

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación del Comportamiento Agronómico de Líneas Experimentales de Frijol en
la Región Sureste de Coahuila

Por:

SAULO FLORENCIO CORTEZ RAMÍREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación del Comportamiento Agronómico de Líneas Experimentales de Frijol en
la Región Sureste de Coahuila

Por:

SAULO FLORENCIO CORTEZ RAMÍREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Antonio Flores Naveda
Asesor Principal

Dra. Xoçhiti Ruelas Chacón
Coasesor

Dr. Neymar Camposeco Montejó
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2024

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior, me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Saulo Florencio Cortez Ramírez

DEDICATORIA

A DIOS

Por nunca abandonarme y guiarme por el buen camino, por darme la fuerza y el coraje para hacer este sueño realidad y por estar conmigo en cada momento de mi vida.

A MIS PADRES

Rosalina Ramírez Mendieta y Florencio Cortez Barranco, por sus enseñanzas, su paciencia, su amor, por darme ánimos, siempre estar pendiente de mí y siempre esforzarse por hacer todo lo posible para poder cumplir este sueño conjunto.

A MIS HERMANOS

Ángel Hazael Cortez Ramírez, Jeriel Esaú Cortez Ramírez, y Vianney Concha Ramírez, por su apoyo, su enseñanza y su ejemplo, por nunca dejarme solo y siempre poner una sonrisa en mi rostro.

A MI NOVIA

Luz Ramos, por apoyarme en los momentos difíciles, por ayudarme en momentos donde yo no podía más, por ayudarme a ser una mejor persona e inspirarme a encontrar la mejor versión de mí y no perder mis metas.

A MIS AMIGOS

Martin Camacho, Omar Bacilio y Moisés Castro, por ser mis mejores amigos en la UAAAN, por acompañarme en todos esos momentos buenos y malos, por apoyarme en mis proyectos, por todas las experiencias vividas, por los consejos y el apoyo siempre incondicional que recibí.

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Por permitirme cumplir mis metas de formarme como un profesionalista, y por haber hecho de mí una persona de bien para la sociedad. Además, agradezco a todas las personas increíbles que conocí durante mi trayectoria como alumno en esta honorable institución.

A MIS PROFESORES

Por su esfuerzo y empeño de brindarme sus conocimientos durante estos años, sin duda alguna agradezco cada consejo y cada experiencia compartida, me llevo grandes recuerdos de los que en algún momento fueron mis Profesores.

A MIS ASESORES DE TESIS

Al Dr. Antonio Flores Naveda, Dra. Xóchitl Ruelas Chacón, Dr. Armando Muñoz Urbina y Dr. Neymar Camposeco Montejo, por permitirme la oportunidad de realizar este proyecto de investigación de tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Antecedentes y origen del cultivo	4
2.2 Especies domesticadas	4
2.3 Importancia a nivel mundial.... ..	5
2.4 Importancia en México.....	6
2.5 Contexto e importancia de la evaluación del comportamiento agronómico del cultivo.....	7
2.6 Taxonomía del frijol.....	7
2.7 Morfología de la planta.....	8
2.7.1 Tipo I.....	8
2.7.2 Tipo II.....	8
2.7.3 Tipo III.....	9
2.7.4 Tipo IV.....	9
2.8 Etapas de crecimiento y desarrollo.....	9
2.8.1 Etapa V0 Germinación.....	9
2.8.2 Etapa V1 Emergencia.....	10

2.8.3	Etapa V2: Aparición de hojas primarias	10
2.8.4	Etapa V3: Primera hoja trifoliada.....	10
2.8.5	Etapa V4: Tercera hoja trifoliada.....	11
2.8.6	Etapa R5: Prefloración	11
2.8.7	Etapa R6: Floración.....	11
2.8.8	Etapa R7: Formación de las vainas.....	12
2.8.9	Etapa R8: Llenado de las vainas.....	12
2.8.10	Etapa R9: Maduración	12
2.9	Composición química y calidad nutracéutica del frijol común...	12
2.10	Estudio del comportamiento agronómico del cultivo del frijol.....	13
2.11	Distancia de siembra.....	13
2.12	Suelo.....	14
2.13	Temperatura.....	14
2.14	Agua y humedad relativa.....	14
2,15	Fertilización.....	15
2.16	Plagas y Enfermedades.....	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1	Localización del sitio experimental	22
3.2	Germoplasma utilizado	23
3.3	Variables a evaluar.....	23
3.4	Análisis estadísticos.....	24
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
V.	CONCLUSIONES.....	31
VI.	LITERATURA CITADA.....	32

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Características del ensayo y parcela experimental.....	22
Cuadro 2.	Identificación de genotipos de frijol utilizados en el experimento.	23
Cuadro 3.	Cuadros medios del análisis de varianza y coeficientes de variación de las variables agronómicas de genotipos de frijol en ciclo P-V 2022.....	27
Cuadro 4.	Comparación de medias para las variables agronómicas de los siete genotipos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) ordenados de según la variable RSP.....	28
Cuadro 5.	Correlaciones fenotípicas entre las variables agronómicas evaluadas, ciclo P-V 2022.....	29

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Color de testa de la semilla de genotipos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y el hábito de crecimiento.....	26
------------------	---	----

RESUMEN

La variabilidad genética entre los genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) nos permite estudiar su adaptación a diferentes ambientes de producción, por lo tanto, el objetivo principal de la presente investigación fue evaluar el comportamiento agronómico de líneas experimentales de frijol en la región sureste de Coahuila. El experimento se estableció en el ciclo primavera-verano del 2022 en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) donde se evaluaron siete genotipos de frijol: cinco líneas experimentales y dos testigos comerciales, el germoplasma experimental fue proporcionado por el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN. Las variables evaluadas fueron: número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV), longitud de vaina (LV), peso de 100 semillas (PCS) y rendimiento de semilla por planta (RSP). Con la información obtenida se realizó un análisis de varianza de bloques completos al azar, con dos repeticiones además de la prueba de medias de Tukey $p \leq 0.05$ y un análisis de correlación fenotípica entre las variables evaluadas, utilizando el paquete estadístico Minitab 16. Con respecto a las variables cualitativas se determinaron el color de la testa del grano y el hábito de crecimiento. Con los resultados obtenidos de las variables cualitativas evaluadas se obtuvo que las cinco líneas experimentales presentan hábito de crecimiento indeterminado y los testigos comerciales, hábito determinado, en cuanto el color de la testa de la semilla predominó el color pinto en tres genotipos, el bayo, rosita, morado y blanco moteado, en el resto de los genotipos. El análisis de varianza de bloques al azar, detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) y altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos para las variables agronómicas evaluadas. La prueba de medias de Tukey $p \leq 0.05$ permitió seleccionar a los genotipos G5 (103.0 g p⁻¹), G4 (85.0 g p⁻¹) y G1 (80.1 g p⁻¹) por su alto rendimiento (RSP), los cuales también superaron a los testigos comerciales. En cuanto a las demás variables el G1 destacó en el NVP (66), el G5 en LV (11.6 cm) y PCS (108.8 g) y el G4 en NSV (5.5). Se presentó una correlación negativa y significativa entre PCS y NSV ($r = -0.805^*$).

Las variables que mostraron mayor correlación con rendimiento (RSP) fueron el NVP ($r=0.604$) y PCS ($r= 0.709$) por lo que se consideran como los principales componentes del rendimiento en la presente investigación.

Palabras clave: Frijol, diversidad genética, variables agronómicas, correlaciones fenotípicas.

I. INTRODUCCION

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los cultivos más importantes en México, por la superficie sembrada y la producción obtenida; se siembra en todas las regiones agrícolas del país y es un componente fundamental en la dieta del mexicano (CEDRSSA, 2019). El frijol es cultivado en más de 90 países, en una amplia gama de sistemas y ambientes. De acuerdo con datos de la FAO, la superficie mundial sembrada se estima en 36 millones de hectáreas, que producen 32.1 millones de toneladas al año, en promedio del período 2012-2018 (CEDRSSA, 2020).

México es reconocido como centro de origen, domesticación y diversidad genética del frijol (Saburido y Herrera, 2015). Cabe mencionar que los productores han jugado un papel primordial en la conservación de la diversidad genética presente en el frijol, a raíz de sus necesidades, intereses, prácticas y conocimiento (Bellon *et al.*, 2009). En algunas investigaciones sobre diversidad genética del frijol común domesticado se han identificado seis razas, tres del acervo mesoamericano: Durango, Jalisco y Mesoamérica y tres del andino: Nueva Granada, Perú y Chile (Kwak *et al.*, 2009). Las razas fueron definidas como poblaciones similares en la morfología de la planta y semilla, adaptación a determinadas regiones y presencia de ciertos tipos de proteínas del grano de frijol (Singh *et al.*, 1991a, b, c). En el acervo mesoamericano se describió una cuarta raza, 'Guatemala' conformada principalmente por los frijoles trepadores de Guatemala y Chiapas, diferenciada de la raza Jalisco (Beebe *et al.*, 2000).

La diversidad genética del frijol silvestre y en otros parientes del género *Phaseolus*, representan fuentes fundamentales para el fitomejoramiento, ya que estas poblaciones pueden contener genes de interés, como la tolerancia a factores adversos, entre estos, el frío, la sequía, el calor, las enfermedades y las plagas. Por tanto, tales genes podrían ser utilizados para ampliar la base genética del frijol (Saburido y Herrera, 2015).

El frijol es la leguminosa de mayor consumo en México, su trascendencia es económica, social y estratégica para el sector agrícola rural del país. Durante el período de 2018 a 2020, en México se destinó una superficie promedio para la siembra del cultivo de 1.58 millones de ha y se produjeron 1.06 millones de t, con un valor comercial de 14 717.12 millones de pesos. El 88.4 % de las siembras de frijol se realizan en condiciones de temporal con rendimientos promedio de 570 kg ha⁻¹ (SIAP, 2020). En México se cultivan 70 variedades de la leguminosa y la producción se diversifica en tres tipos, el 36 % es de claros, 31 % de negros y 29 % de pintos (Ramírez-Jaspeado *et al.*, 2020).

Aun cuando el frijol es un cultivo con alta adaptación a las diversas condiciones agroclimáticas del país, la forma de cultivarlo es diferente en las zonas productoras. La región centro norte de México se caracteriza por ser la más importante en la producción donde se obtiene el 49.3 % del total nacional y estados como Zacatecas aportan el 33.2 %, Durango el 8.8 % y Chihuahua 7.3 % (SIAP, 2020); sin embargo, a esta región también se suman los estados de Coahuila, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Querétaro (SIAP, 2020). Por lo anterior, se mencionan los objetivos e hipótesis del presente trabajo de investigación:

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Seleccionar genotipos de frijol, mediante su comportamiento agronómico y rendimiento de semilla por planta.

1.1.2 Objetivos específicos

Evaluar el color de la testa de la semilla, el hábito de crecimiento, cuantificar el número de vainas por planta, longitud de vaina, número de semillas por vaina, peso de cien semillas y rendimiento de grano por planta en la región sureste del estado de Coahuila.

Estimar las correlaciones fenotípicas entre las variables evaluadas.

1.2. Hipótesis

Ha. Los genotipos con mayor adaptación en el ambiente evaluado, presentarán el mayor potencial de rendimiento en la región del sureste del estado de Coahuila.

Ho. Los genotipos evaluados en la región sureste de Coahuila, no presentarán un aceptable potencial de rendimiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes y origen

Las investigaciones realizadas coinciden en identificar el origen del frijol en Mesoamérica, concretamente en México, desde Jalisco hasta Oaxaca, y de ahí la especie migró a Sudamérica. El aislamiento geográfico dio lugar a dos acervos genéticos: el Andino y el Mesoamericano. Los estudios con enfoques arqueológicos, morfológico-agronómicos, bioquímicos y moleculares ofrecen evidencias diferentes y, aparentemente, inconsistentes (Smith, 2001).

En las últimas décadas los estudios arqueológicos fijaron su atención en Mesoamérica, debido a su amplia riqueza cultural y a la importancia del frijol en la dieta de los habitantes de la región (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2004; Smith, 2005). Los análisis de los restos de plantas de las cuevas de Oaxaca, Puebla y Tamaulipas han permitido postular al frijol común como la última de las tres plantas de mayor importancia (maíz, calabaza, frijol) en ser domesticadas en Mesoamérica (Smith, 2005), y que ello tuvo un efecto aditivo en el tiempo y espacio sobre el maíz y la calabaza, pues contribuyó sustancialmente y de manera positiva en la dieta y la economía agrícola regional (Smith, 2001).

2.2. Especies domesticadas

De acuerdo con Saburido y Herrera (2015), la mayoría de las especies que pertenecen al género *Phaseolus* son consideradas de origen mesoamericano. Estas se distribuyen principalmente en el altiplano, a lo largo de la Sierra Madre Occidental y del Sur, hasta Chiapas (Doha *et al.*, 2019). Cabe mencionar que (Freytag y Debouck 2002) clasificaron al género *Phaseolus* en 70 especies, sin embargo, sólo cinco han sido domesticadas:

- *Phaseolus coccineus*
- *Phaseolus acutifolius*

- *Phaseolus lunatus*
- *Phaseolus dumosus*
- *Phaseolus vulgaris*

2.3. Importancia a nivel mundial

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante utilizada para el consumo humano directo. Los nutricionistas caracterizan los frijoles como un recurso alimenticio excepcional, debido a su alto contenido de proteínas y su combinación de carbohidratos, fibra dietética y minerales (particularmente hierro y zinc). Si bien la composición nutricional y los beneficios de los frijoles secos para la salud humana son bien reconocidos (Didinger *et al.*, 2022), a menudo se pasa por alto su impacto positivo en el sistema de cultivo. Hay numerosos aspectos de los frijoles secos que contribuyen dramáticamente a la sostenibilidad agrícola dentro del contexto de sistemas de cultivo complejos.

El frijol es un cultivo leguminoso de temporada corta capaz de albergar rizobios responsables de la fijación biológica de nitrógeno (Reinprecht *et al.*, 2020) que, en general, tiene una huella de carbono menor en comparación con cultivos alternativos (Gan *et al.*, 2011). Una de las principales ventajas que tienen los frijoles secos para la mitigación de los gases de efecto invernadero es que no requieren procesos intensivos en energía asociados con la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Además, el frijol común es un alimento rico en nutrientes que es estable durante el almacenamiento postcosecha.

La producción mundial total de frijol y el área cosechada en 2020 fue de 27,5 millones de toneladas métricas y 34,8 millones de hectáreas, respectivamente. La producción de frijol, ha aumentado aproximadamente un 60% desde 1990, mientras que la superficie cosechada aumentó un 36% en el mismo período (FAO, 2022). A nivel regional, Asia lidera la producción de frijoles secos con aproximadamente el 43% de la producción mundial, seguida de América: América del Norte, Central y del Sur (29%) y África (26%). Europa y Oceanía aportan alrededor del 2% de la producción total. Estos datos demuestran que los aumentos de producción en las últimas tres

décadas, no se han debido exclusivamente a aumentos en el área cultivada, sino que se han logrado mediante mejoras en el mejoramiento genético del frijol (genética) y mejores prácticas agronómicas (manejo de cultivos, semillas, fertilidad del suelo y eficiencia de cosecha).

2.4. Importancia en México

Desde 2014, la producción de frijol en México cayó un 1,6% interanual. En 2019, el país ocupó el puesto número 6 entre otros países en producción de frijoles con 1.174 mil toneladas métricas. México es superado por Tanzania, que ocupó el quinto lugar con 1,184 mil toneladas métricas y le sigue Estados Unidos con 1,149 mil toneladas métricas. India lideró el ranking con 6.406 mil toneladas métricas en 2019, un crecimiento del 3% en comparación con 2018. Myanmar, Brasil y China ocuparon respectivamente los puestos 2, 3 y 4 en este ranking. Kazajistán registró el mejor crecimiento promedio de los últimos cinco años, con un +54% anual, mientras que los Países Bajos presenciaron el peor desempeño con un -19.7% anual.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, informó que la producción nacional de frijol en 2021 mantuvo su tendencia al alza, con un dato preliminar de un millón 177 mil toneladas, que representa un aumento de 11.4 por ciento con respecto al millón 056 mil 071 toneladas cosechadas en 2020.

En el campo mexicano se cosecha 4.0 por ciento de la leguminosa que se produce en todo el mundo y durante 2021, Zacatecas se posicionó como la entidad líder en producción. Al estado de Zacatecas, le siguen en producción Sinaloa con 140 mil 963 toneladas; Nayarit, con 100 mil 107 toneladas; Chiapas, con 67 mil 600 toneladas, y Durango, con 50 mil 869 toneladas, indicó Agricultura con base en cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

2.5. Contexto e importancia de la evaluación del comportamiento agronómico del cultivo

La producción de alimentos a partir de 1900, ha tenido un gran progreso, el cual ha beneficiado tanto a consumidores como a productores, ya que el mejoramiento

genético vegetal ha originado variedades, líneas y híbridos cada vez más productivos y con resistencias a diversos patógenos, insectos, frío, calor, salinidad del suelo, baja fertilidad entre otros. Permitiendo así, que la agricultura sea posible en lugares marginales. Sin embargo, es necesario continuar investigando para permanecer supliendo las necesidades alimentarias de la población mundial, la cual se encuentra en continuo incremento (Manuel, 2016).

En relación a los ensayos de rendimiento en diversas localidades, después de diversos años de evaluación se concluyó que para llevar a cabo una evaluación confiable es conveniente agrupar los genotipos con base en similitudes en hábito de crecimiento y fenología. En análisis estadísticos de grupos de variedades, sin separar por ciclo de cultivo, la contribución de la interacción genético-ambiental a la variabilidad observada, el rendimiento de grano y otras características agronómicas, resultó alta (Acosta *et al.*, 1985) y disminuyó cuando se realizaron los análisis por grupo de madurez (Acosta y Ochoa, 1992).

2.6. Taxonomía del frijol

Orden: Rosales

Familia: Leguminosae

Subfamilia: Papilionoidae

Tribu: Phaseolae

Subtribu: Phaseolinae

Género: Phaseolus

Especie: *Phaseolus vulgaris* L.

Los caracteres variables reciben la influencia de las condiciones ambientales; podrían ser considerados como la resultante de la acción del medio ambiente sobre el genotipo (CIAT, 1984).

2.7. Morfología de la planta

Planta herbácea perteneciente a la familia de las *fabaceae*, de tallo delgado y débiles, cuadrangulares, a veces rayados y purpura, hojas trifoliadas, ápice acuminado, laterales más o menos tubulosos y estándares redondeados.

Alcanza una altura de 50 a 70 cm y sus raíces se desarrollan con una raíz pivotante principal y muchas ramificaciones (SIAP, 2016).

La planta del frijol se puede clasificar según sus hábitos de crecimiento, los cuales pueden ser de cuatro tipos (Fauguenbaum y Mouat, 2015).

2.7.1. Tipo I

Hábito de crecimiento determinado arbustivo: El tallo principal es vigoroso y presenta 5 a 10 internudos comúnmente cortos. La altura de las plantas, varía normalmente entre 30 y 50 cm (aunque existen casos de plantas enanas con 15 a 25 cm de altura). El crecimiento de la planta se detiene una vez que aparece la inflorescencia que se ubica en la punta del tallo principal y en las ramas laterales. La etapa de floración es rápida y la madurez fisiológica final del grano, depende de las características particulares del genotipo (Núcleo Ambiental S.A.S 2015).

2.7.2. Tipo II

Hábito de crecimiento indeterminado arbustivo: El crecimiento de la planta es erecto, el número de ramas es bajo y el tallo principal normalmente desarrolla una guía de escaso crecimiento. El crecimiento en los tallos continúa después de la floración.

2.7.3. Tipo III

Hábito de crecimiento indeterminado postrado: La etapa de floración es más prolongada que en los hábitos Tipo I y II, y la madurez de sus vainas es bastante menos concentrada. Las plantas presentan un hábito postrado o semipostrado, con un gran

sistema de ramificación. Si el tallo principal y sus múltiples ramificaciones cuentan con algún tipo de soporte, la planta puede presentar aptitud trepadora a partir de las guías que presentan en su parte terminal (se presentan luego de iniciada la floración); los internudos de las guías son mucho más largos que los internudos de los tallos.

2.7.4. Tipo IV

Hábito de crecimiento indeterminado trepador: las ramas son pocas y el tallo principal puede tener de 20 a 30 nudos y alcanzar hasta 2 metros de altura o más si es guiado. La floración se prolonga durante varias semanas, pudiendo presentarse vainas casi secas en la parte basal de la planta, mientras en la parte alta continúa la floración.

2.8. Etapas de crecimiento y desarrollo

Las etapas de desarrollo del frijol son diez: cinco de desarrollo vegetativo y cinco de desarrollo reproductivo, requiriéndose de 62 a 77 días después de la siembra para completar la madurez. La planta del frijol se caracteriza por sus hábitos de crecimiento arbustivo y voluble, los cuales se relacionan con el período de maduración de la plántula; el arbustivo presenta un tiempo de maduración corto, mientras el voluble es por etapas; es decir, en lapsos de tiempo.

2.8.1. Etapa V0: germinación

El proceso de germinación inicia cuando la semilla que se ha sembrado absorbe agua con el proceso de imbibición. Por lo tanto, cuando se siembra en suelo seco, el día correspondiente al primer riego es el que se debe considerar como día de siembra. Una vez la semilla dispone de condiciones para germinar (agua, luz, nutrientes), emerge de ella en primer lugar la radícula, la cual se alarga para convertirse en raíz primaria; sobre ella, cerca de la superficie del suelo aparecen luego raíces secundarias

y terciarias. Posteriormente, se alarga el hipocótilo y los primeros cotiledones se pueden observar en la superficie del suelo (Núcleo Ambiental S.A.S 2015).

2.8.2. Etapa V1: emergencia

Se inicia cuando los cotiledones del 50% de las plántulas del cultivo aparecen al nivel del suelo. Después de la emergencia, el hipocótilo se endereza y crece hasta alcanzar su tamaño máximo; las hojas primarias, ya formadas en el embrión de la semilla, crecen y se despliegan. Los distintos órganos de la parte aérea se vuelven verdes; en ciertas variedades aparece una pigmentación morada, especialmente en el hipocótilo (CIAT, 1984).

2.8.3. Etapa V2: Aparición de hojas primarias

Esta etapa se inicia cuando están desplegadas las hojas primarias del 50% de las plantas del cultivo. Las hojas primarias son simples (unifoliadas) y opuestas (ambas colocadas en el mismo nudo, el segundo del tallo principal); cuando están completamente desplegadas, se colocan generalmente en posición horizontal. Al comienzo de esta etapa, la yema terminal del tallo principal se puede distinguir entre las dos hojas primarias.

2.8.4. Etapa V3: Primera hoja trifoliada

Esta etapa se inicia al desplegarse la primera hoja trifoliada en el 50% de las plantas del cultivo. En la Etapa V3, tanto el entrenudo entre las hojas primarias y la primera hoja trifoliada como el pecíolo de esta última son todavía cortos; al comienzo de ella, la primera hoja trifoliada se encuentra debajo de las hojas primarias. También se puede observar en esta etapa la segunda hoja trifoliada de tamaño muy reducido todavía; los cotiledones se han secado completamente, y por lo regular se han caído. Al final, se empieza a formar la primera rama, generalmente a partir de la yema de la primera hoja trifoliada.

2.8.5. Etapa V4: Tercera hoja trifoliada

Cuando el 50% de las plantas del cultivo ha desplegado su tercera hoja trifoliada, la Etapa V4 se considera iniciada; en ese momento, dicha hoja se encuentra todavía debajo de la segunda (hoja) trifoliada.

En la axila de cada hoja (incluso de las primarias y de los cotiledones) se encuentra una tríada de yemas que pueden originar estructuras vegetativas y/ o reproductivas; generalmente, las yemas de los nudos que están por debajo de la tercera hoja trifoliada se desarrollan como ramas.

2.8.6. Etapa R5: prefloración

La etapa R5, con la cual comienza la fase reproductiva, se inicia cuando en el 50% de las plantas aparecen los primeros botones florales o los primeros racimos² según sea el hábito de crecimiento. En las variedades de los Tipos II, III y IV, los primeros racimos florales aparecen en la axila de una de las hojas trifoliadas inferiores del tallo principal o de las ramas de la planta. En las variedades determinadas los primeros botones florales aparecen generalmente en el nudo superior del tallo principal; la aparición del primer botón floral, depende de factores como el genotipo, la temperatura, el fotoperíodo, entre otros.

2.8.7. Etapa R6: Floración

Cuando está abierta la primera flor en el 50% de las plantas del cultivo, se ha iniciado la etapa R6. La primera flor abierta corresponde al primer botón formado; por lo tanto, en las variedades de Tipo I (determinadas) la floración empieza en el último nudo (nudo apical) del tallo principal y continúa en forma descendente, mientras que en las variedades de los Tipos II, III y IV (indeterminadas) empieza en la parte baja de la planta y continúa en forma ascendente.

2.8.8. Etapa R7: Formación de las vainas

Después de la fecundación de la flor, la corola se marchita y la vaina empieza a crecer cuando aparece la primera vaina en el 50% de las plantas del cultivo se

considera iniciada la Etapa R7; en ese momento, la corola puede estar desprendida o puede colgar aun del extremo inferior de las vainas.

La etapa R7 termina cuando las vainas han alcanzado su máxima longitud, y sólo entonces comienza definitivamente el crecimiento de los granos (Etapa R8).

2.8.9. Etapa R8: llenado de las vainas

La Etapa R8 empieza cuando en el 50% de las plantas del cultivo la primera vaina cesa de alargarse y empieza a llenarse debido al crecimiento de las semillas; esto se puede comprobar mirando las vainas por el lado de las suturas: se observan los abultamientos correspondientes a las semillas en crecimiento. Al final de la etapa, las semillas comienzan a pigmentarse, comenzando alrededor del hilum; luego la pigmentación se extiende a toda la testa; en algunos genotipos las valvas de las vainas también empiezan a pigmentarse.

2.8.10. Etapa R9: maduración

Se inicia cuando la primera vaina del 50% de las plantas de un cultivo cambia su color verde por amarillo o pigmentado; las hojas, empezando por las inferiores, adquieren un color amarillo y se caen.

Todas las partes de la planta se secan y en particular las semillas, cuyo contenido de agua baja hasta llegar a un 15%; las semillas toman entonces su color final y la planta está lista para la cosecha (CIAT, 1984).

2.9. Composición química y calidad nutracéutica del frijol común

El frijol común tiene un contenido elevado de proteínas, carbohidratos y baja cantidad de lípidos, aunque es rico en ácido linoleico; es considerado una fuente de vitaminas (vitamina C, tiamina, riboflavina, niacina y ácido fólico), y minerales como calcio, magnesio, hierro, fósforo, potasio y zinc. En general, se ha asociado el contenido de proteína con los beneficios que esta leguminosa aporta a la nutrición humana, ya que se ha estipulado que una ración de 90 g de frijoles cocidos aporta 8 g de proteína, casi el 15 % del consumo diario recomendado para un adulto de 70 kg, siendo la digestibilidad de esta proteína del 79 % aproximadamente. Asimismo, su contenido de carbohidratos también aporta beneficios, si bien podría considerarse una desventaja el elevado contenido de carbohidratos, la fracción más importante en

términos nutraceuticos es la representada por los carbohidratos no digeribles como fibra dietaria soluble e insoluble, almidón resistente y oligosacáridos, constituyendo hasta el 50 % del peso de las semillas, y que constituyen las porciones de carbohidratos que llegan durante la digestión directamente al colon y se ha demostrado que esto tiene efectos benéficos contra el cáncer de colon (Bennink *et al.*, 2008; Chávez-Mendoza *et al.*, 2017; Serrano *et al.*, 2004).

2.10. Estudio del comportamiento agronómico del cultivo del frijol

Durante la última década, se ha incrementado el interés en las formas silvestres de plantas cultivadas, en general, y de leguminosas, en particular. Éstas son utilizadas como una fuente importante de genes, principalmente, para resistencia a plagas y a enfermedades, ayudando a la producción de nuevas variedades de alto rendimiento (Gepts, 1991). Los genotipos silvestres representan una fuente de diversidad adicional para los cultivados, convirtiéndose en un reto para el mejorador encontrar el sistema de cruzamiento y de selección, que permita transferir esta diversidad con la mayor eficiencia a los cultivados, sobre todo, si se trata de caracteres poligénicos (Gepts, 1994), dada su menor heredabilidad y la importancia agronómica de los mismos, como en el caso del rendimiento.

2.11. Distancias de siembra

La distancia de siembra o densidad de siembra, depende de la variedad a sembrar, el tipo de suelo, las condiciones agroclimáticas de la zona como luminosidad, vientos y pendiente del terreno, entre otros aspectos. Para establecer la distancia a la cual se debe sembrar es necesario conocer la pendiente del terreno. En general, se recomienda sembrar las plantas en terrenos planos, con distancias de 1 m entre surcos; para terrenos con pendientes elevadas, la distancia entre surcos es entre 1,10 y 1,50 m. Con cualquiera de las distancias de siembra mencionadas, se debe tratar de tener una densidad de población entre 40,000 y 50,000 plantas/ha (Ríos y Quirós, 2002).

2.12. Suelo

El cultivo se puede desarrollar en suelos de orden ultisol e inceptisol, que son suelos de baja fertilidad, aunque de igual manera se puede desarrollar bien en suelos volcánicos o andisoles, que son suelos con una fertilidad moderada (Hernández, 2009).

La profundidad de los suelos donde se vaya a cultivar el frijol debe de ser entre 35 a 40 centímetros para que tenga un libre espacio de desarrollo radicular y facilite la absorción de nutrientes, logrando así un desarrollo óptimo, el suelo de preferencia tiene que ser bien poroso, sin capas rocosas o compactadas y con buena aireación para que haya una adecuada filtración de agua y las raíces puedan moverse con mayor facilidad (FAO, 2018). El pH óptimo para el cultivo de frijol esta entre 6 a 7.5, en suelo enarenado (aportación de suelos arcillosos o salinos) se desarrolla de forma favorable hasta 8.5 (Escoto, 2011).

2.13. Temperatura

El clima propicio para el adecuado desarrollo del cultivo es el clima tropical y la temperatura que requiere esta entre 18 y 24 °C, aunque de igual forma este cultivo puede ser desarrollado a más altas y bajas temperaturas, solo que no tendría la misma producción que cuando se produce en sus temperaturas óptimas. La altura en la que se puede desarrollar el frijol oscila entre 200 a 2,900 metros (FAO, 2018).

2.14. Agua y humedad relativa

Una humedad relativa muy alta, favorece la incidencia de enfermedades de tipo aéreo las cuales se puedan desarrollar con más facilidad y también dificulta el proceso de fecundación en la planta. Una óptima humedad relativa durante la primera fase de este cultivo en un invernadero es del 60 al 65% y de acuerdo se va desarrollando el cultivo, puede aumentar entre 65 al 75% (Peralta *et al.*, 2010).

2.15. Fertilización

Para este cultivo es importante realizar una buena nutrición mineral, ya que, a partir de ese punto se obtiene un adecuado rendimiento de grano. El nitrógeno en el frijol es el de más importancia, fósforo no se requiere en gran cantidad, pero cabe recalcar que este nutriente no se encuentra siempre disponible en todos los suelos, por lo que de igual forma se debe realizar su debida aplicación, acorde a lo que indique el análisis de suelo. El potasio y calcio son otros nutrientes que se necesitan en grandes cantidades en el cultivo de frijol (Hernández 2009). Los requerimientos nutricionales promedio que se requiere el cultivo de frijol, están entre 20 y 50 kg por hectárea de Nitrógeno, 40 y 80 kg por hectárea de P₂O₅ o 15 y 35 kg por hectárea de fósforo y entre 10 y 70 kg por hectárea de K₂O, estas cantidades de nutrientes aportados a la planta de frijol van a depender de las cantidades que se encuentran presentes en el suelo, que se obtiene mediante el análisis de suelo previo realizado en un laboratorio y de la producción. La mayor absorción de N, P, y K ocurre entre los 30 y 45 días y es recomendable fertilizar cuando recién es sembrado el cultivo o una semana después de la siembra (Hernández, 2009).

2.16. Plagas y enfermedades

Conchuela del frijol (*Epilachna varivestis* Mulsant)

El adulto mide de 6 a 8 mm de largo y la larva de 6 a 10 mm de largo, su color es amarillo a café cobrizo, presenta cuerpo oval y convexo, lo distinguen 24 puntos negros que se encuentran en los élitros. El adulto inverna en residuos de cosecha y plantas silvestres. La larva se alimenta del envés de la hoja, dejando intactas las nervaduras, su ciclo biológico: Huevo (5 d), larva (21 d), pupa (11-12 d). Sus larvas son las causantes del mayor daño en el cultivo del frijol, al alimentarse del follaje (SADER, 2019).

Chicharrita del frijol (*Empoasca spp*)

Los adultos miden aproximadamente 3 mm de largo, tiene cuerpo verde pálido iridiscente con seis a ocho manchas blancas en el pronoto. Hay una marca característica con forma de "H" entre la cabeza y la base de las alas. Tienen una vena transversal en las alas cerca del extremo. Los adultos y las ninfas se trasladan a saltos; mientras que solo los adultos pueden volar, si ciclo biológico consiste: Huevo (7 d), ninfa (21 d), adulto (20-30 d).

El primer síntoma visual de la alimentación de este insecto es una clorosis sutil de las venas y el enchinamiento de las hojas. Se produce necrosis en los tejidos distales al sitio de alimentación y se asocia con la acumulación de fotosintatos debido a la oclusión del floema.

Diabrotica (*Diabrotica balteata*)

La hembra oviposita los huevecillos en el suelo cerca de las raíces de las plantas hospederas. El huevecillo es de forma oval de color blanquecino a café a medida que madura, mide alrededor de 0.6 mm de largo por 0.35 mm de ancho. La larva se desarrolla en el suelo alimentándose de las raíces de maíz y sorgo principalmente; pasa por 4 etapas larvales y mide desde 2.3 hasta 8.9 mm de largo dependiendo de la etapa larval, de color variable entre blanco a amarillo pálido, presenta una placa color café en la cabeza y al final del cuerpo. La pupa es de color cremoso y se encuentra en el suelo. Los adultos son pequeños escarabajos que miden de 4 a 6 mm de largo de color verde claro con manchas amarillas en las alas y la cabeza color rojiza.

Es el adulto el que se alimenta del follaje, flores y vainas del frijol causando una reducción de la actividad fotosintética de la planta. El daño son pequeñas perforaciones circulares a ovaladas en hojas y vainas del frijol.

Mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*)

El adulto mide aproximadamente 1 mm de longitud, su cuerpo es de color amarillo limón; las alas son transparentes, angostas en la parte anterior, se ensanchan hacia atrás y están cubiertas por un polvillo blanco. Los ojos son de color rojo oscuro, suelen encontrarse en la parte superior de la planta y en el envés de las hojas más jóvenes donde depositan sus huevos, su ciclo biológico consta: Huevo (6 d), 3 instares ninfales (24-28 d), adulto (5- 28 d). Los daños que causan las moscas blancas en el cultivo son el resultado de la succión de la savia de las hojas, así como de la segregación de melaza. Además de transmitir una gama amplia de virus.

Thrips (*Caliothrips phaseoli*)

Son insectos muy pequeños de 1 a 1,5 mm de largo, cuando están en etapa adulta y son de un color oscuro, etapas juveniles, las larvas, son más pequeñas, de color amarillo y permanecen predominantemente en el dorso de las hojas. Tanto los adultos como larvas, poseen un aparato bucal raspador con el que perforan y desgarran los tejidos vegetales, esto les permite absorber los jugos celulares con los que se alimentan.

Su ciclo biológico: Huevo (6-8 d), Larva I y II (6-9 d), prepupa y pupa (4-6 d), adulto. Como resultado de la alimentación de esta especie, aparecen en las hojas de la planta hospedante, pequeñas manchas blanquecinas (células vacías) que luego toman color amarillento, marrón y hasta rojizo. Por esta razón los cultivos muy afectados presentan hojas plateadas o grises y luego toman color bronceado. Como consecuencia de estas lesiones aumenta la pérdida de agua y en época de sequía se marchitan los cultivos con mayor rapidez; además son una posible vía de ingreso de agentes causales de enfermedad.

Gusano soldado (*Spodoptera exigua*)

El ciclo de vida puede completarse hasta en 24 días. Los huevecillos son opositados en grupos de 50-150 por masa. La producción normal de huevos es de 300-600 por hembra. Estos son usualmente depositados en el envés de las hojas y frecuentemente cerca de los botones y en la punta de la rama. Son de color verdoso a blanco y cubiertos con una capa de escamas blanquecinas, que dan a la masa de huevecillos una apariencia algodonosa. La larva normalmente pasa de cinco instares, son de color verde pálido a amarillo, el cuerpo está prácticamente desprovisto de pelos y espinas. La duración del estado pupal es de seis a siete días bajo condiciones cálidas, las palomillas son de tamaño moderado, la expansión alar es de 25 a 30 mm. Las alas anteriores son de color gris y café moteadas y normalmente con un patrón de bandas irregulares y con una mancha conspicua en forma de frijol. Las larvas se alimentan de follaje y fruto, provocan grandes hoyos irregulares en el follaje.

Picudo del ejote (*Apion godmani*)

Las larvas de aspecto carnoso, ápoda (sin patas) y de coloración blanquecina, tienen forma aperada, con los élitros con punteaduras formando estrías longitudinales y la cabeza con un pico prominente y curvado hacia abajo. La coloración de las patas y las antenas varía en función de la especie. Los primeros adultos aparecen en primavera o antes si el invierno es suave, ocupando los cultivos y las hierbas adventicias para comenzar a alimentarse de hojas y tallos. Tras la eclosión de huevos emergen las larvas las cuales se alimentan de las mismas flores hasta completar su desarrollo larvario para a continuación pupar en el interior de estas. Los adultos aparecen a finales de verano, los cuales se entierran en el suelo con la llegada del invierno, cerrándose así el ciclo biológico de esta especie. Todas las especies de apión tienen un ciclo similar, aunque con diferencias en cuanto al órgano de la planta afectado.

Tanto larvas como adultos causan daños al cultivo, aunque lo más graves los provocan las larvas. Estas se desarrollan en el interior de frutos y semillas, en brotes y tallos o en raíces, dependiendo de la especie de apión y del cultivo. Los adultos mordisquean las hojas y las yemas.

Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*)

Los síntomas pueden aparecer en cualquier parte de la planta, pero el daño más importante se observa en las vainas en formación o recién formadas donde se presentan lesiones amarillo rojizo, semicirculares y rodeadas por un anillo café oscuro o amarillentos; posteriormente se observan hundimientos color café oscuro a negro en el centro de las lesiones.

Las condiciones que favorecen el desarrollo de la enfermedad se encuentran entre una humedad relativa mayor a 92%, con temperaturas de 13 – 22°C y humedad frecuentes, facilitan la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) y su diseminación. El daño que se produce en las vainas es el más grave, disminuye la calidad y el número de granos cosechados.

Tizón común *Xanthomonas axonopodis* (sin. *Xanthomonas campestris* pv. *Phaseoli*)

Los síntomas se presentan en hojas, vainas, tallo y semillas. En hojas, se inicia como pequeñas manchas acuosas, que se oscurecen, aumentan de tamaño y se unen para dar aspecto de quema, con borde amarillo claro, aparece en regiones bajo los 1200 msnm, con temperaturas altas (20-32°C) y lluvias frecuentes. La planta es susceptible desde germinación hasta llenado de las vainas. Es la principal enfermedad bacteriana del frijol y puede ocasionar perdidas entre 20 a 40%.

Roya o Chahuixtle (*Uromices appendiculatus*)

La roya del frijol puede infectar hojas, vainas y en ocasiones tallos y ramas. La infección inicial ocurre en el envés y haz de las hojas. Sin embargo, los primeros síntomas son pústulas (abultamientos) en el envés de las hojas, levemente levantadas. Estas pústulas son del color café rojizo rodeadas de un halo amarillento y aumentan su tamaño, hasta cubrir completamente las hojas.

Los períodos prolongados mayores a 6 horas de humedad relativa superior al 80% y las temperaturas moderadas entre 17-27°C son condiciones favorables para infección, puede defoliar prematuramente la planta y con ello reducir el tamaño de vainas y granos lo que se refleja en baja producción.

Mosaico común en frijol (BCMV)

El mosaico común causa necrosis en las raíces (raíz negra), por lo general se presenta un mosaico verde (manchas verdes claras alternadas con verdes oscuras) y encurvamiento de las hojas hacia el envés, pueden aparecer hojas ampolladas o deformadas. Se transmite por semilla proveniente de plantas infectadas y entre plantas por áfidos. La planta se marchita rápidamente y finalmente muere.

Pudrición del tallo (*Rhizoctonia solani*)

Este patógeno ataca hojas, tallos y vainas. En las hojas aparecen pequeñas manchas de aspecto acuoso y color café claro, rodeadas de borde oscuro. Las manchas crecen, se unen y forman necrosamientos más grandes. En las manchas aparecen pequeños hilos blancos o café claro que pegan las hojas entre sí. Puede causar pérdidas del 40-80% con temperaturas moderadas de 18 a 28 °C y lluvias alternadas. La planta es atacada después de la siembra hasta el llenado de la vaina.

Mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*)

En las hojas se observan manchas que se originan en el envés y que están delimitadas por las nervaduras, luego se convierten en lesiones grisáceas a marrón y carecen de coloración en los bordes. Las lesiones pueden ser tan numerosas como para causar una defoliación prematura. En los tallos, ramas, pecíolos, las lesiones son elongadas y marrones. En las vainas, las lesiones que son menos frecuentes que en las hojas, son superficiales al principio y tienen márgenes, casi negros con centro marrón-rojizo, siendo ambos netamente definidos.

Puede causar pérdidas del 40-80% con temperaturas moderadas de 18 a 28 °C y lluvias alternadas. La planta es atacada después de la siembra, hasta el llenado de la vaina (SADER, 2019).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

En el presente experimento se sembraron siete genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) que incluyen cinco genotipos y dos testigos, los cuales fueron evaluados durante el ciclo agrícola primavera-verano, 2022, bajo condiciones de campo abierto en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en el Campo Experimental “Bajío” en Buenavista, Saltillo, Coahuila, el cual se encuentra ubicado a una latitud de 25° 21'33" N, longitud de 101°02'20" O y a una altitud de 1, 731 msnm (Google Earth, 2024). Con una temperatura media anual de 19.8 °C y precipitación total anual media 350-400 mm. El experimento se realizó bajo el diseño de bloques completos al azar, con dos repeticiones por genotipo, las características del ensayo se representan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características del ensayo y parcela experimental.

Localidad	UAAAN
Fecha de siembra	27 mayo de 2022
Diseño experimental	Bloques completos al azar
No. de repeticiones	2
Régimen hídrico	Riego por cintilla
Número de genotipos	7
Número de surcos por parcela	1
Número de plantas por surco	5
Longitud de surco (m)	1
Distancia entre surcos (m)	0.80
Distancia entre plantas (m)	0.20
Fertilización	20-20-20 y 20-30-10
Densidad de población (plantas por hectárea)	62000

3.2. Germoplasma

El germoplasma utilizado consistió de cinco genotipos de frijol silvestre y dos testigos comerciales Pinto Centauro y Pinto San Rafael (Cuadro 2). El germoplasma fue proporcionado por el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de

Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Cuadro 2. Identificación de genotipos de frijol utilizados en el experimento.

Número de identificación	Genotipo	Número de identificación	Genotipo
G1	LEF-UA-07	G5	LEF-UA-11
G2	LEF-UA-08	G6	Pinto Centauro
G3	LEF-UA-09	G7	Pinto San Rafael
G4	LEF-UA-10		

3.3. Variables a evaluar

Por cada tratamiento se evaluaron 10 plantas que provienen de dos repeticiones de cinco plantas, con la finalidad de obtener los datos correspondientes de las siguientes variables.

1. Número de vainas por planta (NVP)

Se realizó el conteo del número de vainas por planta, obteniendo el promedio por repetición para todos los genotipos evaluados.

2. Número de semillas por vaina (NSV)

Se tomaron 10 vainas por planta y se registró el promedio de número de semillas por repetición para los genotipos evaluados.

3. Longitud de vaina (LV)

Al azar se midieron 10 vainas por planta con una cintra métrica de la base hasta el ápice y se obtuvo el promedio por repetición y se expresó en (cm).

4. Peso de 100 semillas (PCS)

Se contabilizaron cien semillas por repetición de cada genotipo, se pesaron en una báscula digital y se expresó en gramos (g).

5. Rendimiento de la semilla por planta (RSP)

Se obtuvo el peso de semillas por planta y se obtuvo el promedio de las cinco plantas por repetición y se expresó en gramos (g).

3.4. Análisis estadísticos

Se evaluaron cinco variables agronómicas en el experimento de siete genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris*), en ciclo P-V 2022 bajo el diseño de Bloques al azar con dos repeticiones con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observaciones de i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición.

μ = Media general del carácter en estudio.

t_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del j -ésimo bloque.

ε_{ij} = Error experimental en la unidad j del tratamiento i .

Coefficiente de Variación: para determinar la eficiencia del manejo del experimento, se estimó el coeficiente de variación en cada una de las variables consideradas mediante la siguiente fórmula:

$$C. V. (\%) = \frac{\sqrt{CMEE}}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

C.V. = Coeficiente de variación.

CMEE = Cuadrado medio del error experimental.

\bar{x} = Media general de tratamientos.

100 = Constante para expresar el C.V. en porcentaje.

Prueba de Tukey para la comparación de medias

Calcular DMSH = $q(\alpha, T, gl-error) * S\bar{x}$

Dónde:

$q(\alpha, T, \text{gl-error})$ = Valor tabular de Tukey que se encuentra en las tablas, con número de tratamientos T, grados de libertad del error y el nivel de significancia α .

$S_{\bar{x}}$ = error estándar de la media = $\sqrt{\text{CME}/r}$

Correlaciones fenotípicas entre las variables evaluadas

Correlación fenotípica = $(r(xy))$; = $\text{COV}(xy) / S(x) \cdot S(y)$

En donde:

$r(XY)$ y $\text{COV}(XY)$ son las correlaciones y covarianzas fenotípicas en las variables x e y, respectivamente; $S(x)$ y $S(y)$ son las desviaciones estándar fenotípicas.

Los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico Minitab versión 16.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran características cualitativas de los genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizados en el experimento, con respecto al color de la testa de la semilla predominan los de color pinto, el cual está presente en los genotipos: G2, G6 y G7; también se presentaron genotipos de frijol de color Bayo (G1), Rosita (G4), Morado (G5) y Blanco moteado (G3).



Fuente: elaboración propia (color de la testa); Hábito de crecimiento: ¹Tipo determinado arbustivo (I), ²Tipo indeterminado postrado (III) (Cruz-Cruz *et al.*, 2021).

Figura 1. Color de la testa de la semilla de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el hábito de crecimiento.

La otra característica cualitativa que se relaciona es el hábito de crecimiento (Figura 1): hábito determinado arbustivo (D.A.) presente en los genotipos G6 y G7. Indeterminado arbustivo (I.A.) no se expresó en los genotipos evaluados. Indeterminado postrado (I.P.) observado en el resto de los genotipos y por último el indeterminado trepador (I.T.) (Cruz-Cruz *et al.*, 2021). El tamaño y aspecto físico del

grano (color y forma), conforman un fuerte atractivo visual para los consumidores (Castellanos *et al.*, 1997).

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza de bloques completos al azar, para las variables cuantitativas evaluadas en siete genotipos de frijol (Cuadro 2) muestran que se presentaron diferencias significativas entre genotipos para las variables NVP y RSP, además de diferencias altamente significativas entre genotipos para las variables: NSV, LV y PCS. Estos resultados reflejan la variabilidad presente en el germoplasma evaluado. Los coeficientes de variación mostraron valores inferiores al obtenido en la variable RSP (C.V.= 16.5%) por lo tanto, esto nos permite la toma de decisiones confiables con respecto a los datos obtenidos.

Para hacer un mejor uso de los recursos fitogenéticos es importante comprender la variabilidad genética a través de estudios de caracterización del germoplasma. Asimismo, la descripción varietal o caracterización y su evaluación, pueden servir de ayuda en la identificación del germoplasma con posibilidades de mejoramiento por parte de los fitomejoradores y de los agricultores, así como de una utilización directa para la producción y comercialización por los productores (FAO, 2011).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación de las variables agronómicas de genotipos de frijol en ciclo P-V 2022.

F.V.	G.L.	Cuadrados Medios				
		NVP ¹	NSV	LV	PCS	RSP
Genotipos	6	215.13*	1.38**	1.43**	1411.8**	828.5*
Bloques	1	86.50	0.02	0.22	10.1	13.8
Error exp.	6	46.64	0.07	0.15	4.4	134.5
Total	13					
Media		46.77	4.70	10.63	51.14	70.21
C.V. (%)		14.6	5.6	3.6	3.9	16.5

*Significativo al 0.05, **Altamente significativo al 0.01 de probabilidad; ¹NVP= número de vainas por planta, NSV= número de semillas por vaina, LV= longitud de vainas, PCS= peso de cien semillas y RSP=rendimiento de semillas por planta.

En el Cuadro 4 se puede observar la comparación de medias (prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para las características agronómicas. Con respecto al número de vainas por planta estadísticamente ($p \leq 0.05$) destaca el Genotipo 1 (NVP= 66.0), esta característica influyo positivamente dándole el tercer lugar en la variable más importante RSP (80.1 g pl⁻¹), aunque en la variable de PCS (29.9 g) obtuvo el promedio más bajo. El Genotipo 5 fue el que se expresó mejor en RSP (103.0 g pl⁻¹), también destaca por su LV (11.6 cm), PCS (108.8 g) a pesar de que estadísticamente ($p \leq 0.05$) tuvo el promedio más bajo de NSV (3.1), sin embargo, esto se compensa por tener el mayor tamaño de semilla que el resto de los genotipos (Figura 1).

La forma domesticada de *P. vulgaris* L. muestra valores mayores a la silvestre en longitud y anchura de vaina (Lépiz *et al.*, 2010), en el frijol silvestre son pequeñas midiendo de 6 a 8 cm de largo con 5 a 8 óvulos, a diferencia del domesticado el cual pueden medir de 4 hasta 30 cm y con 2 a 9 óvulos (Gepts y Debouck, 1991); asimismo, en el domesticado es mayor la longitud, anchura y espesor de semilla (Vázquez y Cárdenas, 1992) y mayor el peso de 100 semillas (Vázquez y Cárdenas, 1992; Guzmán-Maldonado *et al.*, 2003; Lépiz *et al.*, 2010). En resumen, de los resultados de diversos autores (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 1995, 1996, 1997; Lépiz *et al.*, 2010) se tiene que el peso de la semilla en la forma domesticada es 9 veces mayor en relación con la silvestre, similar a los límites que señalan (Gepts y Debouck 1991), los cuales son de 20 a 100 g/100 semillas en la forma domesticada y de 6 a 14 g/100 semillas en la silvestre lo que difiere con los resultados.

Cuadro 4. Comparación de medias para las variables agronómicas de los siete genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) ordenados de según la variable RSP.

No.	NVP ¹ no	NSV no	LV cm	PCS g	RSP g pl ⁻¹
5	47.8 ab	3.1 b	11.6 a	108.8 a	103.0 a
4	49.8 ab	5.5 a	11.4 a	55.5 b	85.0 ab
1	66.0 a	5.4 a	10.3 ab	29.9 d	80.1 ab
3	44.4 ab	4.5 a	10.6 ab	41.2 c	66.3 ab
2	47.8 ab	5.3 a	9.2 b	38.8 c	61.3 ab
6	38.8 ab	4.6 a	10.2 ab	38.9 c	48.8 b
7	32.8 b	4.5 a	11.3 a	45.0 c	47.0 b
Tukey 0.05	28.44	1.10	1.61	8.73	48.3

¹NVP= número de vainas por planta, NSV= número de semillas por vaina, LV= longitud de vainas, PCS= peso de cien semillas y RSP=rendimiento de semillas por planta; Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$).

El Genotipo 4 cuenta con aceptables componentes de rendimiento que le dan el segundo lugar con respecto RSP (85. g pl^{-1}) en los que más destaca son PCS (55.5 g), NVP (49.8) y LV (11.4 cm) lo que lo caracteriza como uno de los mejores genotipos los cuales, no coinciden con los registrados por Boudet *et al.*, (2015) que señalaron promedios de 26,1, 0,28 cm y 0,24 cm. Además, se conoce que la variabilidad existente entre los individuos de una especie o entre especies, se debe a factores genéticos y ambientales (FAO, 2009). En contraste el Genotipo 7 (Pinto San Rafael) presentó el menor promedio de RSP (47.0. g pl^{-1}) notándose el efecto negativo de su menor promedio en las variables NVP (32.8) y NSV (4.5). Finalmente, podemos concluir que los testigos: Genotipo 6 (Pinto Centauro) y Genotipo 7 (Pinto San Rafael) fueron superados por las líneas experimentales de frijol en todas las variables agronómicas, un factor que pudo influir en su bajo rendimiento fue el hábito de crecimiento donde los testigos de hábito de crecimiento determinado, presentaron menor rendimiento que las líneas experimentales de hábito de crecimiento indeterminado.

La relación entre las variables agronómicas evaluadas se presenta en el análisis de correlación (Cuadro 5). El genotipo G5 presentó semilla de mayor tamaño por ende ocupó más espacio en la vaina dando como resultado un menor número de semillas, por lo tanto, se presentó una correlación negativa entre las dos variables NSV y PCS ($r = -0.805^*$).

Cuadro 5. Correlaciones fenotípicas entre las variables agronómicas evaluadas, ciclo P-V 2022.

	NVP ¹	NSV	LV	PCS
NSV	0.366			
LV	-0.211	-0.502		
PCS	-0.086	-0.805*	0.633	
RSP	0.604	-0.311	0.437	0.709

*Significativo al 0.05, ¹NVP= número de vainas por planta, NSV= número de semillas por vaina, LV= longitud de vainas, PCS= peso de cien semillas y RSP=rendimiento de semillas por planta.

Con respecto a los componentes del rendimiento (RSP) en la matriz de correlaciones se observa que las variables NVP ($r= 0.604$) y PCS ($r=0.709$) fueron las que mayor contribuyeron rendimiento como se muestra en los genotipos G5 y G4 (Cuadro 5).

Generalmente, los programas de mejoramiento genético tienen como finalidad obtener cultivares apropiados para un conjunto de caracteres; por eso, el conocimiento de la naturaleza y magnitud de las correlaciones entre caracteres de interés es de fundamental importancia (Ferreira *et al.*, 2003).

Los estudios de caracteres correlacionados son importantes en los programas de mejoramiento, principalmente en generaciones altamente segregantes (Kurek *et al.*, 2001). La selección indirecta es importante para los programas de mejoramiento, en especial, si la selección con base en el carácter principal presenta dificultades (Cruz *et al.*, 2004).

V. CONCLUSIONES

- El germoplasma evaluado mostró variabilidad genética en las características cualitativas de color de testa y hábito de crecimiento.
- En el análisis de varianza de bloques al azar se presentaron diferencias significativas y altamente significativas entre genotipos para las variables agronómicas evaluadas.
- El G1 (Bayo) supero estadísticamente al resto de los genotipos con un promedio de NVP= 66.
- Para las variables: LV =11.6 cm, PCS= 108.8 g y RSP= 103.0 g. El G5 (Morado) estadísticamente fue el de mejor comportamiento.
- El G4 (Rosita) se mantuvo en segundo lugar con respecto al rendimiento RSP =85.0 g, NVP= 49.8 y PCS= 55.5 g.
- Las líneas experimentales expresaron un mayor rendimiento (RSP) que los testigos G6 (Pinto Centauro) y G7 (Pinto San Rafael) y se caracterizaron por un hábito de crecimiento determinado.
- Se presentó una correlación negativa y significativa entre PCS y NSV ($r = -0.805^*$).
- Las variables NVP ($r=0.604$) y PCS ($r= 0.709$) fueron los principales componentes del rendimiento.

VI. LITERATURA CITADA

Acosta, J.; Ochoa, R.; Sánchez, I. (1985). Efecto del genotipo y del ambiente sobre algunas características del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones de tempo-ral. Agn. téc. Méx. 11:105-119

Acosta, J.; Ochoa, R. (1992). Amplia adaptación vs adaptación específica en frijol de temporal. In: Memorias del Simposio Interacción Genotipo- Ambiente en Genotecnia Vegetal. Soc. Méx, de Fitogenética, A.C. Guadalajara, Jal. México. pp. 297-324

Avendaño-Arrazate C H, P Ramírez-Vallejo, F Castillo-González, J L Chávez-Servia, G Rincón-Enrique (2004) Diversidad isoenzimática en poblaciones nativas de frijol negro. Rev. Fitotec. Mex. 27:31-40.

Ayala, Alma Velia (2021). El Cultivo del Presente y Futuro para Frijol México. México: INIFAP. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, S. (s/f). Estima Agricultura crecimiento de 11.4% de la producción de frijol en 2021; mantiene tendencia al alza. gov.mx. Recuperado el 18 de octubre de 2023, de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/estima-agricultura-crecimiento-de-11-4-de-la-produccion-de-frijol-en-2021-mantiene-tendencia-al-alza>

Bayuelo, J. J. S.; Peña, V. C. B. and García N. R. (1995). Relation between yield components and morphological characteristics of bean in a gradient of domestication. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative. (38):31-32.

Beebe, S.D., Skroch, P.W., Thome, J., Duque, M.C., Pedraza, F., Nienhuis, J. (2000). Structure of genetic diversity between common bean land races of Middle America origin based on correspondence analysis of RAPD. Crop Science, 40 (1): 264-273. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.401264x>

Bellon, M.R., Barrientos, A.F., Colunga, P., Perales, H., Reyes, J.A., Rosales, R. y Zizumbo, D. (2009). Diversidad y Conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. In: Sarukhán J., Dirzo. R., March, I. (eds). Capital Natural de México, Vol II:

Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. pp. 355-382. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5040.5922>

Bennink, M. & Rondini, E. (2008). Dry beans and human health, an overview of the status of the science on dry beans and human health. The Bean Institute. 90-12 p.

Boudet, A., T. Boicet Y R. Oduardo. (2015). Rendimiento y sus componentes en variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Centro Agrícola, 42 (3): 61-68.

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2019). Producción de granos básicos y suficiencia alimentaria 2019-2024. Palacio Legislativo de San Lázaro. Ciudad de México. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/39ProduccionGranosB%C3%A1sicos.pdf>

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2020). Mercado del frijol, situación y prospectiva. Palacio Legislativo de San Lázaro, Ciudad de México. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/53Mercado%20del%20frijol.pdf>

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (1984). Morfología de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali, Colombia, S.A.

Cruz, C. D., A. J. Regazzi, e P. C. S Carneiro. (2004). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3. ed. Ed. UFV. Viçosa 1: 480.

Didinger, C., Foster, MT, Bunning, M. y Thompson, HJ (2022). Beneficios para la nutrición y la salud humana de los frijoles secos y otras legumbres. En M. Siddiq y MA Uebersax (Eds.), *Frijoles secos y legumbres: producción, procesamiento y nutrición* (págs. 481 – 504). John Wiley e hijos

Escoto N. (2011). El cultivo de frijol. 2nd ed. Tegucigalpa, Honduras. Editorial MDC. 43p. <http://www.dicta.gob.hn/files/2011,-Cultivo-de-frijol-G.pdf>

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2009). Enciclopedia Práctica de la Agricultura y la Ganadería. Editorial Océano. Barcelona, 1048 p.

FAO. (2022). Datos sobre producción y comercio de cultivos. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). Pequeñas semillas, grandes soluciones. Ciudad de Panamá. 296 p; [consultado el 26 de jul. De 2020]. ISBN: 978-92-5-131129-5.

FAO. (2011). Segundo plan de acción mundial para los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Consejo de la FAO, Roma, Italia. 108 p.

Fernández, F. (1986). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Ferreira, M. A., M. A. Quiroz, L. T. Braz e R. Vencousky. (2003). Correlaciones fenotípicas, genotípicas e de ambiente entre dez caracteres de melancia e suas implicacoes para o melhoramento genético. *Horticultura Brasileira*, 21(3):170-175

Freytag, G.F. y Debouck D.G. (2002). Taxonomy, distribution, and ecology of the genus *Phaseolus* (Leguminosae-papilionoideae) in North America, Mexico and Central America. Botanical Research Institute of Texas (BRIT), Ft Worth, TX, USA. <https://hdl.handle.net/10568/54291>

Gan, Y., Liang, C. , Hamel, C. , Cutforth, H. y Wang, H. (2011). Estrategias para reducir la huella de carbono de los cultivos extensivos en zonas semiáridas. Una revisión. *Agronomía para el Desarrollo Sostenible* , 31 , 643 – 656 .<https://doi.org/10.1007/s13593-011-0011-7>

Gepts, P. and Debouck, D. (1991). Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *In: common beans: research for crop improvement*. Schoonhoven, A. V. and Voysest, O. (Eds.). CAB International y CIAT: Wallingford. UK. 7-43 pp.

Gepts, P. (1994). Análisis moleculares del proceso de domesticación en plantas: El ejemplo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). En: Congreso Latinoamericano de Genética (Área Vegetal) y Congreso de Fitogenética. Monterrey (México). 25-30 Sep. 1994. Memorias. Chapingo, México. Sociedad Mexicana de Fitogenética. p.3-28.

Google Earth, (2024). Consultado en febrero del 2024. Disponible en: <https://earth.google.com>

Guzmán, M. S. H.; Martínez, O.; Acosta, G. A. J.; Guevara, L. F. and Paredes, L. O. (2003). Putative qualitative trait loci for physical and chemical components of common bean. *Crop Sci.* 43:1029-1035.

Hernández J. (2009). Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*), Manual de recomendaciones técnicas cultivo de frijol. San José, Costa Rica. Ministerio de agricultura y ganadería (MAG) de Costa Rica.

Herrera, M.D., Acosta-Gallegos, J.A., Reynoso-Camacho, R., Pérez-Ramírez, I.F. (2019). Common bean seeds from plants subjected to severe drought, restricted- and full-irrigation regimes show differential phytochemical fingerprint. *Food Chemistry*, 294, 368-377.

Kaplan L. (1965). Archeology and domestication in American *Phaseolus* (beans). *Econ. Bot.* 19:358-368

Kurek, A. J., F. I. F. Carvalho, I. C. Assmann, V. S. Marchioro, e P. J. Cruz. (2001). Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. *Rev. Bras. Agrociência* 7(01): 29-32.

Kwak M, Kami J.A, y Gepts. (2009). The Putative Mesoamerican Domestication Center of *Phaseolus vulgaris* is Located in the Lerma–Santiago Basin of Mexico. *Crop Science*, 49 (2):554- 563. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.07.0421>

Lépiz, I. R.; López, A. J. J.; Sánchez, G. J. J.; Santacruz, R. F.; Nuño, R. R. y Rodríguez, G. E. (2010). Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(1):21-28.

Manuel DMV. (2016). Identificación de qtls de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) asociados a tolerancia a sequía. Universidad Nacional de Colombia; 2016.

Núcleo Ambiental S.A.S. (2015). Manual Frijol. Colombia: Cámara de Comercio de Bogotá.

Peralta E, Murillo A, Mazón N, Monar C, Pinzón J, Rivera M. (2010). Manual agrícola de frijol y otras leguminosas. 2nd ed. Quito, Ecuador. Editorial S.A INIAP. 70p. <https://docplayer.es/52714675-Manual-agricola-de-frejol-y-otras-leguminosas-cultivosvariedades-costos-de-produccion.html>

Ramírez-Jaspeado, R., Palacios-Rojas, N., Nutti, M. y Pérez, S. (2020). Estados potenciales en México para la producción y consumo de frijol biofortificado con hierro y zinc. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 43(1): 11-23

Reinprecht, Y., Schram, L., Marsolais, F., Smith, TH , Hill, B. y Pauls, KP (2020). Efectos de la aplicación de nitrógeno sobre la fijación de nitrógeno en la producción de frijol común. *Fronteras en la ciencia vegetal* , 11 , 1172. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01172>

Ríos B; Quiros D. (2002). El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivo, Beneficio y Variedades. Convenio Fenalce.

Saburido, M., y Herrera, A. (2015). El frijol en la Era Genómica. *RDU. Revista Digital Universitaria*, 16 (2). Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art11/>

SADER. (2019). plagas y enfermedades del frijol. México. SADER Recuperadode https://cesaveson.com/files/docs/campanas/Bienestar/plagas_frijol.pdf

SADER. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2020). Producción Nacional: Cierre de la producción agrícola (1980-2020). <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2016). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030.

Smith B D (1997). The initial domestication of *Cucurbita pepo* in the Americas 10,000 years ago. *Science* 276:932-934.

Smith B D (2001). Documenting plant domestication: The consilience of biological and archaeological approaches. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94:1324-1326.

Smith B D (2005). Reassessing Coxcatlan Cave and the early history of domesticated plants in Mesoamerica. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102:9438-9445.

SIAP-SADER. (2021). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Singh, S.P., Gutierrez, J.A.; Molina, A.; Urea, E. & Gepts, P. (1991). Genetic diversity in Common beans: II Marker-based analysis morphological and agronomic traits. *Crop Science* 31 :23-49.

Übersax, M. (2022). Frijoles secos (*Phaseolus vulgaris* L.) como un componente vital de agricultura sostenible y seguridad alimentaria. *Legume Science*, (5), pp.1-13.

Vázquez, C. G. y Cárdenas, R. F. (1992). Características físicas, tecnológicas y proteínicas de frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestres y domesticados. *Arch. Latinoam. Nutr.* 42(2):201-209.