

Artículo científico

Incrementación de semilla de 26 líneas mutantes de frijol común rojo (*Phaseolus vulgaris* L.), San Luis Talpa, La Paz, El Salvador**Rodríguez-Gracias, O.A.**

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia.

Ángel-Molina, J.X.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia.

Vásquez-Osegueda, E.A.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia.

Molina-Escalante, M.O.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Estación Experimental y de Prácticas.

Parada-Flores, H.M.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia.

Orellana-Martínez, K.Z.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia.

Parada-Berrios, F.A.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia.

RESUMEN**ABSTRACT**

Con el objetivo de incrementar la semilla de 26 líneas mutantes de frijol común rojo (*Phaseolus vulgaris* L.), se establecieron en el periodo de noviembre 2020 a febrero 2021 dos parcelas de 90 m² en el lote «La Bomba» de la Estación Experimental y de Prácticas (EEP) de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador en San Luis Talpa, La Paz. El diseño de siembra, de cada línea, fue en surcos de 5 metros de largo y una distancia entre surcos de 0.40 m y entre planta de 0.05 m, lo cual representa una densidad de 500,000 plantas. ha⁻¹. Todas las semillas de las líneas fueron tratadas con Nano gro®, antes de la siembra, exceptuando el testigo. Para el desarrollo adecuado de las diferentes líneas se realizaron buenas prácticas de manejo entre ellas el control de malezas, riego, fertilización, control de plagas y enfermedades. Se aplicaron métodos estadísticos descriptivos, análisis de correlación de Pearson, análisis de conglomerados, análisis de componentes principales (ACP) y análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA). A las variables que resultaron significativas en el ANOVA, se les aplicó la prueba estadística de comparación múltiple de medias de Tukey. Todo el análisis se realizó con un nivel de significancia estadística (alfa) α del 5 % (0.05) y mediante la utilización de hojas de cálculo de Microsoft Excel y el programa estadístico SPSS® 25 e Infostat® 2020. En conclusión, se cuenta con material genético incrementado de las 26 líneas mutantes de frijol común rojo (*Phaseolus vulgaris* L.), sembrado en época no tradicional bajo condiciones climáticas con temperaturas mínimas promedio de 22.3 °C y máximas promedio de 33 °C a 50 m s. n. m. De las 26 líneas mutantes de frijol común rojo en estudio, las líneas M09ST16 y M09ST14 presentaron el mejor rendimiento y 14 líneas reportaron rendimientos mayores a los 25 qq ha⁻¹, superando el promedio nacional de producción de grano de 12 a 17 qq. ha⁻¹ y el rendimiento promedio de semilla de 37 qq.ha⁻¹.

With the aim of increasing the seed of 26 mutant lines of red common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), two 90 m² plots were established in the «La Bomba» lot of the Experimental and Practice Station (EEP) of the Faculty of Agricultural Sciences, University of El Salvador in San Luis Talpa, La Paz, from November 2020 to February 2021. The sowing design of each line was in furrows 5 meters long and a distance between furrows of 0.40 m and between plants of 0.05 m, which represents a density of 500,000 plants. ha⁻¹. All seeds of the lines were treated with Nano gro®, before sowing, except for the control. For the proper development of the different lines, good management practices were carried out, including weed control, irrigation, fertilization, pest and disease control. Descriptive statistical methods, Pearson correlation analysis, cluster analysis, Principal Component Analysis (PCA) and Analysis of Variance (ANOVA) were applied under a Randomized Complete Block Design (DBCA). The variables that were significant in the ANOVA were subjected to the Tukey multiple comparison statistical test of means. The entire analysis was carried out with a statistical significance level (alpha) α of 5% (0.05) and through the use of Microsoft Excel spreadsheets and the statistical program SPSS® 25 and Infostat® 2020. In conclusion, there is increased genetic material from the 26 mutant lines of red common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), planted in a non-traditional season under climatic conditions with average minimum temperatures of 22.3 °C and average maximum temperatures of 33 °C at 50 meters above sea level. Of the 26 common red bean mutant lines studied, lines M09ST16 and M09ST14 had the best yield and 14 lines reported yields greater than 25 qq ha⁻¹, exceeding the national average grain production of 12 to 17 qq. ha⁻¹ and the average seed yield of 37 qq.ha⁻¹.

Keywords: Basic grains, Legumes, Plant breeding, Climate change.**ACCESO ABIERTO****Título en inglés:****Seed increase of 26 mutant lines of common red bean (*Phaseolus vulgaris* L.), in the month of November, San Luis Talpa, La Paz, El Salvador****Correspondencia:**

oscar.gracias@ues.edu.sv

Presentado:

21 de septiembre de 2024

Aceptado:

20 de noviembre de 2024



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

Palabras claves: Granos básicos, Leguminosas, Mejoramiento de plantas, Cambio climático.

INTRODUCCIÓN

El frijol es una leguminosa cuyo grano es una fuente de alimentación proteica de gran importancia en la dieta de poblaciones de bajos recursos. Este grano contiene 22 % de proteínas de alta digestibilidad; es un alimento de elevado valor energético, con aproximadamente 70 % de carbohidratos totales y además aporta cantidades importantes de minerales (Ca, Mg, Fe), vitaminas A, B1 (Tiamina), B2 (riboflavina), y C (ácido ascórbico), también, es importante porque al ser una leguminosa, tiene la cualidad de realizar la actividad simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (*Rhizobium phaseoli*) y así contribuye gratuitamente a mejorar la fertilidad de los suelos (CIT, 2006). El frijol común presenta dos centros de origen, que constituyen los acervos genéticos: el Mesoamericano, que comprende América Central y México, y el Andino, que incluye las montañas andinas de América del Sur (Singh *et al.* 1991).

Las densidades de plantas a menudo se traducen en altos rendimientos de frijol seco. Sin embargo, siempre es importante determinar el punto de disminución de los rendimientos marginales con respecto al aumento de la densidad de las plantas en los cultivos. Además, las densidades óptimas pueden variar en diferentes entornos, ya que a menudo se recomiendan densidades más bajas para las plantas limitadas (Majd Nasari, 2011).

La densidad de siembra depende de varios factores; entre los más importantes están la fertilidad del suelo, humedad disponible, porcentaje de germinación y características agronómicas de la variedad. En zonas donde los suelos son fértiles y la lluvia es abundante, deberá sembrarse una mayor cantidad de semilla que en los suelos medianamente pobres y con lluvias escasas y erráticas. Las variedades mejoradas soportan mayor densidad de población en comparación con las variedades criollas. Además, el grano debe quedar a una profundidad de cinco centímetros para que tenga la suficiente humedad para germinar (Esqueda *et al.*, 2016; Faure *et al.*, 2013).

En frijol, las densidades de siembra y la distribución de las plantas en el terreno, dependen de las características de desarrollo de la variedad (altura y ramificación de la planta) y con los factores ambientales (suelo, precipitación, temperatura, entre otros), lo que hace que una densidad y distribución de plantas óptima para una variedad, no sea la mejor para otra, sobre todo si estas difieren en su hábito de crecimiento y precocidad. En general, se recomienda sembrar las plantas de frijol, con distancias de 1- 1,2 m entre surcos, teniendo una densidad de población de 40000 y 50000 plantas. ha⁻¹ (Padilla *et al.*, 2003).

Uno de los factores que más está afectando su producción es el cambio climático; fenómeno responsable no solo del aumento de la temperatura global, sino también de los aumentos o disminuciones de las precipitaciones en regiones específicas. La escasez de agua tiene un impacto negativo en la producción agrícola. Las plantas de los cultivos no pueden crecer sin agua, es esencial para cada una de las etapas del desarrollo del cultivo, desde la germinación hasta el crecimiento vegetativo y los periodos reproductivos (desarrollo de semillas y frutos). Los cambios en las precipitaciones pueden afectar todas las etapas de la producción en todas las regiones climáticas, áridas, templadas, tropicales, etc. (Jankuloski *et al.*, 2021).

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) crece en temperaturas promedio que oscilan de 15 a 27 °C, con una óptima de 25 °C. Según Masaya y White

(1991), el crecimiento vegetativo responde a un intervalo de temperaturas críticas (básica, óptima y máxima) en función de los requerimientos de calor necesarios para el desarrollo. Las temperaturas altas incrementan la producción de yemas y flores, pero también la abscisión de botones florales, flores y vainas (Monterroso y Wien, 1990). Cuando el estrés por calor incide en prefloración, sus efectos posteriores son más severos, como caída de vainas pequeñas y reducción del número de semillas, pero sin afectar al peso de semilla, en comparación con la incidencia en post-floración (Agtunong *et al.*, 1992).

Existe el mejoramiento moderno de plantas convencionales, con el uso del ADN recombinante y por inducción mutagénica, este ha tenido resultados satisfactorios desde el lanzamiento de la variedad «tabaco verde claro» liberada en Indonesia en la década de 1930 como la primera variedad mutante inducida. El énfasis en el mejoramiento genético utilizando mutaciones se ha dirigido principalmente a los cultivos anuales, autógamos, propagados por semillas, siendo ideales para la inducción de mutaciones, por ser especies de ciclos de vida cortos, obteniendo variedades con características deseables en el corto plazo. Por lo tanto, los primeros éxitos se obtuvieron en cultivos como el arroz, la cebada y el tabaco, y estos se han mantenido desde entonces (Spencer *et al.*, 2021).

González Cepero (2021), realizó una investigación sobre selección de mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes a las altas temperaturas, para ello utilizaron semillas de la variedad BAT 93 que es susceptible a las altas temperaturas, así como la variedad cubana Velazco, las cuales fueron irradiadas con diferentes dosis de rayos gamma de ⁶⁰Co para determinar su radiosensibilidad y seleccionar las dosis a emplear. Las dosis seleccionadas fueron 100 y 200 Gy y se realizó la selección individual a partir de la M2 en los meses de mayor temperatura (agosto-septiembre). Se identificaron mutantes de las variedades BAT-93 y Velazco que superan en número de vainas, de granos, y de rendimiento por planta a sus respectivos donantes.

La Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador en 2009, con el apoyo de la Agencia Internacional de Energía Atómica, inició el mejoramiento de dos variedades de frijol, preferidas por la población debido a su sabor y color: sangre de toro y rojo de seda. El objetivo de mejorar ambas variedades fue encontrar la tolerancia a la sequía. Para determinar la dosimetría se evaluaron dosis de irradiación de 0, 100, 200, 300 y 400 Gy. Finalmente, se procedió a las conversiones respectivas para cada variedad, quedando de la siguiente manera: rojo de seda 170 Gy con 6.77 minutos, y para sangre de toro 175 Gy con 4.7 minutos de exposición. Las variables medidas fueron altura de epicótilo y la sobrevivencia de las plantas a los 10 días después de la germinación. Y así, año con año se avaluó hasta obtener una M7 (Orellana Núñez *et al.*, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

La incrementación de las líneas mutantes se realizó en el lote «La Bomba» de la Estación Experimental y de Prácticas (EEP), Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de la Paz, a una elevación de 50 metros sobre el nivel del mar con coordenadas geográficas; 13°28'3" latitud norte, 89°05'8" longitud oeste. La siembra se realizó el 27 de noviembre del 2020.

Para la investigación se utilizaron 26 líneas mutantes de frijol y el testigo,

variedad conocida por el donante como «sangre de toro», se sembraron dos parcelas con un área total de 90 m² cada una, el diseño de siembra de cada línea fue en surcos de 5 metros de largo y una distancia entre surcos de 0.40 m y entre planta de 0.05 m, lo cual representa una densidad de 500,000 plantas. ha⁻¹. Todas las semillas de las líneas fueron tratadas con Nano gro®, antes de la siembra, exceptuando el testigo.

Factores Climáticos

El campo experimental se ubica a 50 metros sobre el nivel del mar), con temperaturas mínimas de 22.3 °C y máximas de 33 °C, con una precipitación media anual de 1,7000 mm.

Manejo Agronómico del Cultivo

Para el desarrollo adecuado de las diferentes líneas se realizaron buenas prácticas de manejo entre ellas el control de malezas, riego, fertilización, control de plagas y enfermedades.

Control de Malezas

Se realizó control químico de gramíneas 20 días después de siembra, para eso se aplicó 85 ml de herbicida Fluazifop-p-butil por bomba de 17 litros; asimismo, 28 días después de siembra (DDS) se realizó un segundo control de forma manual de maleza de hoja ancha con la finalidad de reducir la competencia por nutrientes y que la planta de frijol desarrollara según su vigor genético.

Fertilización

Se realizaron dos aplicaciones de fertilizantes, a los 12 y 25 DDS en dosis de 3 y 4 g de fórmula 15-15-15 por planta.

Control de Plagas

Para mantener la sanidad de las plantas se efectuaron dos aplicaciones de insecticida CONNECT® 11,25 SC, a los 10 y 30 días después de siembra con una dosis de 3 ml/galón⁻¹ de agua en cada una.

Fertilización Foliar

Para esta actividad se utilizó Metalosate Multimineral con una dosis de 25 ml por bomba, de mochila de 17 litros, en cada aplicación, la primera a los 16 días después de la siembra y la última 30 días después de la siembra.

Toma de Datos

En la investigación se evaluaron las variables: germinación (%), altura (cm), número total de vainas, peso total de semilla (g), rendimiento (qq).

Análisis Estadístico

Para la organización, procesamiento y análisis de las variables medidas en las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo sangre de toro, se aplicaron métodos estadísticos descriptivos, análisis de correlación de Pearson, análisis de conglomerados, análisis de componentes principales (ACP) y análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño de bloques

completos al azar (DBCA). Previo a la aplicación del ANOVA, se verificó que las variables presentaran un comportamiento normal, aplicando las pruebas de normalidad Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk, en el caso de la homogeneidad de varianzas la prueba de Levene. A las variables que resultaron significativas en el ANOVA, se les aplicó la prueba estadística de comparación de medias de Tukey. Todo el análisis se realizó con un nivel de significancia estadística (alfa) α del 5 % (0.05) y mediante la utilización de hojas de cálculo de Microsoft Excel y el programa estadístico SPSS® 25.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

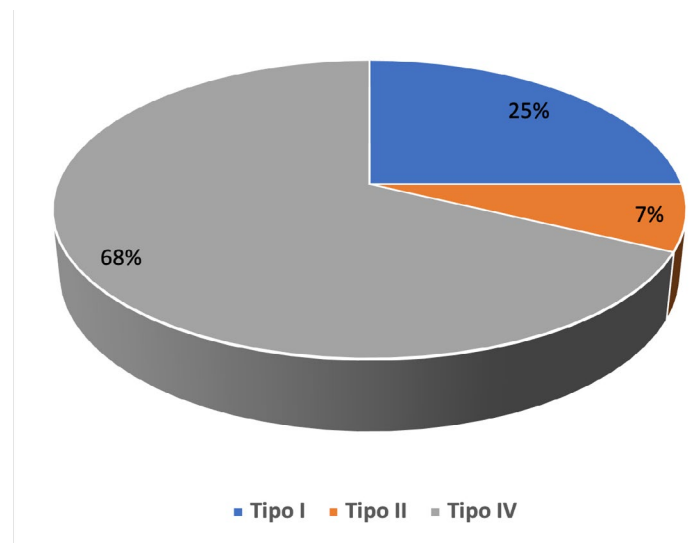
Las 26 líneas mutantes de frijol común rojo (*Phaseolus vulgaris* L.) en M7 y el testigo (sangre de toro) evaluadas bajo las condiciones edafoclimáticas de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES, durante el periodo de noviembre 2020 a febrero de 2021, presentaron los siguientes resultados.

Habito de Crecimiento

El 68 % de las líneas de frijol mutante presentaron un hábito de crecimiento indeterminado trepador de tipo IV, seguido del 25 % de las líneas con crecimiento arbustivo de tipo II y finalmente el 7 % de las líneas con el hábito de crecimiento de tipo I (Figura 1). Según el CENTA (2019), las variedades mejoradas que se cultivan en El Salvador tienen un crecimiento Arbustivo II a y b. Esta diferencia se atribuye al efecto que provocó la inducción a la mutación realizada en generaciones anteriores.

Figura 1.

Hábitos de crecimiento de las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo sangre de toro.



Color de la Flor

Para esta variable no hubo diferencias entre las líneas mutantes y el testigo, ya que todas presentaron color de la flor blanca (Figura 2), siendo una característica de la variedad «sangre de toro», material del que se obtuvieron las líneas mutantes en estudio. Hernández y Amaya (2013), en la investigación *Caracterización molecular y morfológica de accesiones de*

germoplasma de frijol común de El Salvador, incluida la variedad sangre de toro, determinaron que el 66 % de las accesiones poseen flores blancas; mientras que un 24 % son de color lila y el resto son combinaciones de estos dos colores.

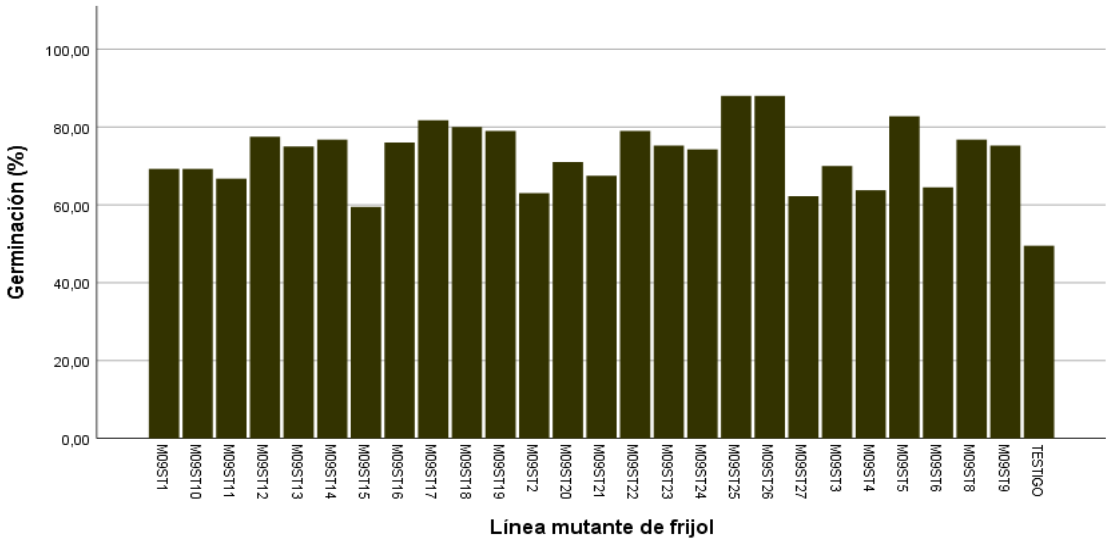
Figura 2.
Color de la flor de las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo sangre de toro.



Porcentaje de Germinación

En la variable germinación y emergencia de las semillas de las diferentes líneas de frijol común en estudio no se encontraron diferencias estadísticas significativas, no obstante, las líneas testigo: M09ST25 y M09ST26 presentaron valores en un intervalo entre 49.5 % y 88 % (Figura 3). Por desconocimiento de la viabilidad de la semilla, se decidió durante la siembra utilizar todo el material disponible, por línea, y garantizar la incrementación del germoplasma en estudio. Al respecto Doria (2010), menciona que las semillas son el punto de partida para la producción y es indispensable que tenga una buena respuesta en las condiciones de siembra y que produzca plántulas vigorosas, para alcanzar el máximo rendimiento, por otra parte, la semilla utilizada en la investigación corresponde en su categoría respectiva, a la semilla original que reúne todas las características de la variedad en cuestión; su reproducción es responsabilidad del mejorador y

Figura 3.
Germinación (%) de las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo sangre de toro.



del centro que patrocina la variedad. Por tal motivo, son de gran interés científico-técnico los trabajos encaminados a estimular y prolongar la germinación y posterior conservación de las semillas, para poder elevar la productividad de los cultivos de forma sostenible y enfrentar los cambios en el entorno de manera más apropiada.

Altura de Planta (cm)

Respecto a la variable «altura de la planta» al final del estudio, se encontraron diferencias estadísticas significativas, reportando el mayor valor en la línea M09ST24 con 61.90 cm y el menor valor con 14.90 cm para la línea M09ST20 (Figura 2), es importante hacer mención que, en la mayoría de las líneas, las alturas oscilaron entre los 31 y 39 cm (Figura 4). Los datos anteriores difieren con los resultados obtenidos por Lamz *et al.* (2017), quienes argumentan que al evaluar la altura de la planta en un experimento similar en el ANOVA no detectaron diferencias significativas entre el material genético evaluado, sin embargo, esta variable fluctuó entre 25.67 y 52.67 cm para los genotipos RBF 11-60 y MEN 2202-16, respectivamente.

Número Total de Vainas

Al analizar el número total de vainas, por surco, se encontraron diferencias estadísticas significativas, manifestando el mayor valor la línea M09ST11 con 1,346.05 vainas (11 vainas por planta) y el menor valor, la línea M09ST20 con 287.79 vainas (7 vainas por planta). Esta diferencia extrema se debe al número total de semillas sembradas por surco, ya que se utilizaron 50 semillas para la línea M09ST20 y 100 semillas para las demás líneas en estudio, justificándose, por esta razón, el incremento del germoplasma en estudio por ser la semilla original (Figura 5). Estos resultados difieren con lo encontrado por Meneses *et al.* (2020), quienes reportaron un rango de 16-28 vainas (con un promedio de 20 vainas por planta) con respecto al testigo, el cual solo produce en promedio ocho

Figura 4.
Altura (cm) de las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo sangre de toro.

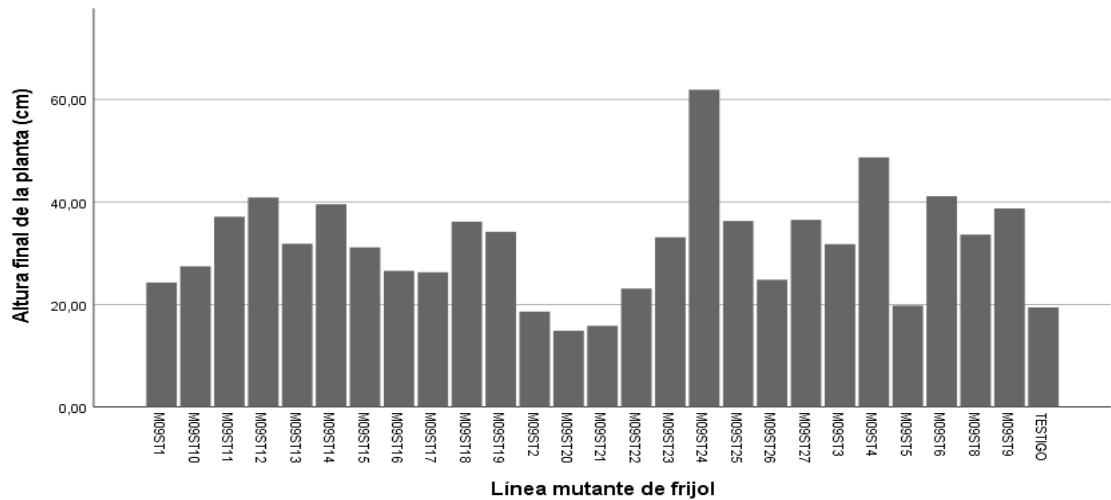
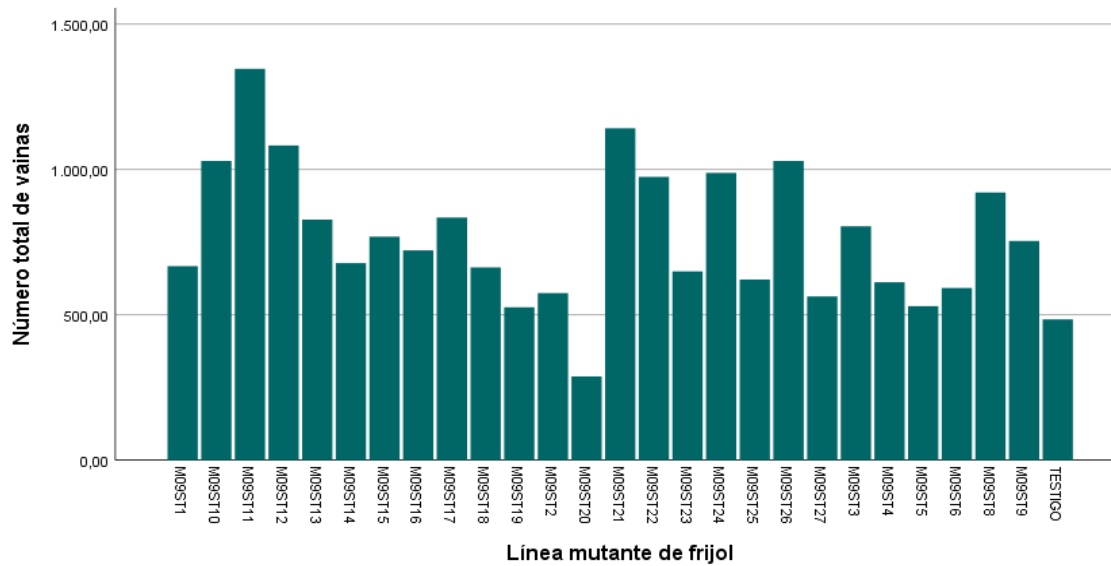


Figura 5.
Número total de vainas en las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo, sangre de toro.



vainas por planta, y que según el ANOVA no hubo diferencias significativas entre las líneas.

Peso de 100 Semillas (g)

En relación con la variable peso de 100 semillas, no se encontraron diferencias estadísticas significativas, no obstante, el mayor valor registrado lo presentó la línea M09ST3 con 20.75 g y el menor valor, la línea M09ST18 con 18 g (Figura 6). Los resultados anteriores son menores a los reportados por el CENTA (2019), el cual oscila entre los 20 g y 26 g.

Rendimiento (qq. ha⁻¹)

En la variable «rendimiento», no se encontraron diferencias estadísticas significativas, reportándose valores entre 10.88 qq. ha⁻¹ y 39.68 qq. ha⁻¹

de las líneas en estudio. En la Figura 7 se observa que la línea de frijol con mayor rendimiento fue la M09ST16, además se encontró que 14 líneas reportaron rendimientos arriba de 25 qq. Ha⁻¹, superando el promedio nacional de producción de grano para consumo que fluctúa entre 12 a 17 qq. Ha⁻¹.

No obstante, para la producción de semilla de frijol, que es una actividad que debe de cumplir con estándares de calidad y requisitos reglamentados por legislaciones vigentes en los países, los rendimientos son superiores que la producción de grano (Doria 2010). En El Salvador, para el año 2014 se sembró un área de 1082 ha para el cultivo de semilla de frijol con un rendimiento promedio de 37 qq. ha⁻¹, el cuál fue superado en esta investigación por las líneas M09ST16 y M09ST14; sin embargo, es importante mencionar que la época tradicional de siembra en El Salvador es en el mes de agosto, mientras que la incrementación de las líneas

Figura 6.

Peso de 100 semillas (g) en las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo, sangre de toro.

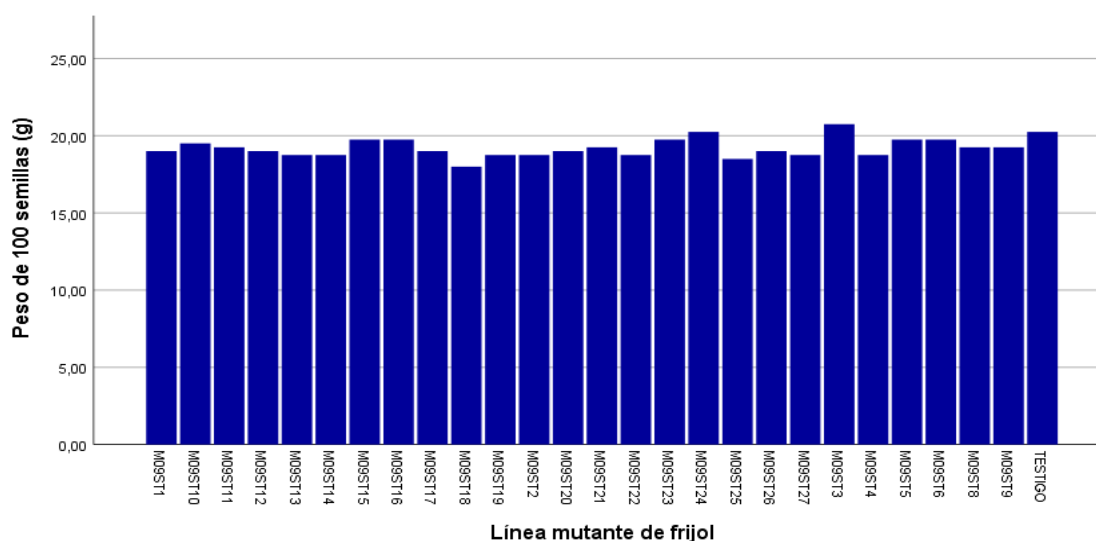
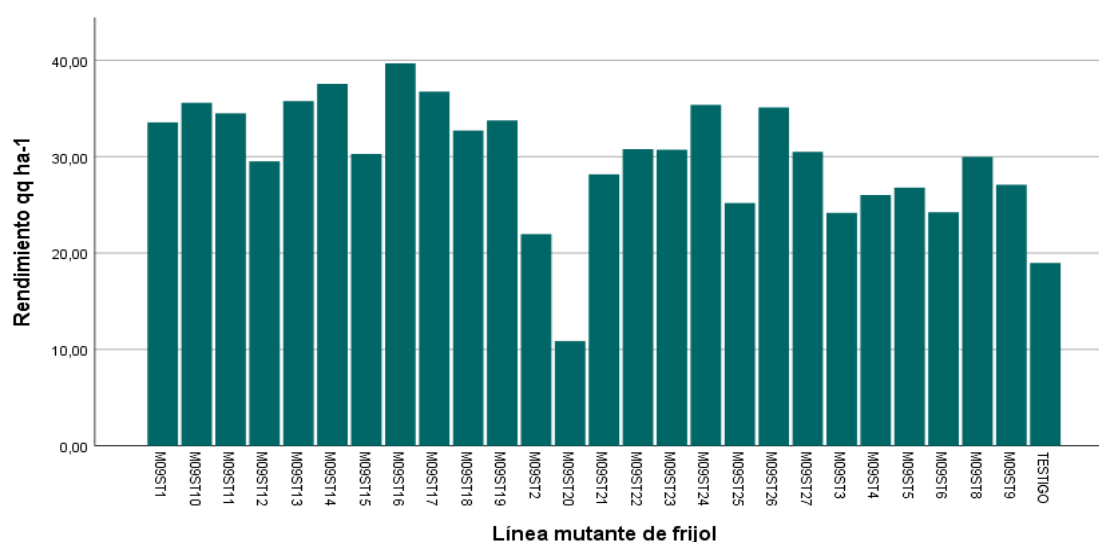


Figura 7.

Rendimiento (qq. Ha⁻¹) en las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo sangre de toro.

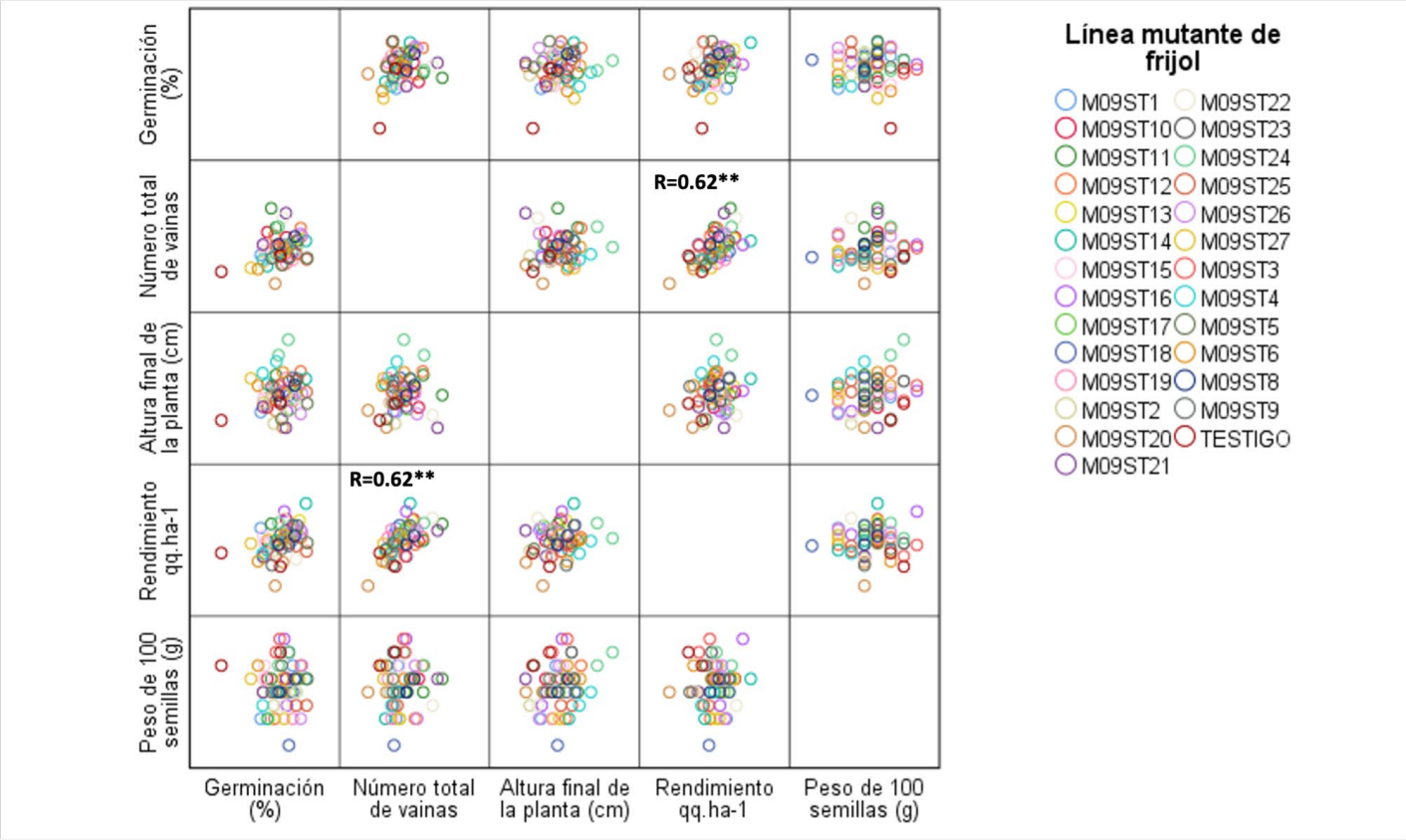


mutantes en estudio se desarrolló durante los meses de noviembre del 2020 a febrero del 2021, en una época donde la siembra no es recomendada, si no se cuenta con riego; existiendo mayor riesgo de ataque de insectos vectores de virus. Asimismo, la Estación Experimental y de Prácticas donde se ejecutó la investigación presenta una altitud de 50 m s. n. m. inferior a lo recomendado para frijol rojo común. Es importante mencionar que para esas condiciones climáticas que se generan a altitudes inferiores a 100 m s. n. m. las temperaturas idóneas para el desarrollo y producción de frijol rojo son precisamente las que ocurren entre noviembre y febrero ya que son las más bajas principalmente en la noche y en la madrugada, lo que favorece al cuajado de flores, vainas y por ende la formación de granos; eventos fenológicos y procesos fisiológicos que en frijol son determinados de manera directa por las temperaturas. La floración en frijol común es afectada por temperaturas extremas superiores a 30 °C por periodos prolongados, provocando problemas de esterilidad con daños irreversibles (López *et al.* 1985). Durante los meses de noviembre a febrero

se experimentaron temperaturas máximas entre 33.8 °C y 35.4 °C, pero también se registraron temperaturas mínimas entre 22.4 °C y 22.5 °C que, sin duda, favorecieron el cuajado de vainas y llenado de grano. Al aplicar el análisis de correlación de Pearson, se encontró una correlación altamente significativa entre las variables «número total de vainas» y «rendimiento en qq ha⁻¹», con un R= 0.62** (Figura 8).

A partir de los resultados de las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo (sangre de toro) se aplicó un análisis por conglomerados, encontrando similitudes entre algunas líneas y disimilitudes entre otras líneas. Se determinaron tres grupos a una distancia euclidiana de 6.1 unidades. Se trabajó con un coeficiente de correlación cofenética = 0.682 existiendo una buena correlación entre las variables en estudio. Según el dendrograma, en el conglomerado 1, predominaron las líneas M09ST1, M09ST10, M09ST13, M09ST17, M09ST16, M09ST14, M09ST22, M09ST26, M09ST11, M09ST21, y la M09ST24. En el conglomerado

Figura 8. Análisis de correlación de Pearson de las variables evaluadas en las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo (sangre de toro).



2, predominaron las líneas M09ST2, testigo y la M09ST20. Finalmente, en el conglomerado 3, predominaron las líneas M09ST12, M09ST8, M09ST3, M09ST9, M09ST18, M09ST19, M09ST23, M09ST25, M09ST5, M09ST15, M09ST27, M09ST4, y la M09ST6. Las líneas mutantes de frijol pertenecientes al conglomerado 1 presentaron el mejor comportamiento en las variables en estudio «germinación y emergencia (%)», «altura final de la planta (cm)», «número total de vainas», «peso total de 1000 semillas (g)», y «rendimiento (qq ha⁻¹)» (Figura 9) (Cuadro 1). Todo lo contrario, con las líneas de frijol del conglomerado 2, estas mostraron el peor comportamiento en las variables evaluadas. Meneses *et al.* (2020), aplicaron el análisis por conglomerados trabajando el dendrograma a cinco unidades de distancia euclidiana donde se formaron tres grupos: el primero, correspondió al testigo PLV1-3 con altura de 1 m, con tres granos por vaina en promedio, tamaño de grano pequeño y 34 g peso de 100 granos y posición de vainas en la parte superior de la planta; el segundo estuvo conformado por los genotipos MBC 108, 109 y 110, que compartieron las siguientes características, bractéola lanceolada, grano marrón tipo pinto, brillante con 54 g peso de 100 semillas y rendimiento promedio de 906 kg ha⁻¹. El tercer grupo, estuvo conformado por MBC 97, 111, 106, 95 y 102 con hojas que no persistieron a la cosecha y ápice de vaina orientado hacia abajo. Sin embargo, el genotipo MBC 111 con características particulares, por las cuales sobresalió, como por ejemplo: vainas ubicadas en la parte superior de la planta, excelente vigor, 78 días a floración, 18 racimos por planta, 34 vainas por planta y rendimiento de 1255 kg. ha⁻¹.

De acuerdo con la aplicación del método multivariante: análisis por componentes principales (ACP), los primeros dos componentes principales explicaron el 77 % de la varianza total de las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo (sangre de toro). Siendo altamente confiable y representativo trabajar con dos componentes. El componente 1 representa el 61.1 % de la variación total y las factores que mejor contribuyen a su variación son la germinación y emergencia (%), número total de vainas, peso total de 100 semillas (g) y el rendimiento del cultivo (qq. ha⁻¹). El componente 2 representa el 15.2 % de la varianza total y la variable que más aporta a su variación es «altura final de la planta (cm)». De las 26 líneas mutantes de frijol y el tratamiento testigo, las líneas M09ST10, M09ST13, M09ST17, M09ST16, M09ST14, M09ST26, M09ST11 expresaron el mejor comportamiento en las variables «germinación y emergencia (%)», «número total de vainas», «peso total de 100 semillas (g)», y «rendimiento (qq. ha⁻¹)». Respecto a la variable «altura final de la planta (cm)» la línea M09ST24 presentó el mejor comportamiento (Figura 10) (Tabla 1). Meneses *et al.* (2020) en el análisis de componentes principales, apreció que los primeros seis componentes representan el 90 % de la variación total. Con base a los componentes principales y a las correlaciones encontradas, las variables que se seleccionaron para agrupar los genotipos fueron: «altura», «granos por vaina», «tamaño de grano» (longitud, ancho, grosor), «longitud de botón», «días a floración», «longitud de vaina», «tamaño hoja (longitud, ancho)», «días a madurez fisiológica», «longitud de ápice» y «vainas por planta».

Figura 9.
Análisis de conglomerados de las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo (sangre de toro).

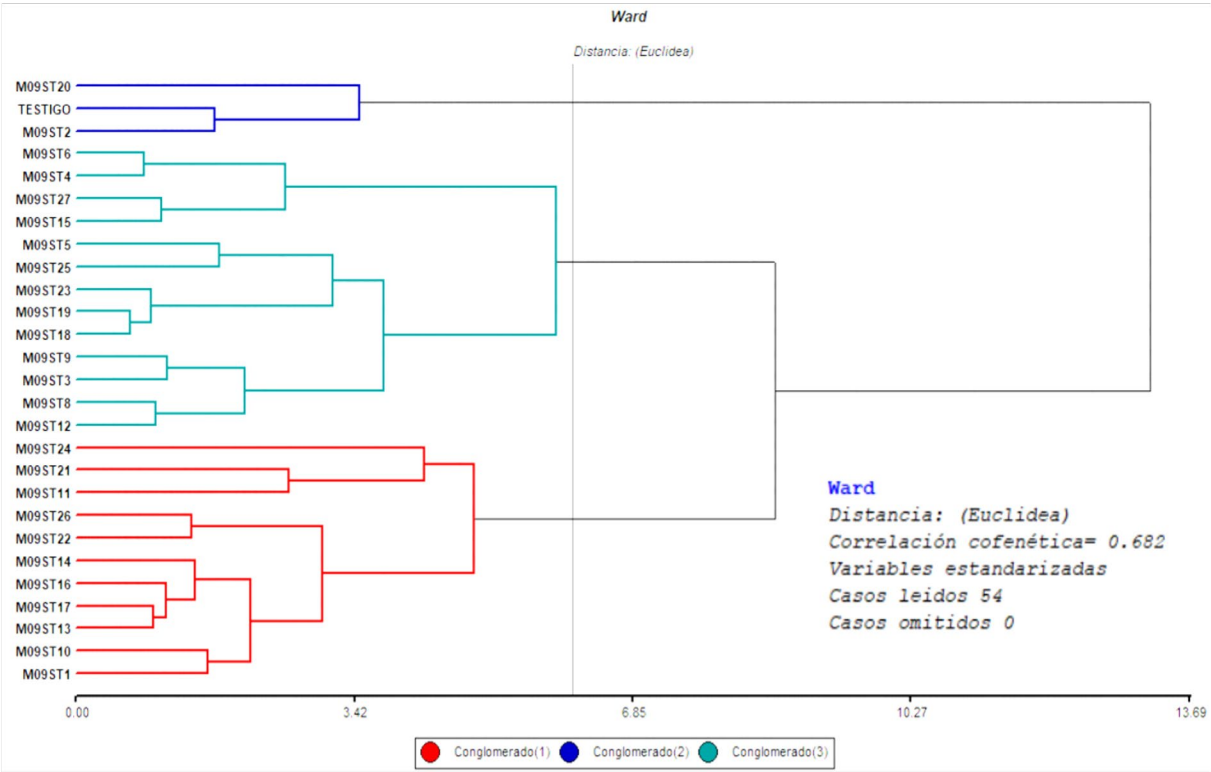


Figura 10.
Análisis de Componentes Principales (ACP) de las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo (sangre de toro).

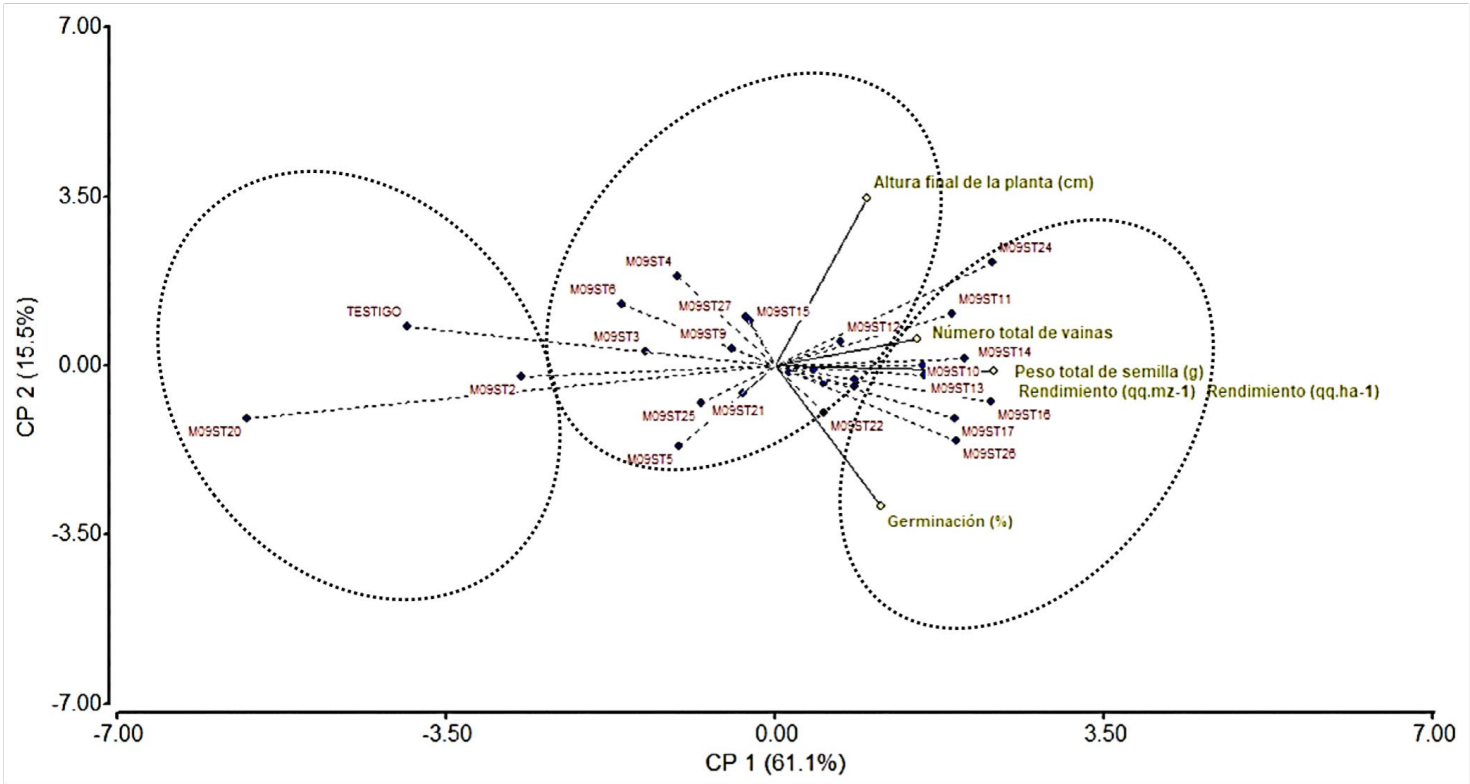


Tabla 1.
Medias de las variables observadas en las 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo (sangre de toro).

Línea mutante de frijol	Germinación (%)	Sig. Est.	Altura final de la planta (cm)	Sig. Est.	Número total de vainas	Sig. Est.	Peso de 100 semillas (g)	Sig. Est.	Rendimiento (qq. ha ⁻¹)	Sig. Est.
TESTIGO	49.5	A	19.45	IJKL	484.2	B	20.25	A	18.97	A
M09ST15	59.5	A	31.15	DEFGH	768.93	AB	19.75	A	30.29	A
M09ST27	62.25	A	36.53	CD	562.95	AB	18.75	A	30.51	A
M09ST2	63	A	18.63	JKL	574.5	AB	18.75	A	21.97	A
M09ST4	63.75	A	48.7	B	612	AB	18.75	A	26.02	A
M09ST6	64.5	A	41.13	BC	592.1	AB	19.75	A	24.23	A
M09ST11	66.75	A	37.13	CD	1346.05	A	19.25	A	34.5	A
M09ST21	67.5	A	15.85	KL	1141.77	AB	19.25	A	28.17	A
M09ST1	69.25	A	24.3	GHIJK	667.3	AB	19	A	33.56	A
M09ST10	69.25	A	27.45	EFGHI	1029	AB	19.5	A	35.6	A
M09ST3	70	A	31.78	DEFG	804.25	AB	20.75	A	24.17	A
M09ST20	71	A	14.9	L	287.79	B	19	A	10.88	A
M09ST24	74.25	A	61.9	A	987.95	AB	20.25	A	35.38	A
M09ST13	75	A	31.85	DEFG	827.31	AB	18.75	A	35.77	A
M09ST23	75.25	A	33.13	CDEF	648.94	AB	19.75	A	30.73	A
M09ST9	75.25	A	38.73	CD	753.75	AB	19.25	A	27.09	A
M09ST16	76	A	26.58	EFGHIJ	721.36	AB	19.75	A	39.68	A
M09ST14	76.75	A	39.55	CD	677.56	AB	18.75	A	37.56	A
M09ST8	76.75	A	33.65	CDE	920.75	AB	19.25	A	29.98	A
M09ST12	77.5	A	40.88	BC	1082.31	AB	19	A	29.52	A
M09ST19	79	A	34.18	CDE	525.62	AB	18.75	A	33.76	A
M09ST22	79	A	23.1	HIJKL	974.31	AB	18.75	A	30.78	A
M09ST18	80	A	36.15	CD	663.02	AB	18	A	32.71	A
M09ST17	81.75	A	26.3	EFGHIJ	834.53	AB	19	A	36.76	A
M09ST5	82.75	A	19.8	IJKL	529.6	AB	19.75	A	26.79	A
M09ST25	88	A	36.3	CD	621.2	AB	18.5	A	25.19	A
M09ST26	88	A	24.83	FGHIJ	1029.45	AB	19	A	35.1	A

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

CONCLUSIONES

Se cuenta con material genético incrementado de las 26 líneas mutantes de frijol común rojo (*Phaseolus vulgaris* L.), obtenido en la Estación Experimental y de Prácticas en una época no tradicional de siembra bajo condiciones climáticas con temperaturas mínimas promedio de 22.3 °C y máximas promedio de 33 °C a 50 m s. n. m.

De las 26 líneas mutantes de frijol común rojo (*Phaseolus vulgaris* L.), se reportaron rendimientos entre los 10.88 qq. ha⁻¹ y 39.68 qq. ha⁻¹, siendo la línea de frijol con mayor rendimiento la M09ST16; además se encontró que

14 líneas reportaron rendimientos mayores a los 25 qq ha⁻¹, superando el promedio nacional de producción de grano para consumo de El Salvador que fluctúa entre 12 a 17 qq. ha⁻¹, no obstante, para la producción de semilla de frijol que es una actividad que debe de cumplir con estándares de calidad y requisitos reglamentados por legislaciones vigentes en los países, para El Salvador se registra un rendimiento promedio de 37 qq. ha⁻¹, el cuál fue superado en esta investigación por las líneas M09ST16 y M09ST14.

BIBLIOGRAFÍA

- Agtunong, TP; Redden, R; Mengee-Nang, MA; Searle, C; Fukai, S. 1992. Genotypic variation in response to high temperature at flowering in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Aust. J. Exp. Agric. 32:1135-1140.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador). 2019. Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (en línea). Consultado 21 may. 2021. Disponible en http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Frijol%202019.pdf
- CIT (Centro de Información Tecnología). 2006. Cultivos con potencial de exportación.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento (en línea). Revista de Cultivos Tropicales, vol. 31. Consultado 20 may. 2021. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362010000100011&script=sci_abstract
- Esqueda, V; Durán, A; López, E. 2016. Effect of the time and type of weeding on residual moisture growing beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Mesoamerican Agronomy, 8(1): 59-64.
- Faure, B; Benítez, R; León, N; Chaveco, O; Rodríguez, O. 2013. Guía técnica para el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Editora Agroecológica, Artemisa, Cuba, 35 p.
- González Cepero, MC. 2021. Inducción de mutaciones: Estado del conocimiento en el mejoramiento genético de plantas en América latina y el Caribe: Cuba: Mejoramiento genético en cultivos de importancia económica. Sergio, Santos de los. Sonara, Obregón, CDMX. Fontamara. p. 75-76.
- Hernández Monterrosa, JV; Amaya Rivera, MA. 2013. Caracterización Molecular y Morfológica de Acciones de Germoplasma de Frijol Común de El Salvador (en línea). Tesis Lic. Ing. Agr. Honduras, Zamorano. 28 p.
- Jankuloski, L; Forster, BP; Nakagawa, H. 2021. Manual de Mejoramiento por Mutaciones: Mejoramiento de caracteres de importancia por mutaciones. s.e. Spencer-Lopes MM; Forster BP; Jankuloski L. (ed). 3 ed. Vienna, Austria. p. C7.150.
- Lamz, A; Regla, M; Cárdenas, T; Ortiz, R; Alfonzo, L.E; Sandrino A. 2017. Evaluación preliminar de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) promisorios para siembras tempranas en Melena del Sur (en línea). Consultado 20 may. 2021. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000400016.
- López, M; Fernández, F; Schoonhoven, A. Van, EDS. (eds.). 1985. Frijol: Investigación y producción. Programa de las Naciones Unidas (PNUD); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 417 p.
- Majd Nasari, B. 2011. Obtenido de Determinación de la fecha de siembra más adecuada, densidad óptima de la planta y disposición del frijol común cultivado en la región de Dehaghan, Irán.
- Masaya, P; White, JW. 1991. Adaptation to photoperiod and temperature. In: Common Beans: Research for Crop Improvement. Schoonhoven, AV; Voysest, O (eds). C. A. B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp:445-500.
- Meneses, D.P; Segura, H; Estrada, R; Huaranga, A. 2020. Caracterización fenotípica y agronómica de líneas avanzadas de frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a virus en Perú (en línea). Consultado 21 may. 2021. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S240916182020000100003&script=sci_abstract.
- Monterroso, VA; Wien, HC. 1990. Flower and pod abscission due to heat stress in beans. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115:631-634.
- Orellana Núñez, MA; Angel Molina, JX; Martínez Sierra, B; Artiga, D Fernández, J; Alejo, J; de Linares, AY. 2021. Inducción de mutaciones: Estado del conocimiento en el mejoramiento genético de plantas en América latina y el Caribe: El Salvador: Mejoramiento genético de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y Chipilín (*Crotalaria longirostrata*). Sergio, Santos de los. Sonara, Obregón, CDMX. Fontamara. p. 103-12.
- Padilla, JS; Ochoa, R; Acosta, E; Acosta, JA; Mayek, N; Kelly, JD. 2003. Grain yield of early and late dry bean genotypes under rainfed conditions in Aguascalientes, México. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative, 46, P. 89-90.
- Singh, S; Gutierrez, A; Molina, A; Urrea, C; Gepts, P. 1991. Genetic diversity in cultivated common bean. II. Marker-based analysis on morphological and agronomic traits. Crop Sci. 31:23-29.
- Spencer Lopes, M.M., Forster, B.P. y Jankuloski, L. 2021. Manual de mejoramiento por mutación – Tercera edición. Viena, FAO. <https://doi.org/10.4060/i9285es>