

VARIETADES DE FRIJOL POROTO DE GRANO ROSADO BIOFORTIFICADAS PARA PANAMÁ, 2008 – 2018¹

*Emigdio Rodríguez-Quiel²; Román Gordón-Mendoza³;
Francisco González-Guevara⁴; Maika Barría⁵; Liliam Marquín⁶;
Kasandra Araúz P⁷; Luis Yanguéz Q⁸; Ricardo Hernández⁹; Benito Franco⁹*

RESUMEN

La biofortificación es el aumento de los niveles de nutrientes mediante el mejoramiento genético convencional principalmente en alimentos de consumo masivo como las legumbres y cereales. Con el propósito de obtener variedades de frijol rosado biofortificados, se realizaron 16 cruzamientos entre las variedades Rosado Criollo e IDIAP R2 con nuevas líneas de alto contenido de hierro provenientes del CIAT, las cuales fueron avanzadas por selección masal hasta la F₅ y se seleccionaron 530 líneas F₅₋₆. A través de herramientas estadísticas robustas como índice de selección, alfa Lattice, Biplot GGE y la participación temprana en el proceso de mejoramiento genético por parte de los agricultores, se logró seleccionar las mejores líneas por su rendimiento, reacción a la mustia hilachosa, contenido de hierro en el grano, color, tamaño y brillo del grano. En la validación de las líneas con los productores durante dos años consecutivos se demostró la superioridad en rendimiento de las variedades IDIAP P 09-11 e IDIAP P 13-38 sobre el Rosado Criollo y del IDIAP R2. La información suministrada por 75 agricultores y colectada a través de fitomejoramiento participativo, indica que, entre el rendimiento de las nuevas variedades y las variedades utilizadas por los agricultores, no existe diferencia ($P \geq 0,05$). Las nuevas variedades tienen mayor contenido de hierro, 88 ppm y 78 ppm respectivamente; mientras que las variedades criollas muestran 55 ppm y 50 ppm de este elemento. No se encontraron diferencias estadísticas ($P \geq 0,05$) en preferencias de consumo cuando se evaluaron las nuevas variedades y se compararon al Rosado Criollo. Luego de 10 años de evaluación se liberaron dos nuevas variedades de grano de color rosado para los agricultores de Panamá.

Palabras claves: Mejoramiento genético, alto contenido de hierro, participación de los agricultores, rendimiento, reacción a mustia.

¹ Recepción: 13 de febrero de 2019. Aceptación: 6 de agosto de 2019.

² Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria Chiriquí CIA Chiriquí). Ing. Agrónomo. M.C. en Fitomejoramiento.

³ IDIAP. CIA Azuero. Ing. Agrónomo. M.C. en Protección de Cultivos.

⁴ IDIAP. CIA Chiriquí. Agrónomo.

⁵ IDIAP. (Sede). Lic. en Nutrición.

⁶ IDIAP. CIA Chiriquí. Lic. en Economía. M.C. en Economía Agrícola.

⁷ IDIAP. CIA Chiriquí. Agrónoma.

⁸ IDIAP. CIA Chiriquí. Ing. Agrónomo.

⁹ IDIAP. CIA Divisa. Ing. Agrónomo.



BIOFORTIFIED RED KIDNEY BEAN VARIETIES FOR PANAMA, 2008-2018.

ABSTRACT

The bio fortification is the increase in nutrient levels through genetic improvement, mainly in foods for mass consumption such as legumes and cereals. In order to obtain biofortified pink bean varieties, sixteen crosses were made between pink creole bean and IDIAP R2 varieties with new lines of high iron content from CIAT, which were advanced by mass selection until F_5 and 530 lines F_{5-6} were selected. Through robust statistical tools such as selection index, Alfa Lattice, Biplot GGE and early participation in the process of genetic improvement by farmers, it was possible to select the best lines for their performance, reaction to thread blight, content of iron in the grain, color, size and luster of the grain. In the validation of the lines with the producers for two consecutive years, the superiority in yield of the varieties IDIAP P 09-11 and IDIAP P 13-38 over the pink creole bean and IDIAP R2 was demonstrated. The information provided by 75 farmers and collected through participatory plant breeding indicates that there is no difference between the yield of the new varieties and the varieties used by the farmers ($P \geq 0,05$). The new varieties have a higher iron content, 88 ppm and 78 ppm respectively; Creole varieties show 55 ppm and 50 ppm of this element. No statistical differences ($P \geq 0,05$) in consumption preferences were found when the new varieties were evaluated and compared to pink creole bean. After 10 years of evaluation, two new varieties of pink grain were released for the farmers of Panama.

Key words: Genetic improvement, high iron content, farmer participation, performance, reaction to mustia.

INTRODUCCIÓN

Como parte del estado nutricional, el hambre oculta es la carencia de vitaminas y minerales esenciales en la dieta, componentes que son vitales para potenciar la inmunidad y un desarrollo saludable. Las carencias de vitamina A, zinc, hierro y yodo son motivos de gran preocupación para la salud pública y suelen ser los micronutrientes que más hacen falta a la dieta (OMS, 2012).

La biofortificación es un método para aumentar el contenido de nutrientes en los cultivos, mediante prácticas de mejoramiento convencional varietal, para producir mejores alimentos y combatir la deficiencia de micronutrientes (hierro y zinc) en el organismo humano (Caracol Radio Cali, 2016).



El frijol biofortificado ha sido desarrollado convencionalmente para tener más nutrientes. Los investigadores se han enfocado en el desarrollo de variedades de frijol con altos niveles de hierro y zinc. El frijol con alto contenido de hierro puede proveer a los consumidores un aporte adicional y significativo de su requerimiento diario de hierro sin cambiar su dieta (HarvestPlus, 2014).

Los cultivos biofortificados tienen mejores características agronómicas y ofrecen mayor contenido de micronutrientes en comparación con cultivos no-biofortificados, es decir, los que consumimos a diario denominados convencionales (Pachón, 2009). Estudios recientes respaldan la eficacia de la biofortificación en intervenciones dietéticas para mejorar deficiencias de hierro. En un grupo de mujeres universitarias en Ruanda el consumo de frijoles biofortificados con hierro mejoraron significativamente el estado del hierro después de consumirlos por 128 días. Esta intervención aumentó significativamente los niveles de concentración de la hemoglobina, 3,8 g/L más; el registro de ferritina sérica se aumentó en 0,1 log mg/L y el hierro corporal en 0,5 ppm. Por cada 1 g de Fe consumida a partir de los 128 días de estudio, hubo un aumento significativo de 4,2 g/L en la hemoglobina ($P < 0,05$) (Haas et al., 2016).

El propósito de la biofortificación es mejorar cultivos de consumo diario de las comunidades de diferentes partes del mundo, para que a través de un alimento conocido puedan mejorar la salud sin costo adicional, con los canales de distribución y de compra acostumbrados. La biofortificación es una de las herramientas para responder al problema de desnutrición mundial (Beebe, 2016).

El mayor reto al liberar una nueva variedad de frijol es que los agricultores tengan acceso a ella y esto se logra con una producción de semilla a gran escala. Hay expectativas de que algunas organizaciones nacionales las introduzcan en sus programas de semillas y también a través de pequeños productores de semilla (Beebe, 2016).

HarvestPlus se ha enfocado en el desarrollo del frijol biofortificado con un incremento de la concentración de hierro y zinc en variedades agronómicamente superiores. Las características claves de productividad están siendo desarrolladas en



combinación con el mejoramiento del valor nutricional para hacer del frijol biofortificado una semilla más atractiva para los productores (HarvestPlus, 2006).

El Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) desarrolla el proyecto de mejoramiento para la obtención de cultivares de frijol poroto biofortificados con alto contenido de hierro. Durante el año 2015 en el proyecto de biofortificación del frijol común desarrollado en Panamá por el IDIAP en colaboración con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se realizaron cruces 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. Se generaron líneas de grano de color rosado provenientes de cruces entre progenitores de alto contenido de nutrientes y las variedades nacionales y se seleccionaron los mejores genotipos en relación al rendimiento de grano, alto contenido de hierro (Fe) y tolerancia a la mustia hilachosa. Se logró seleccionar al final dos líneas de grano rosado, las líneas P-09-11 y P-13-38 con 88 ppm y 78 ppm de contenido de hierro y que son consideradas como cultivares biofortificados. La variedad Rosado Criollo y la variedad mejorada IDIAP R2 tienen 55 ppm y 50 ppm de hierro, respectivamente. Este incremento representa el 60% y 56% más de este elemento en los nuevos cultivares que lo que tienen las variedades criollas. Estas líneas fueron validadas con los agricultores, y a su vez, seleccionadas por alto rendimiento, color y tamaño del grano (Rodríguez et al., 2016).

Si bien la calidad nutricional y agronómica es importante, en última instancia, lo que determinará su aceptabilidad o su rechazo será la percepción del consumidor en cuanto a sus características culinarias, su aspecto, color, olor, sabor o textura (Carrillo et al., 2015).

El proyecto de Mejoramiento Genético del frijol poroto en Panamá a través del mejoramiento convencional y del mejoramiento participativo ponen a disposición de los agricultores de este grano dos nuevas variedades para los productores de este rubro; estas son las variedades IDIAP P-09-11 e IDIAP P-13-38 las que tienen entre sus características mayor contenido de hierro que las variedades criolla Rosado y la mejorada IDIAP R2.

En Colombia BIO-101 y BIO-107, nombres de las nuevas variedades biofortificadas de frijol, son el resultado del trabajo realizado en equipo, de 2013 a 2015, entre Fenalce, Fidar y



el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con fondos de HarvestPlus-LAC, líder en investigación en biofortificación, que forma parte del Programa Global de Investigación en Agricultura para la Nutrición y la Salud del Consorcio, alianza a la que pertenece el CIAT, y cuya misión es mejorar la nutrición y salud pública mediante el desarrollo y promoción de cultivos biofortificados con más vitaminas y minerales (Caracol Radio, 2016).

Tradicionalmente, las variedades de frijol que se vienen cultivando en Colombia contienen en promedio 50 partes por millón (ppm) de hierro y 28 ppm de zinc. Las cifras de las nuevas variedades constituyen toda una ventaja a la hora de brindar una mejor alimentación pues BIO-101 y BIO-107 presentan contenidos superiores al 60% en hierro (82 ppm) y al 50% en zinc (43 ppm), comparadas con las variedades de frijol que se consumen actualmente en el país. Estos resultados corresponden al promedio obtenido de la evaluación realizada en nueve localidades colombianas (Beebe, 2016).

Los hábitos alimenticios de la población son una referencia sociocultural de los distintos pueblos, por lo que actualmente la relación entre la dieta y el estado de salud de las personas han sido determinantes para que los hábitos alimenticios de una población se consideren como un indicador tanto social como de salud (Domínguez, 2007). Por ello es sumamente importante considerar el consumo de alimentos y estudios sobre evaluación sensorial con los consumidores antes de liberar un cultivo biofortificado o lanzar un producto al mercado.

Los objetivos del presente trabajo fueron los de generar líneas de frijol poroto de grano de color rosado, con mayor rendimiento que la variedad criolla, con mayor contenido de hierro y que sean evaluadas y aceptadas por los agricultores para que se conviertan en variedades mejoradas para Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el 2010 se recibieron 16 cruzamientos entre variedades criollas de Panamá por nuevas fuentes de alto hierro. Para la realización de estas cruces se utilizaron como progenitores femeninos el Rosado Criollo y el IDIAP R2 en tanto que como progenitores masculinos fueron líneas de alto contenido de hierro del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cuadro 1.



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 F₂ fue realizada en la localidad de Río Sereno y las poblaciones fueron avanzadas hasta la F₅ por selección masal. En la F₅ se seleccionaron 530 líneas, las semillas fueron procesadas y secadas al sol hasta el 12% de humedad.

En la F₆ se evaluaron las líneas generadas y se colocaron testigos tolerantes y susceptibles en el campo, totalizando 718 líneas y variedades evaluadas. Debido a la colocación de los testigos susceptibles y tolerantes a la mustia hilachosa en todo el campo. Se usó 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 usó una parcela útil de 5 m².

En el siguiente ciclo agrícola se sembró la generación F₇, el ensayo fue sembrado utilizando el diseño bloques completos al azar con un arreglo Alfa Látice 7x7 cuyo modelo matemático es el siguiente (Vargas et al., 2013).

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

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 se separaron utilizando la diferencia mínima significativa (DMS) (Vargas et al., 2013).

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

En el año 2015 – 2016 se realizó la prueba de validación de las mejores líneas por su rendimiento, porcentaje de severidad de la mustia hilachosa y contenido de hierro (Fe). 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, respectivamente. En el año 2016-2017 se validaron las líneas P-13-38 y P-09-11 y se compararon con la variedad Rosado Criollo.

En las validaciones de las líneas se utilizó el diseño de bloques completos al azar y cuyo modelo matemático es como sigue:

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

Donde:

μ = Promedio general

r_i = Efecto de la i th Repetición

T_j = Efecto del j th tratamiento

ε_{ij} = Error experimental

En el año 2017-2018 se les entregaron a 140 agricultores las líneas P-09-11 y P-13-38 de las comunidades de Santa Fe, El Cañaveral y Chitra en la provincia de Veraguas, El Ciprian, Virotales, Ocú en la provincia de Herrera, Cerro Mesa, Cerro Tula, Boca del Monte y Cerro Iglesias en la Comarca Ngäbe Buglé, Río Sereno, Caisán y San Andres en la provincia de Chiriquí. Para este propósito se entregó un 1,0 kg de semilla de ambas líneas y fueron comparadas con la variedad utilizada por los agricultores.

Se tomó una muestra de las líneas evaluadas y las mismas 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 suelos se realizó utilizando la mínima labranza que 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, antes de la siembra se utilizaron surcos en el suelo con una azada. Se sembró a una distancia de 0,50 m entre surcos y 0,10 m entre plantas, obteniendo un total de 200,000 plantas/ha. Antes de la germinación, se aplicó glufosinato de amonio en dosis de 300 g i.a./ha, lo que completó el control de las malezas que persistían en el campo.

Para la fertilización se utilizó 113,6 kg/ha de 18-46-0 a la siembra más 181 kg/ha 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, se asperjó con una bomba de tracción manual. Para complementar, se aplicó fluazifob – butyl a razón de 31 g i.a./ha 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 (Rodríguez, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de Líneas F₆ (2013)

La ganancia genética del grupo de líneas seleccionadas para la variable rendimiento de grano fue de más de una tonelada 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).



Cuadro 2. Líneas de frijol poroto de grano rosado, Panamá-2013.

	Rendimiento			Mustia		
	Población	Selección	Diferencia	Población	Selección	Diferencia
Promedio (t ha ⁻¹)	2,700	3,73	1,03	28,9	24,0	- 4,9
Valor normalizado			1,32			- 0,9
CV (%)	28,800			18,3		
Mínimo (t ha ⁻¹)	0,336			10,0		
Máximo (t ha ⁻¹)	5,680			50,0		

Las líneas con índice de selección cercano a cero son las que mejor adaptación tienen a la zona donde se realizó la evaluación porque 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 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 proceso de desarrollo de variedades y el fortalecimiento de los sistemas locales de producción de semillas (FPMA, 2014).

Evaluación de líneas F₇ (2014)

El cuadrado medio indicó que hubo diferencias significativas para todas las variables para los tratamientos o líneas evaluadas. La repetitividad para rendimiento y evaluación de la mustia fue de 0,25 y 0,45, respectivamente (Cuadro 5). Ambos valores sugieren buena precisión experimental de acuerdo a lo discutido por Gordón y Camargo (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.



Cuadro 3. Las mejores 20 líneas por su índice de selección en función al porcentaje de severidad de la mustia hilachosa y rendimiento de grano (t ha⁻¹), Panamá-2013.

Entrada	Índice de Selección	Mustia (% de Sev)	Rend (t ha ⁻¹)	Entrada	Índice de Selección	Mustia (% de Sev)	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. Las mejores líneas seleccionadas por su rendimiento en t ha⁻¹ 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			

Cuadro 5. Varianza y repetitividad de las líneas de frijol poroto, Panamá-2014.

	Rendimiento	% de 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 ratamientos	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



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

Cuadro 6. Rendimiento y severidad de mustia hilachosa en las líneas de frijol poroto, Panamá 2014.

Entrada	Rendimiento (t ha ⁻¹)	% de severidad de la mustia	Entrada	Rendimiento (t ha ⁻¹)	% de 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%	0,591	17,21		2,42	43,42

Análisis del contenido de Fe y Zn en el grano:

En base al análisis de contenido de hierro sobresalieron las líneas P-09-11, P-13-38, P-11-37 y P-14-04 con 87,3; 77,7; 76,2 y 74,8 ppm de Fe (Cuadro 7). El coeficiente de variación fue de 17,2% para el rendimiento y 2,4% para la mustia hilachosa, respectivamente. 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 y 3,389 t ha⁻¹, respectivamente.

En Guatemala el Instituto de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (ICTA), liberó la variedad de frijol ICTA Superchiva ACM en el 2014, con 40-50% más de hierro que las variedades disponibles, y dicha variedad se diseminó el mismo año para promover su uso



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

y consumo a manera de contribuir a la reducción de deficiencias de hierro (Reyes et al., 2016). Las variedades liberadas en Panamá tienen entre 75 ppm y 77 ppm de hierro en las variedades de frijol tipo calima y se tiene una línea rosada con 88 ppm de hierro.

En Colombia por su parte se estudió la estabilidad del hierro y zinc en la semilla del frijol. Los resultados sugieren que 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).

Cuadro 7. Contenido de hierro (Fe) y zinc (Zn) de las líneas de frijol poroto, Panamá-2014.

Línea	Fe (ppm)	CV	Zn (ppm)	CV
P-09-11	88,0 ±0,9192	1,05	32,5±0,3	1,09
P-13-38	78,0 ±0,9	1,18	32,0±0,2	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

Validación de variedades (2015)

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



Cuadro 8. Análisis de varianza para la validación de las variedades, Panamá 2015-16.

FV	gl	CM	valor de F	Probabilidad
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

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).

El análisis de los 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; sobresalió la variedad P 13-38; mientras que en el segundo grupo o Grupo Ambiental B estuvo formado por la localidad de Río Sereno en Chiriquí, sobresalió la variedad P 03-25 (Figura 1).

Cuadro 9. Análisis de varianza tipo IV para el Biplot GGE para la validación de las variedades, Panamá, 2015-16.

FV	gl	CM	valor de F	Probabilidad	Porcentaje
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

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



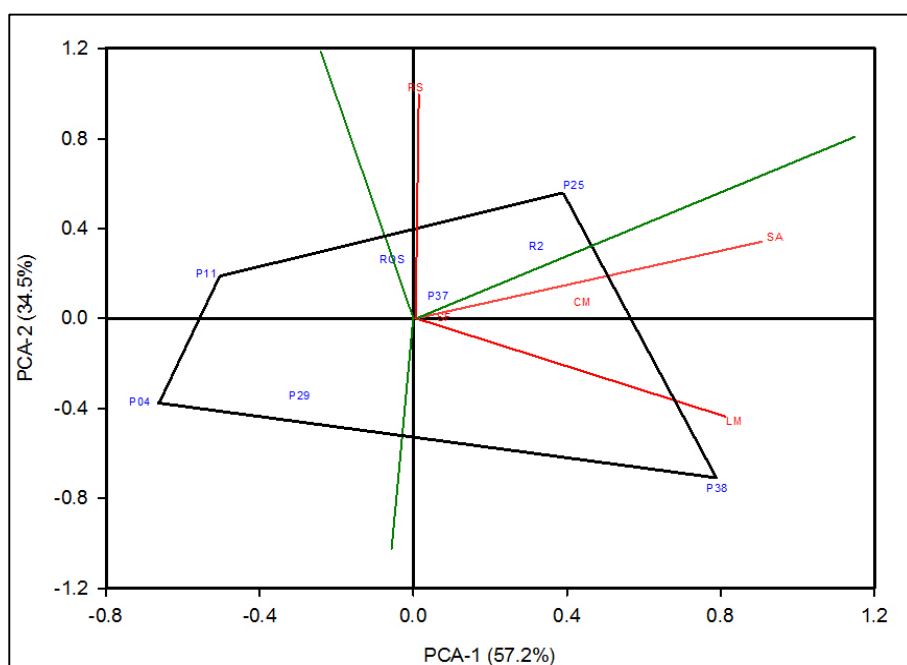


Figura 1. Análisis Biplot GGE - Panamá, 2015-16.

Validación 2017

Cuando se realizó el análisis de varianza Tipo III se encontró diferencia altamente significativa para las localidades en estudio y localidad por tratamiento ($p \leq 0,0172 - 0,00019$) y no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ni para localidades dentro de las repeticiones ($p \geq 0,3219 - 0,9919$), es decir todas las variedades fueron iguales (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza tipo III para la validación de nuevas variedades de frijol poroto en Panamá.

FV	gl	SC (Tipo III)	CM	F-Valor	Probabilidad
LOCALIDAD	5	32,70	6,54	141,98	0,0001
REP(LOC)	12	0,55	0,05	0,53	0,8819
TRATAM.	3	0,32	0,11	1,2	0,3219
LOC*TRATAM.	15	3,10	0,21	2,37	0,0172

Cuando se utilizó el LSD se observó que el rendimiento de todas las variedades fue menor al promedio más el LSD, lo que nos indicó que no son diferentes entre sí los tratamientos en estudio. Se observó que la repetitividad es baja debido a que la diferencia entre los tratamientos es poca, por tanto, la desviación estándar tenderá a ser cero (Cuadro 11).



Cuadro 11. LSD y repetitividad para los tratamientos en estudio en la validación de líneas de frijol poroto.

Tratamiento	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	PTM ²	Rend x planta
P-09-11	1,939	87,5	10,59
IDIAP R2	1,870	87,17	10,38
ROSADO	1,792	84,72	9,94
P-13-38	1,773	87,33	9,61
Promedio	1,844	86,68	10,13
LSD	0,293	3,69	1,68
Repetitividad	0,001	0,03	0,001
DMS/Rango	1,76	1,33	1,73
CV	15,04	5,00	14,64

Se practicó el análisis Tipo IV y componentes principales para el rendimiento de grano de las variedades estudiadas y se encontró que los ambientes son diferentes entre sí, así como los genotipos por ambientes. Los genotipos o variedades fueron iguales (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de varianza Tipo IV y componentes principales (PCA) para la variable rendimiento de grano, validación de variedades de frijol poroto, Panamá 2016-2017.

FV	gl	SC (Tipo IV)	CM	Probabilidad F
AMB	5	32,70	6,54	0,001
GEN	3	0,32	0,11	0,32
GEN x AMB	15	3,10	0,21	0,02
PCA-1	7	2,58	0,368	0,02
PCA-2	5	0,73	0,146	0,16
Residuo	4	0,10	0,026	

Se realizó el análisis Biplot con el que se explica el 97% de la variación genética en el experimento (Figura 2), y se forman tres grupos de localidades, el primer grupo y más grande de todos formados por las localidades de Cerro Mesa, Boca del Monte, en la comarca Ngäbe Buglé; El Alto y El Pantano en Santa Fe de Veraguas, el Cipriam forma un segundo grupo y la localidad de las playitas en tercer grupo para este estudio. En el primer grupo sobresale la variedad IDIAP R2, en tanto que en el segundo aparece la variedad P-09-11 las que están por encima de la media y en el tercero aparece la variedad P-13-38 la que está por debajo de la media.



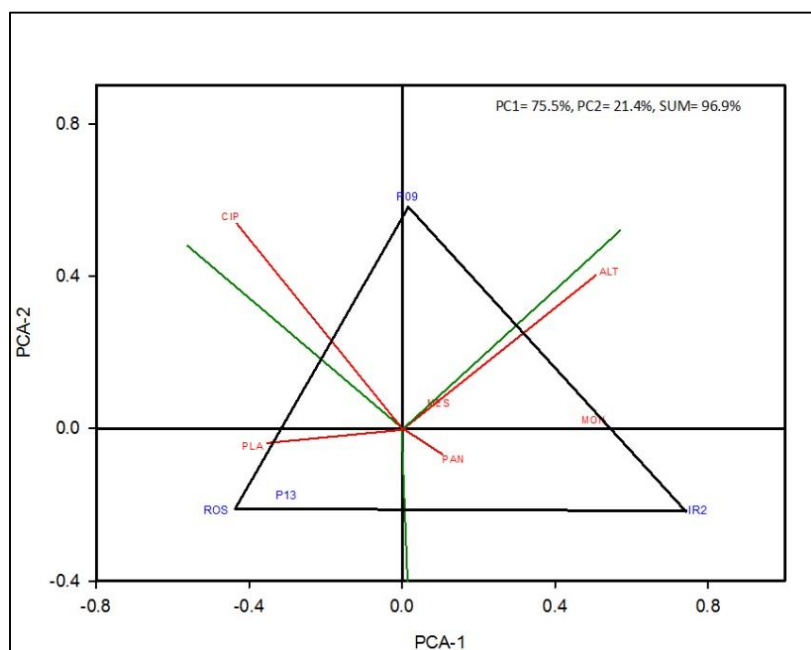


Figura 2. Biplot GGE para los rendimientos en las diferentes localidades estudiadas, Panamá-2017.

Análisis sensorial 2017

Como resultado de la encuesta se encontró que el 51,9% eran provenientes de localidades campesinas y el 48,1% de localidades indígenas. El 77,8% de los participantes manifestaron que el frijol poroto es uno de los cultivos principales para la siembra; el 97,2% consumen el frijol poroto, donde el 76,8% lo consume más de dos a cuatro veces a la semana, lo que demuestra que el frijol poroto es un cultivo y alimento básico para este grupo de consumidores. Coincidiendo con el Análisis de la situación Alimentaria en Panamá realizado en base a los datos de la Encuesta de Niveles de Vida del 2008, donde el consumo de leguminosas en zonas urbanas y rurales fue del 85%, siendo la leguminosa más usada por los hogares indígenas el frijol en más del 50% (INCAP, 2011).

Evaluación participativa 2018

En el año agrícola 2017-18 se realizó la evaluación participativa y fueron analizados 75 datos correspondientes a los agricultores que completaron la información solicitada.

En este análisis al comparar el cultivar P-13-38 con el testigo del productor (Rosado, Chileno, IDIAP NUA 24, IDIAP NUA 45 o IDIAP R2) se midió la homogeneidad de la varianza por el método de Bonet y Levene y se encontró que para ninguno de los dos



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

métodos hay significancia ($P \geq 0,197$ y $0,163$); se corrió la prueba de t y se acepta la hipótesis alternativa la que indica que ambos cultivares son iguales ($P \geq 0,820$) (Figura 3). El cultivar P-13-38 tienen 78 ppm de Fe, el cual supera al testigo del productor en un 56% de este elemento, lo que proporciona un valor agregado por ser un alimento con mayor contenido de hierro (Cuadro 13).

Cuadro 13. Prueba de homogeneidad de varianza para los cultivares P-13-38 vs testigo del productor, Panamá-2018.

Método	Estadística de prueba	gl 1	gl 2	Valor p
Bonett	1,67	1		0,197
Levene	1,97	1	136	0,163

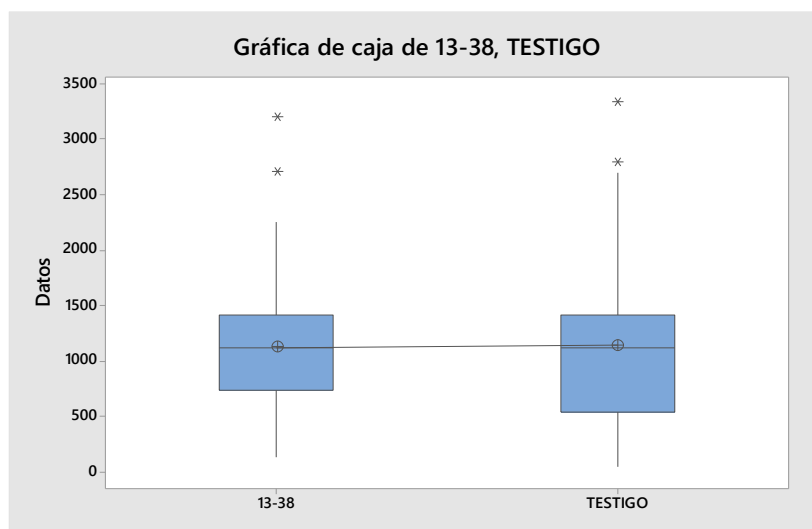


Figura 3. Rendimientos del Cultivar P-13-38 y el testigo del Productor, Panamá-2018.

Cuando se realiza la prueba de homogeneidad de varianza de los cultivares P-09-11 y el testigo del productor se encontraron diferencias significativas para las mismas, ($P \geq 0,011$ y $0,014$) lo que indica que los datos no tienen distribución normal sino continua (Cuadro 14), cada dato fue analizado por separado y se le practicó una prueba de t y no se encontraron diferencias significativas para los datos ($P \geq 0,086$), Cuadro 15. La diferencia está en el contenido de Fe, ya que este cultivar tiene 88 ppm del elemento lo que representa un 76% más hierro que el testigo del productor, lo que representa una ventaja.



Cuadro 14. Prueba de homogeneidad de varianza para los cultivares P-09-11 vs Testigo del Productor, Panamá-2018.

Método	Estadístico de Prueba	gl 1	gl 2	Valor p
Bonett	6,55	1		0,011
Levene	6,26	1	136	0,014

Cuadro 15. Prueba de t para el análisis de las variedades P-09-11 vs el testigo del productor, Panamá-2018.

Valor t	gl	Valor p
-1,73	108	0,086

CONCLUSIONES

- Se generaron líneas provenientes de cada cruzamiento, se evaluaron y analizaron seleccionando las líneas más prometedoras. Se validaron en campos de productores por dos años consecutivos resultando las líneas P-09-11 y P-13-38 como las líneas con la mayor cantidad de características exigidas por los agricultores.
- A través del Fitomejoramiento Participativo se demostró que las nuevas variedades son iguales al testigo utilizado por el productor.
- Los cultivares P-09-11 y P-13-38 tiene contenidos de 88 ppm con 78 ppm de hierro comparadas al Rosado Criollo o IDIAP R 2 que tienen entre 50 ppm y 55 ppm de Fe.
- El cruzamiento con el mayor rendimiento fue VELAZCO LARGO x NUA 35 y el que contribuyó a disminuir el porcentaje de severidad de la mustia hilachosa fue IDIAP R2 x NUA 35.



BIBLIOGRAFÍA

- Beebe, S. 2016. Lanza nuevas variedades de frijol para mejorar la alimentación de los colombianos y responder al cambio climático. <http://blog.ciat.cgiar.org/es/lanzan-nuevas-variedades-de-frijol-para-mejorar-la-alimentacion-de-los-colombianos-y-responder-al-cambio-climatico/> (consultado 5 de abr. 2018).
- Caracol Radio. 2016. CIAT lanza dos nuevas variedades de frijol biofortificado. http://caracol.com.co/emisora/2016/06/10/cali/1465588193_117084.html (consultado 5 abr. 2018).
- Carrillo P., S. Gallego, E. Talsma. 2015. Manual de campo: Evaluación Sensorial de Cultivos biofortificados. CIAT, Colombia. 45 p.
- Domínguez, M. 2007. Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos. Agrosalud, Lima. 45 p.
- FPMA (Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica). 2014. Guía Metodológica de Fitomejoramiento Participativo. 74 p.
- Gamboa, C.J., y F. Alemán. 1995. Manejo Integrado de Malezas en Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali, C, CIAT. 65 p.
- Gordón, R., y I. Camargo. 2015. Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. Agr Mesoamericana 26(1):55-63.
- HarvestPlus. 2014. Annual Report 2014. <https://www.harvestplus.org/category/resource-type/report?page=1> (consultado 05 abr. 2018)
- HarvestPlus. 2006. Biofortified Beans. http://r4d.dfid.gov.uk/pdf/outputs/misc_crop/beans.pdf (consultado 05 abr. 2018).



- Haas, J.D., S.V. Luna, M.G. Lung'aho, M.J. Wenger, L.E. Murray, S. Beebe, J.B. Gahutu, and I.M. Egli. 2016. Consuming Iron Biofortified Beans Increases Iron Status in Rwandan Women after 128 Days in a Randomized Controlled Feeding Trial. *J. Nutr.* 146(8): 1586-1592.
- INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá). 2011. Análisis de la Situación Alimentaria en Panamá. 73 p. www.incap.int/index.php/es/.../660-panama-informe-analisis-de-situacion-alimentaria (consultado 5 dic. 2018).
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2012. Interpretando los patrones de Crecimiento. www.who.int/childgrowth/training/c_interpretando.pdf (consultado 18 nov. 2016).
- Pachón, H. 2009. El Impacto Nutricional de Cultivos Biofortificados o Cultivos con Mayor Calidad Nutricional. Proyecto Agro salud. CIAT, CO.
- Reyes B., C. Gonzáles, S. Pérez, y M. Vazquez. 2016. Aceptabilidad de variedad de frijol con alto contenido de hierro: el caso de icta superchiva en Guatemala. PCCMCA. Memoria. Costa Rica.
- Rodríguez, E., R. De Gracia., y F. González. 1995. Poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) Guía Técnica para su Cultivo. IDIAP. Panamá. 27 p.
- Rodríguez, E. 2012. Producción de semilla de frijol poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) con tecnología amigable con el ambiente.
- Rodríguez, E., R. Gordon, y F. González. 2016. Líneas de frijol poroto biofortificado de grano rosado en Panamá. *Ciencia Agropecuaria*. No. 24: 35-51
- Tofiño, A., R. Tofiño, y I. Pastrana. 2016. Estabilidad del contenido de micronutrientes de variedades biofortificadas de frijol en el caribe Colombiano 2016. PCCMCA. Memoria. Costa Rica.



Vargas, M., y J. Crossa 2013. Meta: A Suite of SAS Programs to Analyze Multienviroment Breeding Trials. Agronomy Journal. Volumen (105): 11-19.

Watts, B. M., Ylimaki, G. L., Jeffery, L. E., y Elías, L. G. 1989. Métodos Sensoriales Básicos Para La Evaluación De Alimentos. Departamento de Alimentos y Nutrición, Facultad de Ecología Humana (Vol. 1).

