrícola.
- Las líneas con alto rendimiento fueron validadas y los agricultores

seleccionaron la línea P-13-38 por su color y tamaño del grano que junto al rendimiento expresado será liberada en el año agrícola 2016-17.

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.

- FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, IT). 2001. Perfiles Nutricionales por países. Colombia. 39 p.
- FPMA (Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica). 2014. Guía Metodológica de Fitomejoramiento Participativo. 74 p.
- Gamboa, CJ; Alemán, F. 1995. Manejo Integrado de Malezas en Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali, CO. CIAT. 65 p.
- González, LK; Restrepo, J; Pachón, H. 2009. Caracterización del consumo de frijol y maíz en las familias de las madres comunitarias de los hogares infantiles del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar del departamento del Cauca, Colombia. *Perspect Nutr Humana* 11: 165-76.
- Gordón-Mendoza, R; Camargo-Buitrago, I. 2015. Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agron. Mesoam.* 26(1): 55-63.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2014. Dirección de Agricultura - Informe de Avance de siembra y cosecha. Planificación MIDA.
- Reyes, B; González, C; Pérez, S; Vásquez, M; Mejía, G; Tucux, M; Santos, J. 2016. Aceptabilidad de variedad de frijol con alto contenido de hierro: el caso de ICTA superchiva en Guatemala. *In Reunión Anual del Programa cooperativo centroamericano para el mejoramiento de cultivos y animales (PCCMCA). Memoria.* San José, CR. 156 p.
- Rodríguez, E; De Gracia, R; González, F. 1995. Poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) Guía Técnica para su cultivo. IDIAP, PA. 27 p.
- 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; Gonzáles-Guevara, F; Quirós-Rodríguez, E; Hernández-Rojas, R; Palacios-Rodríguez, E; Melgar-Moreno, A. 2013. Líneas de Frijol con alto contenido de hierro y zinc. *Ciencia Agropecuaria* no. 21: 25-37.
- 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.

centroamericano para el mejoramiento de cultivos y animales (PCCMCA). Memoria. San José, CR. 156 p.

Tofiño, A; Tofiño, R; Pastrana, I. 2016. Estabilidad del contenido de micronutrientes de variedades biofortificadas de frijol en el caribe Colombiano 2016. *In* Reunión Anual del Programa cooperativo

Vargas, M; Combs, E; Alvarado, G; Atlion, G; Mathews, K; Crossa, J. 2013. Meta: A Suite of SAS Programs to Analyze Multienviroment Breeding Trials. *Agronomy Journal* 105(1): 11-19.