



Imagen tomada de: Canva educativo

Caracterización de 11 líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) resistentes a *Zabrotes subfasciatus* Boheman en Cuba

Characterization of 11 common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) lines resistant to *Zabrotes subfasciatus* Boheman in Cuba

Alexis Lamz-Piedra^{1*}, Arianna Morales-Soto¹, Belkis Peteira Delgado-Oramas², Marilyn Florido-Bacallao¹

RESUMEN

Por su alto valor nutricional, el frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) es la especie más importante para el consumo humano entre las leguminosas de grano comestibles. El objetivo de este estudio fue caracterizar 11 líneas RAZ de frijol común, promisorias por su resistencia contra *Zabrotes subfasciatus* Boh. En octubre de 2019, se sembraron 11 líneas RAZ del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), utilizando un diseño de bloques completos al azar en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de Las Lajas, Cuba. Se evaluaron 22 caracteres cuantitativos y cualitativos del descriptor del frijol común y se realizaron análisis de frecuencia para las características cualitativas y estadígrafos básicos y análisis de componentes principales (ACP) de los atributos cuantitativos. Los caracteres con mayor variabilidad fueron el color primario de la semilla (reportándose 5 diferentes, y siendo el blanco sucio el más frecuente); el color predominante de la vaina en la madurez fisiológica (las cuales presentaron 4 variantes de color, principalmente verdes y amarillas); el aspecto de la testa (destacando el aspecto opaco, registrándose en 6 líneas); así como la ausencia del color alrededor del hilo en 10 de ellas. Los parámetros relacionados con el ciclo biológico presentaron menor variabilidad. El peso de 100 granos correspondió al tipo de grano pequeño. El rendimiento promedio fue 1 685 kg/ha, destacándose la línea 'RAZ 124' con 4 237 kg/ha. El ACP explicó el 61.82 % de la variabilidad total e integró las 11 líneas en 4 grupos que caracterizaron su comportamiento. Los resultados indican que las líneas estudiadas pueden incorporarse en el programa de mejoramiento del frijol en Cuba a través de su evaluación en diferentes ambientes regionales para la selección de posibles nuevos cultivares comerciales.

PALABRAS CLAVE: resistencia, brúquidos, descriptores, gorgojo mexicano, rendimiento de grano.

ABSTRACT

Due to high nutritional value, common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) is the most important species for human consumption among the food grain legumes. The objective of this study was to characterize 11 RAZ lines of common bean, promising for their resistance to the Mexican bean weevil (*Zabrotes subfasciatus* Boh.). In October 2019, 11 RAZ lines from the International Center for Tropical Agriculture (CIAT) were planted using a randomized complete block design at the National Institute of Agricultural Sciences (INCA), San José de las Lajas, Cuba. Twenty-two quantitative and qualitative traits of the common bean descriptors were used, and frequency analyses were performed for the qualitative traits and basic statistics and principal component analysis (PCA) were performed for the quantitative traits. The traits with greater variability were the primary seed color (5 different colors were reported, with dirty white being the most frequent); the predominant color of the pods at physiological maturity, (which presented 4 color variants, with green and yellow ones standing out); the opaque aspect of the coat stood out, being registered in 6 lines, as well as the absence of color around the hilum in 10 of them. All possible variants were found for the predominant appearance of the seed coat, predominant profile of the pod and presence of color around the hilum. Variables related to the biological cycle showed less variability. The weight of 100 grains corresponded to the small grains type. The average yield was 1 685 kg/ha, with the 'RAZ 124' line standing out with 4 237 kg/ha. The PCA explained 61.82 % of total variability and classified the 11 lines into four groups that characterize their performance. These results indicate that the lines under study can be incorporated into the bean breeding program in Cuba by means of their evaluation in different regional environments for the selection of possible new commercial cultivars.

KEYWORDS: resistance, bruchids, descriptors, Mexican bean weevil, grain yield.

*Correspondencia: alamz@inca.edu.cu/Fecha de recepción: 21 de febrero de 2022/Fecha de aceptación: 26 de abril de 2023/Fecha de publicación: 20 de julio de 2023.

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Departamento de Genética y Mejoramiento de las Plantas, carretera Tapaste km 3 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, C. P. 32700. ²Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), Dirección de Sanidad Vegetal, Grupo de Plagas Agrícolas, Mayabeque, Cuba.

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la especie leguminosa de grano más importante para el consumo humano. Es un alimento básico en la dieta del pueblo cubano por su alto valor nutricional, asociado a su alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales (Gómez-Basso-Los y col., 2018; Corzo-Ríos y col., 2020); y por constituir un complemento de los cereales, en particular del arroz (*Oryza sativa* L.) (Góngora-Martínez y col., 2020). El frijol es ampliamente cultivado en todo el territorio nacional y forma parte de platos típicos que se consumen a diario en Cuba (Faure y col., 2017).

Este cultivo es frecuentemente atacado por un sinnúmero de plagas, incluyendo las de almacén, las cuales se estima causan del 5 % al 10 % de las afectaciones de la producción mundial (Baldin y Pereira, 2010). Para América Latina se han estimado pérdidas que alcanzan un 35 % del grano de frijol almacenado (Permuy y col., 2008).

En Cuba, se han documentado pérdidas por plagas de almacén de hasta el 38 % (Pérez y col., 2011) y en el cultivo del frijol entre el 5 % y el 10 %, lo que está relacionado con las malas prácticas del manejo postcosecha, el almacenamiento inadecuado y el déficit de insumos necesarios para el manejo de plagas (Rodríguez y col., 2019). Estas pérdidas, por la cantidad de semillas dañadas o por la calidad de las semillas contaminadas con excremento o parte del cuerpo del insecto, pueden incrementarse debido al ataque secundario de microorganismos, tales como, hongos y bacterias; dando como resultado que en los daños causados al grano sean irreversibles (Baldin y Pereira, 2010).

Entre las plagas que atacan a los granos de frijol almacenados, el brúquido *Zabrotes subfasciatus* (Bohem) Coleoptera: Chrysomelidae, es considerado como el de mayor importancia en regiones de climas cálidos, húmedos, con menor altitud sobre el nivel del mar (Gonçalves y col., 2021) condiciones que pre-

valecen en Cuba (Fonseca-Rivera y col., 2019). Este artrópodo se ha considerado como el de mayor frecuencia y abundancia en almacenes de agricultores y entidades de comercio en la isla (Lamz y col., 2021).

La protección de este grano básico constituye una necesidad alimenticia, social y económica. Dentro de las estrategias para el manejo de *Z. subfasciatus*, la resistencia genética, se plantea como una alternativa factible, eficiente, rentable, sustentable, segura para el medioambiente y como la mejor opción para manejar las poblaciones del insecto, particularmente para los pequeños agricultores que generalmente están desprovistos de recursos para aplicar tratamientos efectivos ante el ataque de plagas (Tigist, 2020).

Los cultivares comerciales carecen de resistencia a este artrópodo, por lo que en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) de Cali, Colombia, se han desarrollado líneas de frijol resistentes a *Zabrotes* (RAZ, siglas en inglés: Resistant Against *Zabrotes*), a través de retrocruces de cultivares comerciales con parentales silvestres de *P. vulgaris*, que poseen variantes de arcelina, una proteína de almacenamiento de las semillas, que genera un efecto antibiótico sobre la biología y la supervivencia del insecto (Cardona y col., 1990). Diferentes investigaciones han confirmado la resistencia de las líneas RAZ, por lo que han sido propuestas como progenitores en los programas de mejoramiento (Tigist y col., 2017; Boiça y col., 2021).

Recientemente, un grupo de líneas RAZ fueron introducidas en Cuba para ser empleadas en el programa de mejoramiento genético del frijol común, ya que se busca obtener variedades con resistencia a *Z. subfasciatus*, y además se requiere conocer sus características morfológicas y agronómicas.

El objetivo del presente estudio fue caracterizar 11 líneas RAZ de frijol común, promisorias por su resistencia al gorgojo mexicano del frijol (*Zabrotes subfasciatus* Boh.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Características edafoclimáticas del área experimental

El experimento se desarrolló en el periodo comprendido entre octubre de 2019 y enero de 2020, en el campo experimental del grupo de Innovación Agrícola Local (IAL), del Departamento de Genética y Mejoramiento de las Plantas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en la localidad de Tapaste, municipio de San José de Las Lajas ($23^{\circ}1'27''$ N y $82^{\circ}8'10''$ W), provincia Mayabeque, Cuba, con una altitud de 120 msnm, en un suelo nitisol ferralítico líxico (Hernández y col., 2014) y un clima tropical subhúmedo.

En la Tabla 1 se muestran las características químicas del suelo en el momento en que se realizó el experimento. La información de las variables climáticas de temperatura, precipitación y humedad relativa provienen de la estación climatológica de Tapaste, ubicada a 350 m del área experimental (Figura 1).

Material vegetal

El material vegetal de la investigación consistió en 11 líneas RAZ introducidas del CIAT, Cali, Colombia, para ser usadas en el programa de mejoramiento genético de resistencia a plagas de almacén en Cuba (Tabla 2).

Desarrollo experimental

Las líneas fueron sembradas manualmente en parcelas de dos hileras de 2 m de longitud separadas a 0.75 m y una distancia entre plantas de 0.08 m. El manejo del cultivo, incluyendo el riego, fertilización y el control de plagas, se hizo según las prácticas recomendadas para este cultivo en Cuba (Faure y col., 2017).

dadas para este cultivo en Cuba (Faure y col., 2017).

Caracterización de las líneas

Se utilizaron 22 caracteres, 11 cuantitativos y 11 cualitativos, de acuerdo con los descriptores de frijol común de Muñoz y col. (1993). Para los caracteres cualitativos se consideró la parcela como la muestra a evaluar (24 plantas).

Carácteres cualitativos

Color predominante de los cotiledones, hipocotilo y de las alas de la flor, hábito predominante de crecimiento del tallo, color predominante de la vaina en la madurez fisiológica, perfil predominante de la vaina, forma predominante del ápice de la vaina, color primario de la semilla (testa), aspecto predominante de la testa, presencia de color alrededor del hilo y forma predominante de la semilla. Para la determinación del color de la semilla se utilizó la tabla de 100 colores descrita por Muñoz y col. (1993).

Carácteres cuantitativos

Días a la germinación (DG), al inicio de la floración (DIF), a la floración (DF), a la madurez fisiológica (DMF) y a la madurez de cosecha (DMC), número de vainas por plantas (NVP), número de granos por vaina (NGV), longitud del grano (LG), ancho del grano (AG), peso de 100 granos (P100G) y rendimiento de grano (RDG).

Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se determinó la frecuencia de aparición de las variantes eva-

■ Tabla 1. Características químicas del suelo en el momento del montaje del experimento.

Table 1. Chemical characteristics of the soil at the time the experiment was set up.

pH (H₂O)	MO (%)	P₂O₅ (mg/100 g)	K₂O (mg/100 g)	Cationes cambiables (cmol/kg)			
				Na	K	Ca	Mg
6.5	2.8	43.30	0.53	Trazas	0.44	12.0	1.5

MO: materia orgánica, P₂O₅: óxido de fósforo, K₂O: óxido de potasio, Na: Sodio, K: potasio, Ca: Calcio, Mg: Magnesio.

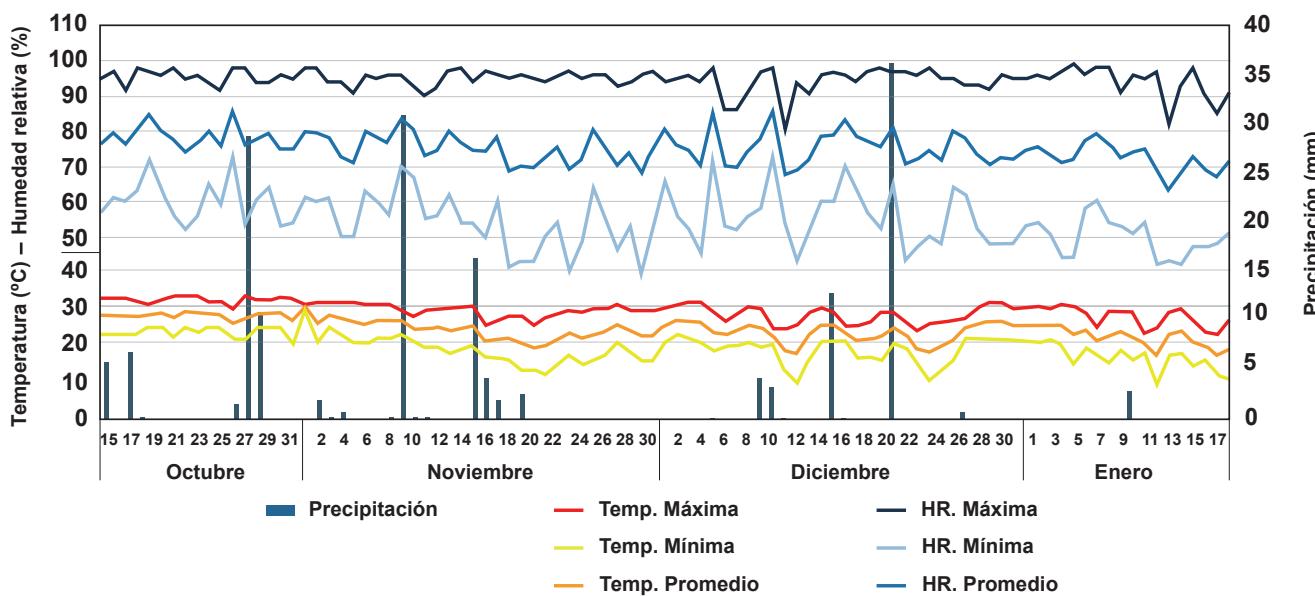


Figura 1. Condiciones climatológicas durante el periodo comprendido entre octubre de 2019 y enero de 2020. Datos de la estación meteorológica de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

Figure 1. Climatological conditions during the period from October 2019 to January 2020. Data from the Tapaste meteorological station, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

luadas para los caracteres cualitativos. En los caracteres cuantitativos se calcularon los estadígrafos básicos media, desviación estándar y coeficiente de variación (CV). Para conocer el aporte agronómico que tendría la introducción de las líneas RAZ al programa de

mejoramiento genético del frijol en Cuba, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con los caracteres cuantitativos y se agruparon las líneas según su relación con cada carácter. Los análisis se realizaron con el uso del Paquete Estadístico para las Cien-

Tabla 2. Líneas RAZ utilizadas en el estudio.

Table 2. RAZ lines used in the study.

No	Línea	Color del grano	Arcelina ^a	Pedigrí
1	RAZ 63	Blanco sucio	2	EMP 175 [EMP 175 (EMP 175 x G12866-ARC 2)]
2	RAZ 64	Crema	2	XAN 105 (EMP 175 x G12866-ARC 2)
3	RAZ 65	Blanco sucio	2	WAF 2 [WAF 2 (WAF 2 x G12866-ARC 2)]
4	RAZ 68	Blanco sucio	2	WAF 2 [WAF 2 (WAF 2 x G12866-ARC 2)]
5	RAZ 82	Café oscuro	1	RAZ 12-4 x XAN 252
6	RAZ 109	Blanco sucio	1	RAZ 1 x CAP 3
7	RAZ 124	Blanco sucio	1	RAZ 2 x EMP 215
8	RAZ 190	Café	5	Talamanca [Talamanca(Talamanca x G02771 Arc5)]
9	RAZ 190S	Negro	5	Talamanca [Talamanca(Talamanca x G02771 Arc5)]
10	RAZ 192	Negro	5	Talamanca [Talamanca(Talamanca x G02771 Arc5)]
11	RAZ 193	Negro	5	Talamanca [Talamanca(Talamanca x G02771 Arc5)]

^aVariante de arcelina. Datos proporcionados por el CIAT.

cias Sociales (SPSS, por sus siglas en inglés: Statistical Package for the Social Sciences) versión 22.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3, se muestra la frecuencia de aparición de los diferentes caracteres cualitativos evaluados en líneas RAZ de frijol común. Estas características corresponden a los descriptores de variedades de frijol y son usadas comúnmente para el análisis de la variabilidad en dicha especie, así como para caracterizar nuevos genotipos que pueden constituir nuevas variedades (Muñoz y col., 1993). De forma general, se pudo apreciar que los 11 descriptores de frijol presentaron 2 o más variantes.

Se detectaron 5 colores primarios de las semillas (Figura 2), siendo el blanco sucio el más frecuente (Tabla 3). En la madurez fisiológica de las plantas se reportaron 4 variantes de color de las vainas, predominando las verdes y amarillas. El aspecto opaco de la testa destacó, se registró en 6 líneas, así como, la ausencia del color alrededor del hilo en 10 de ellas (Tabla 3).

Los colores de los granos de las líneas estudiadas pueden satisfacer las demandas y preferencias de la población cubana, ya que se detectaron algunas de las clases comerciales que se consumen mayoritariamente en la isla, donde habitualmente son más demandados los frijoles con granos de color negro (53 %), menos frecuentemente las diferentes variantes del color rojo (25 %) que incluyen los granos color café, café rojizo, café oscuro y rosado, y solo ocasionalmente los de color blanco (0.5 %) que incluyen al blanco limpio y el blanco sucio (Castiñeiras y col., 1991). Recientemente se reportó que la preferencia del consumo de frijol en Cuba es de 70 % para el color negro, 25 % el color rojo y 5 % colores blanco y crema (Martínez-Medina y col., 2019).

En la Tabla 4, se presentan los estadígrafos básicos obtenidos de la evaluación de los caracteres cuantitativos de las 11 líneas RAZ. Se observó variabilidad para todos los caracte-

res evaluados, con CV de 7.34 % para los días a la madurez de cosecha hasta > 60 % para el rendimiento de grano.

Las variables que presentaron menor variabilidad fueron las de las etapas fenológicas (DIF, DF, DMF y DMC) y las asociadas a la morfometría de la semilla (LG y AG) con CV < 15 %. El resto de las variables mostraron alta variación con CV > 18 %, por lo que estas líneas pudieran contribuir a la variabilidad existente del germoplasma de dicha especie presente en Cuba.

La variación detectada en algunos caracteres es de gran interés en la producción de este grano. Por ejemplo, en el caso particular de los DMC, que oscilaron entre 75 d y 91 d, con una media de 80 d, después del primer riego. Dicha variación intermedia, en el ciclo biológico de los genotipos analizados, puede deberse a la selección que ejercieron los mejoradores y agricultores para este rasgo, durante las etapas de mejora y domesticación del frijol, encaminadas a la obtención de cultivares con mayor desempeño. Los cultivares de ciclo corto (días a la madurez de cosecha entre los 60 d y 75 d después del primer riego) se encuentran entre las preferencias de los agricultores, ya que dicha característica les permite producir más de un ciclo del cultivo en una misma campaña productiva (Lamz y col., 2017a). Además, tienen mayor posibilidad de evadir factores de estrés, imperantes en los ambientes de cultivo, como la sequía o el ataque de plagas (Chaves-Barrantes y col., 2018; Domínguez y col., 2021).

Los valores del tamaño del grano (longitud y ancho del grano) y el peso promedio de 100 granos, correspondieron a la categoría de grano pequeño (P100G menor 25 g) (Muñoz y col., 1993). Los granos pequeños son más comunes en variedades del acervo genético mesoamericano, al que corresponden las accesiones silvestres de donde se introdujo la resistencia y los progenitores cultivados que fueron utilizados en el desarrollo de las líneas RAZ (Acosta-Gallegos y col., 1998), así como,

■ Tabla 3. Frecuencia de los caracteres cualitativos (descriptores) en líneas de frijol común promisorias por su resistencia ante *Zabrotes subfasciatus*.

Table 3. Frequency of qualitative traits (descriptors) in promising common bean lines for resistance to *Zabrotes subfasciatus*.

Descriptores cualitativos	Variantes		Líneas (n)	RAZ	Frecuencia (%)
Color predominante de los cotiledones	1	Verde	6	63, 64, 65, 68, 109 y 124	54.55
	2	Morado	4	190, 190S, 192 y 193	36.37
	3	Verde con pigmento rosado	1	82	9.10
Color predominante del hipocotilo	1	Verde	7	63, 64, 65, 68, 82, 109 y 124	63.63
	2	Morado	4	190, 190S, 192 y 193	36.36
Color predominante de las alas de la flor	1	Blanca	7	63, 64, 65, 68, 82, 109 y 124	63.63
	2	Morado	4	190, 190S, 192 y 193	36.36
Hábito predominante de crecimiento del tallo	1	Arbustivo indeterminado	7	82, 109, 124, 190, 190S, 192 y 193	36.36
	2	Postrado indeterminado	4	63, 64, 65, 68	63.63
Color predominante de la vaina en la madurez fisiológica	1	Verde	4	63, 65, 109 y 192	36.36
	2	Amarilla	4	64, 68, 82 y 193	36.36
	3	Morado	1	190	9.09
	4	Amarilla con pigmento morado	2	124 y 190S	18.18
Perfil predominante de la vaina	1	Medianamente curvo	8	63, 65, 82, 109, 124, 190, 190S y 192	72.73
	2	Curvado	1	64 y 193	18.18
	3	Recto	2	68	9.09
Forma predominante del ápice de la vaina	1	Puntiagudo	7	63, 64, 65, 68, 82, 109 y 193	63.64
	2	Romo	4	124, 190, 190S y 192	36.36
Color primario de la semilla	1	Blanco sucio	5	63, 65, 68, 109 y 124	45.45
	2	Crema	1	64	9.09
	3	Café	1	190S	9.09
	4	Café oscuro	1	82	9.09
	5	Negro	3	190, 192 y 193	27.27
Aspecto predominante de la testa	1	Opaco	6	63, 64, 68, 190, 192 y 193	54.54
	2	Intermedio	2	109, 124,	18.18
	3	Brillante	3	65, 68 y 82	27.27
Presencia de color alrededor del hilo	1	Sin colorear	10	63, 65, 68, 82, 109, 124, 190, 190S, 192 y 193	90.90
	2	Coloreado	1	64	9.09
Forma predominante de la semilla	1	Ovoide	8	63, 64, 65, 82, 190, 190S, 192 y 193	72.72
	2	Elíptica	21	109, 124	18.18
	3	Alargada, ovoidea	1	68	9.09

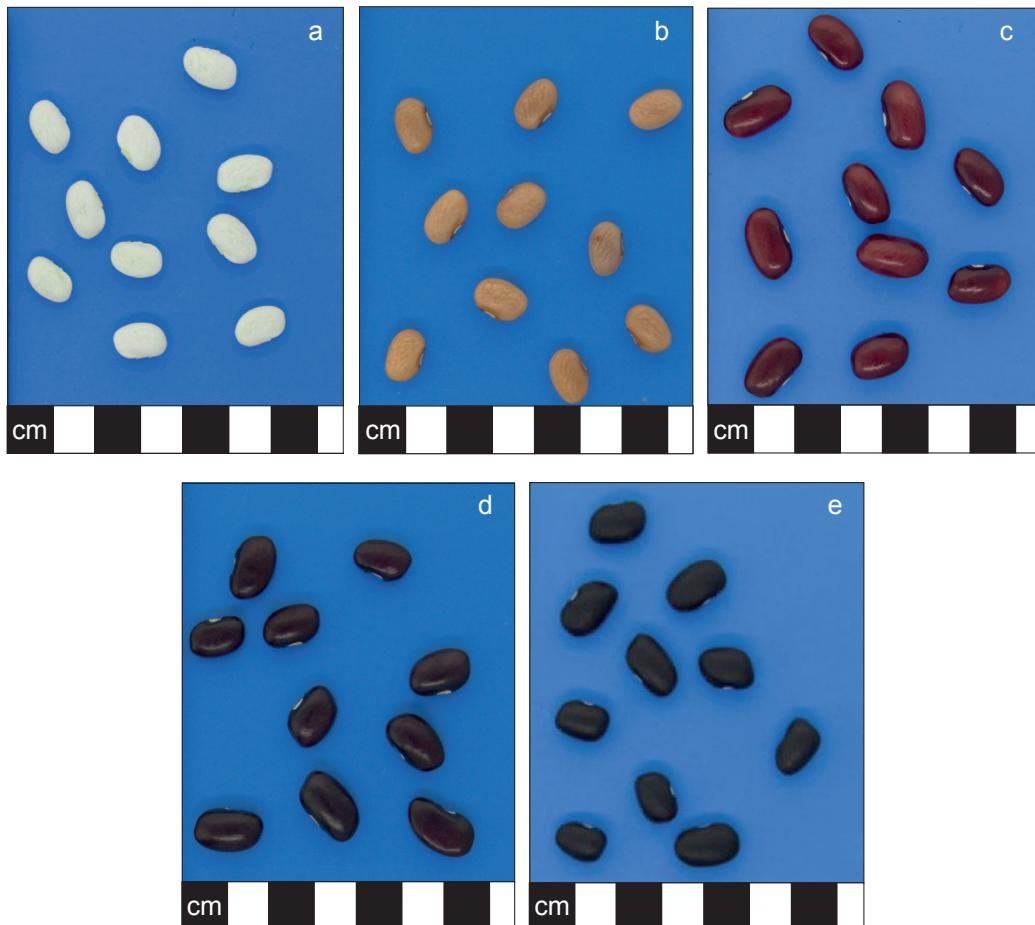


Figura 2. Ejemplos representativos de las categorías detectadas para el color predominante de la testa de la semilla (a: blanco sucio; b: crema; c: café, d: café oscuro; e: negro). Las cuadrículas de blanco y negro debajo de las figuras indican 1 cm.

Figure 2. Representative examples of the categories detected for the predominant color of the seed coat (a: dirty white; b: cream; c: brown; d: dark brown; e: black). The black and white grids below the figure indicate 1 cm.

los cultivares mejorados que se han empleado para la introgresión de la resistencia (Cardona y col., 1990). Sin embargo, el tamaño pequeño de las semillas puede ser favorable para la aceptación de estos materiales en Cuba, por ser una característica preferida por los consumidores en casi toda la isla (Lamz y col., 2017b).

El rendimiento frecuentemente es un indicador selectivo por los agricultores, ya que está asociado a los beneficios económicos a obtener (Lamz y col., 2017b). En el presente estudio, el rendimiento promedio de las líneas osciló entre 702 kg/ha y 4 237 kg/ha, por lo que fueron

superiores a los informados por Assefa (2010), que refirió rendimientos de hasta 2.1 T/ha en estas líneas, lo que indica que es posible identificar líneas que, además de mostrar resistencia a *Z. subfasciatus*, puedan ser seleccionadas por su mayor rendimiento y constituir nuevos cultivares comerciales, para ser introducidos en las condiciones agroclimáticas de Cuba y como progenitores en el programa de mejoramiento.

También es de gran importancia, destacar los hábitos de crecimiento arbustivo indeterminado (tipo 2) y postrado indeterminado (tipo 3) detectados en las líneas evaluadas, que son los

■ Tabla 4. Estadígrafos de los caracteres cuantitativos (descriptores) evaluados a líneas de frijol promisorias por su resistencia a *Z. subfasciatus*.

Table 4. Descriptive statistics of quantitative traits (descriptors) evaluated on promising bean lines for resistance to *Z. subfasciatus*.

Descriptores	Estadígrafos				
	Media	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)
Días a la germinación (DG)	5.55	7.00	4.00	1.04	18.67
Días al inicio de floración (DIF)	29.27	35.00	24.00	4.10	14.01
Días a la floración (DF)	35.27	41.00	28.00	4.45	12.62
Días a la madurez fisiológica (DMF)	69.73	83.00	60.00	6.74	9.66
Días a la madurez de cosecha (DMC)	80.45	91.00	75.00	5.91	7.34
Número de vainas por planta (NVP)	18.80	33.50	9.00	9.76	51.91
Número de granos por vaina (NGV)	4.80	6.00	3.00	1.04	21.75
Longitud de grano (mm) (LG)	9.89	12.99	8.02	1.48	14.957
Ancho de grano (mm) (AG)	6.20	6.82	4.89	0.64	10.32
Peso de 100 granos (g) (P100G)	21.41	33.40	13.10	5.95	27.79
Rendimiento (kg/ha) (RDG)	1685.98	4 237.75	702.00	1 012.63	60.06

más frecuentes entre los cultivares cubanos (Castiñeiras y col., 1991). El tipo 2 es el más utilizado por sus ventajas para ser sembrado en áreas donde se pueden presentar encharcamientos en las siembras tempranas, en las que el régimen pluviométrico es alto. Recientemente, se ha incrementado el interés de los productores en este tipo de planta por el deseo de retomar y generalizar las cosechas mecanizadas en los grandes polos productivos (Lamz y col., 2017a).

El conocimiento de la variabilidad identificada, tanto en los caracteres cualitativos como en los caracteres cuantitativos, resulta de gran interés para la introducción de los nuevos materiales en Cuba, ya que, en este caso, permiten incorporar líneas con caracteres deseables que pueden aportar a la diversidad del germoplasma cubano de la especie.

Debido a que la resistencia a *Z. subfasciatus* de las líneas RAZ proviene de genotipos de *P. vulgaris* silvestres, es necesario que estas sean caracterizadas en las condiciones agroclimáticas de los sistemas agrícolas donde serán

producidas, ya que los progenitores silvestres usados como parentales pueden mostrar menor rango de adaptación y afectar la descendencia. Durante la domesticación de esta especie se ha influenciado en características de la planta, como su ciclo biológico, estructura de la planta y resistencia a enfermedades, para ampliar la adaptabilidad a condiciones específicas a la diversidad de ambientes destino que tiene una variedad (Soto y col., 2005) como se puede apreciar en las líneas RAZ, que tienen una parte importante de cultívares comerciales en su genoma, debido al método de mejora (retrocruzamiento) que se ha utilizado para su desarrollo (Tabla 2).

En los ACP para los caracteres cuantitativos evaluados en las líneas de frijol, los 2 primeros componentes explicaron el 61.82 % de la variabilidad total observada. El componente 1 explicó el 40.40 %, y el componente 2 el 21.42 % (Tabla 5). Las variables que más contribuyeron al primer componente fueron DIF, DF, DMF y DMC, asociadas al ciclo biológico; mientras que, en el componente 2 lo fueron los caracteres del grano (LG, AG y P100G) y el NGV.

- Tabla 5. Porcentaje de contribución de los valores en la conformación de los componentes principales para los caracteres cuantitativos (descriptores) en 11 líneas de frijol RAZ resistentes a *Zabrotessubfasciatus*.

Table 5. Percentage contribution of values in the conformation of principal components for quantitative traits (descriptors) in 11 RAZ bean lines resistant to *Zabrotessubfasciatus*.

Descriptores	Porcentaje de la varianza explicada por los componentes principales	
	1	2
Días a la floración (DF)	-0.44	0.12
Días a la germinación (DG)	0.22	-0.06
Días al inicio de floración (DIF)	-0.44	0.16
Días a la madurez cosecha (DMC)	-0.38	-0.08
Días a la madurez fisiológica (DMF)	-0.41	0.002
Longitud de grano (mm) (LG)	0.10	0.53
Ancho de grano (mm) (AG)	0.12	0.48
Peso de 100 granos (g) P100G	0.22	0.49
Número de granos por vaina (NGV)	0.15	-0.39
Número de vainas por planta (NVP)	0.25	-0.14
Rendimiento (kg/ha) (RDG)	0.25	-0.06
Porcentaje de contribución	40.40	21.42
Contribución total		61.82

A partir de la distribución espacial del ACP se pudieron conformar cuatro grupos bien definidos que caracterizan el comportamiento de las líneas en estudio (Figura 3).

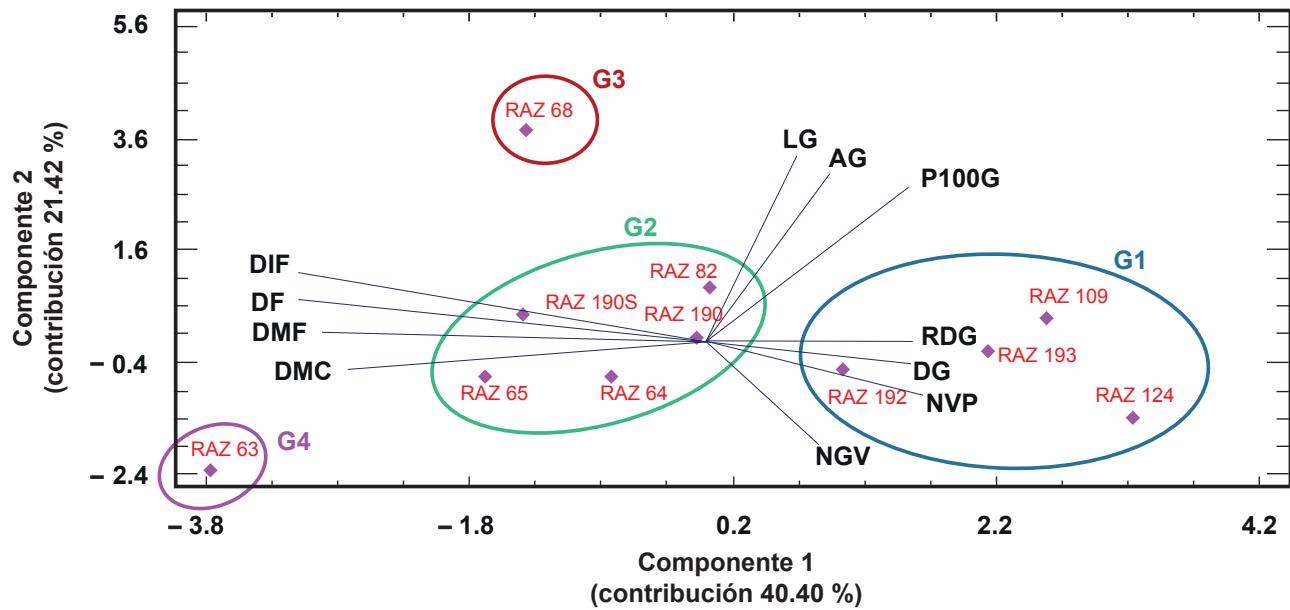
En el grupo 1 (G1) se incluyen las líneas 'RAZ 124', 'RAZ 109', 'RAZ 193' y 'RAZ 192', el cual presentó el mayor RDG (2 327 kg/ha), el mayor NVP (25.38); y de forma general, con excepción de los DG, las demás variables fenológicas relacionadas con el ciclo biológico en este grupo fueron menores, lo que indica mayor precocidad de dichas líneas (Tabla 6). Es de destacar que el G1 incluye la línea 'RAZ 124', que presentó el mayor rendimiento (4 237 kg/ha). En Cuba se estima una producción anual de 100 000 T con rendimientos promedio que varián entre 1.04 T/ha y 1.19 T/ha (Martínez-Medina y col., 2019).

RAZ 109 presentó gran similitud en las características de NVP y NGV respecto a RAZ 124, además de presentar mayores dimensiones en cuanto a LG y AG, por lo que el grano es más pesado. Sin embargo, su rendimiento fue mu-

cho menor. Esto puede deberse al método de muestreo, ya que la técnica recomienda evaluar las vainas que se encuentran en el cuarto nudo de la planta, por lo que la diferencia podría deberse a un llenado diferente de las vainas superiores o inferiores en dicha línea. Otra explicación factible sería la presencia de enfermedades no detectadas en el estudio. Este aspecto debe considerarse en futuras investigaciones.

En el grupo 2 (G2) se incluyen las líneas 'RAZ 190S', 'RAZ 82', 'RAZ 65', 'RAZ 64' y 'RAZ 190', que presentaron un RDG > 1 000 kg/ha, con excepción de las líneas 'RAZ 190' y 'RAZ 64' (792 kg/ha y 879 kg/ha, respectivamente). En este grupo, el ciclo biológico fue relativamente mayor que en el G1 y se destacó la línea 'RAZ 65' con RDG de 2 244.0 kg/ha".

Los grupos 3 (G3) y 4 (G4) estuvieron conformados por las líneas 'RAZ 68' y 'RAZ 63', respectivamente. 'RAZ 68' mostró alto rendimiento (1 787.50 kg/ha), pero presentó, relativamente, un mayor ciclo biológico (DIF, DF, DMF



■ Figura 3. Representación bidimensional del análisis de componentes principales en líneas de frijol común resistentes a *Zabrotes subfasciatus*.
 Figure 3. Two-dimensional representation of principal component analysis in common bean lines resistant to *Zabrotes subfasciatus*.

■ Tabla 6. Valores medios de los caracteres cuantitativos (descriptores) estudiados en líneas de frijol común y grupos formados a partir del análisis de componentes principales.
 Table 6. Mean values of the quantitative traits (descriptors) studied in common bean lines and groups formed from principal component analysis.

Grupo	Línea	DG	DIF	DF	DMF	DMC	NVP	NGV	LG (mm)	AG (mm)	P100G (g)	RDG (kg/ha)
G1	RAZ 124	6	24	29	60	76	33.50	5.50	10.11	5.40	23.20	4 237.75
	RAZ 109	6	24	28	68	75	33.00	5.30	10.28	6.50	30.50	1 142.0
	RAZ 193	7	24	30	65	75	14.50	5.50	10.71	6.27	21.60	1 674.75
	RAZ 192	6	27	35	65	79	20.50	5.50	8.63	6.82	20.20	2 255.0
	Promedio	6.25	24.75	30.50	64.50	76.25	25.38	5.45	9.93	6.25	23.88	2 327.38
G2	RAZ 190S	6	31	38	74	85	17.0	3.50	9.61	6.53	18.30	1 071.0
	RAZ 82	4	31	38	65	77	13.33	6.00	11.62	6.65	22.20	1 760.0
	RAZ 65	5	32	38	77	91	33.0	4.00	9.43	5.89	17.10	2 244.0
	RAZ 64	4	30	36	66	76	11.50	4.50	8.80	5.72	17.20	879.75
	RAZ 190	7	29	35	69	78	11.0	4.00	8.54	6.71	18.70	792.0
G3	Promedio	5.73	27.68	33.75	67.35	78.83	21.27	4.93	9.77	6.27	21.29	1 838.36
	RAZ 68	5	35	40	75	83	10.50	3.00	12.99	6.80	33.40	1 787.50
G4	RAZ 63	5	35	41	83	90	9.0	6.0	8.02	4.89	13.10	702.0

DG (días a la germinación), DIF (días al inicio de la floración), DF (días a la floración), DMF (días a la madurez fisiológica), DMC (días a la madurez de cosecha), NVP (número de vainas por planta), NGV (número de granos por vaina), LG (longitud del grano), AG (ancho del grano), P100G (peso de 100 granos), RDG (rendimiento).

y DMC) que las de los grupos G1 y G2. Sin embargo, el descriptor DMC está acorde a lo preferido por los productores de dicho grano en Cuba (Lamz y col., 2017a), por lo que este carácter no limita la selección del genotipo “RAZ 68”.

La línea ‘RAZ 63’ (G4) presentó el RDG más bajo (702 kg/ha), entre todas las líneas evaluadas; asimismo, su ciclo biológico fue el más largo con 90 d a la DMC y un P100G muy bajo (13.10 g), siendo el material de menor aporte agronómico.

Basándose en las características morfoagronómicas y el comportamiento agronómico general de las líneas RAZ, es posible el uso de todas ellas en el programa de mejora nacional para conferir resistencia a *Z. subfasciatus*. Destaca el hecho de no haberse identificado caracteres indeseables en ninguna línea, en tanto que, los caracteres relacionados con la aceptación de los consumidores (color y tamaño de los granos) y productores (hábitos de crecimiento, ciclo biológico y rendimiento) están acorde a los demandados por la población cubana. Las líneas del grupo G1 (‘RAZ 124’, ‘RAZ 109’, ‘RAZ 193’ y ‘RAZ 192’) son de interés particular por su rendimiento y precocidad, en tanto que las líneas del G2 (‘RAZ 190S’, ‘RAZ 82’ y ‘RAZ 65’) y G3 (‘RAZ 68’) son por su rendimiento. Es recomendable que todas

sean evaluadas en ensayos de rendimiento para condiciones climatológicas y agronómicas específicas de las diferentes regiones del país, considerando otros aspectos de interés, que incluyen, la resistencia a factores limitantes bióticos (como los causados por los virus del mosaico dorado amarillo, bacteriosis común y otras enfermedades importantes), y la adaptación a condiciones de estrés hídrico y altas temperaturas, problemas causados por el cambio climático, para definir el potencial varietal.

CONCLUSIONES

Las líneas RAZ presentaron características morfoagronómicas deseables para ser empleadas en el programa de mejoramiento genético de Cuba, por su resistencia a *Z. subfasciatus*. Se destacan los caracteres color primario y tamaño de las semillas que están acorde a las demandas por los consumidores, los hábitos de crecimiento, el ciclo biológico, el rendimiento y sus componentes que corresponden a las demandas de los productores. Las líneas sobresalientes son las del grupo 1 (‘RAZ 124’, ‘RAZ 109’, ‘RAZ 193’ y ‘RAZ 192’) el cual presentó el mayor rendimiento, número de vainas por plantas y precocidad en general, por lo que estas líneas pueden ser evaluadas en ensayos regionales de rendimiento previo a ser consideradas para su liberación como nuevos cultivares.

REFERENCIAS

- Acosta-Gallegos, J. A., Quintero, C., Vargas, J., Toro, O., Tohme, J., and Cardona, C. (1998). A new variant of arcelin in wild common bean, *Phaseolus vulgaris* L., from southern Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 45(3): 235-242.
- Assefa, T. (2010). Selection for drought and bruchid resistance of common bean populations. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/46574708_Selection_for_drought_and_bruchid_resistance_of_common_bean_populations. Fecha de consulta: 31 de enero de 2022.
- Baldin, E. L. L. and Pereira, J. M. (2010). Resistência de genótipos de feijoeiro a *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann, 1833) (Coleoptera: Bruchidae).
- Ciência Agrotecnologia. 34(6):1507-1513.
- Boiça, A. L., Ivo, W., Oliveira, R., Louvandini, H., Marconato, M., and Morais, S. A. (2021). Resistance of *Phaseolus vulgaris* genotypes to *Zabrotes subfasciatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae): Categories and mechanisms. *International Journal of Tropical Insect Science*. 41(2): 1611-1621.
- Cardona, C., Kornegay, J., Posso, C. E., Morales, F., and Ramirez, H. (1990). Comparative value of four arcelin variants in the development of dry bean lines resistant to the Mexican bean weevil. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 56: 197-206.
- Castiñeiras, L., Esquivel, M., Lioi, L., and Hammer, K. (1991). Origin, diversity and utilization of the

- Cuban germplasm of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica*. 57(1): 1-8.
- Chaves-Barrantes, N. F., Polanía, J. A., Muñoz-Perea, C. G., Rao, I. M. y Beebe, S. E. (2018). Caracterización fenotípica por resistencia a sequía terminal de germoplasma de frijol común. *Agronomía Mesoamericana*. 29(1): 1-17.
- Corzo-Ríos, L. J., Sánchez-Chino, X. M., Cardador-Martínez, A., Martínez-Herrera, J., and Jiménez-Martínez, C. (2020). Effect of cooking on nutritional and non-nutritional compounds in two species of *Phaseolus* (*P. vulgaris* and *P. coccineus*) cultivated in Mexico. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 20: 1-7.
- Domínguez, A., Darias, R., Martínez, Y., Sosa, M. y Sosa, D. (2021). Selección de variedades de frijol común rojo (*Phaseolus vulgaris* L.), tolerantes a la sequía en diferentes condiciones de riego en campo. *Bionatura*. 6(1): 1473-1477.
- Faure, B., Benítez, R., García, A. y Ortega, L. (2017). *Manual para la producción sostenible del frijol común*. Artemisa, Cuba: Instituto de Investigaciones de Granos, MINAG. 30 Pp.
- Fonseca-Rivera, C., Alpizar-Tirzo, M., Hernández-González, D., González-García, I. T., Cutié-Cancino, V., Valderá-Figuero, C. C., ... y Pérez-Suárez, R. (2020). Estado del Clima en Cuba 2019. Resumen ampliado. *Revista Cubana de Meteorología*. 26(4).
- Gomes-Basso-Los, F., Zielinski, A. A. F., Wojciechowski, J. P., Nogueira, A., and Demiate, I. M. (2018). Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Whole seeds with complex chemical composition. *Current Opinion in Food Science*. 19: 63-71.
- Gonçalves, G. L. P., Lira, S. P. D., GlSSI, D. S., and Vendramim, J. D. (2021). Bioactivity of extracts from solanaceae against *Zabrotes subfasciatus*. *Acta Biológica Colombiana*. 26(1): 62-71.
- Góngora-Martínez, O., Rodríguez-Fernández, P. A. y Castillo-Ferrer, J. (2020). Comportamiento agro-nómico de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en las condiciones edafoclimáticas del municipio Songo-La Maya, Santiago de Cuba, Cuba. *Ciencia en su PC*. 1: 31-45.
- Hernández, J. A., Morales, D. M., Borges, B. Y., Vargas, V. D., Cabrera, R. A., Ascanio, G. M. O., ... y González, C. P. J. (2014). *Degradación de las propiedades de los suelos Ferrálíticos Rojos lixiviados de la Llanura Roja de la Habana por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento*. Mayabeque, Cuba: INCA, MES. 156 Pp.
- Lamz, A., Cárdenas, R. M., Ortiz, R., Eladio, L. y Sandrino, A. (2017a). Evaluación preliminar de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) promisorios para siembras tempranas en Melena del Sur. *Cultivos Tropicales*. 38(4): 111-118.
- Lamz, A., Cárdenas, R. M., Ortiz, R., Hernández, R. y Alfonzo, L. E. (2017b). Efecto de la selección participativa de variedades en la identificación de genotipos sobresalientes de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Centro Agrícola*. 44(4): 65-74.
- Lamz, A., Florido, M., Morales, A., Mederos, A., Suris, M. y Peteira, B. (2021). Frecuencia y abundancia predominante en condiciones de campo y almacén entre *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) y *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Chrysomelidae) en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de Protección Vegetal*. 36(2).
- Martínez-Medina, S. J., Gil-Díaz, V. D. y Colás-Sánchez, A. (2019). *Regionalización de variedades de frijol común en la provincia de Villa Clara*. Centro de Investigaciones Agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Cuba: Editorial Feijóo. 112 Pp.
- Muñoz, G., Giraldo, G. y de-Soto, J. F. (1993). *Descriptores varietales: Arroz, frijol, maíz, sorgo*. Cali, Colombia: CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 169 Pp.
- Pérez, E., Miralles, L., Hernández, G., Navarro, A. y Almaguel, L. (2011). *Implementación del manejo integrado de plagas con la inclusión de transferencias tecnológicas en almacenes, silos, instalaciones industriales y transportación de alimentos como alternativa al bromuro de metilo en Cuba*. La Habana, Cuba: CIDISAV. 62 Pp.
- Permut, N., Chaveco, O., González, J., García-Sánchez, E. y Hidalgo-Figueroa, N. (2008). Pérdidas de grano de frijol común en un sistema de almacenamiento tradicional. *Agricultura Técnica en México*. 34(1): 91-100.
- Rodríguez, H., Acutín, Y., Fernández, N., Suris, M., Ramírez, S., Miranda, I. y Pino, O. (2019). Percepción de productores de granos del municipio Guanabacoa, Cuba, sobre la incidencia de las plagas de almacén. *Revista de Protección Vegetal*. 34(1): 1-6.
- Soto, J. L. L., Corral, J. A. R., González, J. D. J. S. y Ildefonso, R. L. (2005). Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp) en la República Mexicana. *Revista Fitotecnia Mexicana*.

28(3): 221-230.

Tigist, S. G. (2020). Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and the Bean Bruchid (*Zabrotes subfasciatus*): A Review. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*. 7(11): 21-31.

Tigist, S. G., Melis, R., Sibiya, J., and Keneni, G. (2017). Evaluation of different ethiopian common bean, *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) genotypes for host resistance to the mexican bean weevil, *Zabrotes subfasciatus* (Coleoptera: Bruchidae). *International Journal of Tropical Insect Science*. 1-15.