

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comportamiento Agronómico y Componentes de Rendimiento en Germoplasma de
Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Por:

MISAEAL DÍAZ PORFIRIO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Comportamiento Agronómico y Componentes de Rendimiento en Germoplasma de
Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Por:

MISAEAL DÍAZ PORFIRIO

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



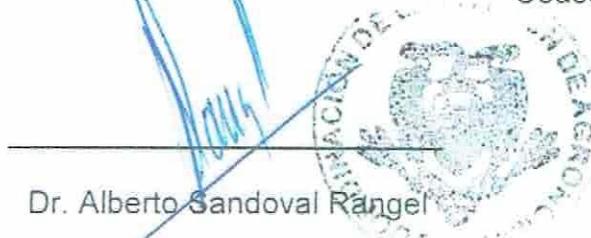
Dra. Xochitl Ruelas Chacón

Coasesor



Dr. Armando Muñoz Urbina

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Febrero, 2025

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, graficas, 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



Misael Díaz Porfirio

DEDICATORIA

A mis padres, **Félix Díaz Santana** y **Romelia Porfirio Leocadia** por ser mi equipo de trabajo, mi fuerza y mi inspiración. Gracias por su apoyo inquebrantable, su amor y sus sacrificios para que yo pueda cumplir mis sueños. Su influencia en mi vida ha sido fundamental para mi crecimiento personal y profesional. Estoy eternamente agradecido por su dedicación y compromiso con mi educación, y espero que este trabajo sea un tributo a su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos; **Carolina, Adriana, Efigenia, Efraín, David, Heriberto, Guilebaldo, Sara Yamileth y Sofía Janet** quienes me dieron su apoyo incondicional y constante para poder lograr esta meta y aunque en momentos de adversidad el apoyo siempre ha sido mutuo para seguir adelante, en hora buena aquí expreso mi gratitud hacia ustedes, quienes son mi fortaleza y motivación para seguir cumpliendo mis objetivos.

A mis abuelos **Francisco Díaz** y **Enriqueta Santana** a quienes considero ser como segundos padres, que me han apoyado a lo largo de mi vida. Gracias por guiarme con sus buenos consejos llenos de sabiduría, por creer en mí y por ser un pilar fundamental en mi formación personal y académica.

A mi novia **Daniela** por su apoyo incondicional en cada etapa de este camino. Gracias por estar siempre a mi lado y por ser mi compañera de vida, este logro también es tuyo.

A mi segunda familia **Guadalupe Palma** y **Luis Ángel Analco**, por brindarme su invaluable apoyo y consejos. Su presencia en mi vida ha sido fundamental para mi crecimiento y éxito académico.

Les dedico este momento, que requiere ahínco, lucha y deseo, pero, sobre todo, el apoyo que he recibido durante este tiempo, y ahora más que nunca, mi cariño y gratitud hacia ustedes se acrecientan.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por haberme permitido la vida, salud, tiempo y sabiduría durante todo el período de mi carrera por brindarme la fuerza y poder alcanzar esta meta, no solo en mi formación profesional sino también en cada etapa de mi vida. Te doy gracias por lo bueno y lo malo pues es tu voluntad, porque al final de todo en ti confié y nada me faltará.

A mi Alma Mater, la gloriosa **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por brindarme la oportunidad de formar parte del nido, por ser una institución llena de oportunidades y excelentes Profesores. Gracias por enriquecerme de conocimientos y formarme como profesionista y sobre todo por darme los mejores años de mi vida acompañada de grandiosos amigos.

A mi asesor de tesis el **Dr. Antonio Flores Naveda** por confiar en mí y darme la oportunidad de desarrollar mi trabajo de tesis en este tema de mi gran interés, gracias por compartir sus conocimientos conmigo, por todo el apoyo y dedicación en este trabajo.

A la **Dra. Xochitl Ruelas Chacón** por su paciencia, apoyo y por compartir conmigo sus valiosos conocimientos y enseñanzas durante la realización de mi tesis. Su guía fue indispensable para alcanzar este logro.

Al **Dr. Armando Muñoz Urbina** por su apoyo en la revisión de la tesis y por la aportación de sus consejos y comentarios, pero sobre todo su tiempo para la culminación del presente trabajo. Su compromiso y orientación fueron fundamentales en este proceso.

A mis amigos, **Rosa Hernández y Neri Silvestre** quienes me ayudaron a sacar adelante el experimento y por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera. Gracias por estar a mi lado en cada etapa, brindándome su amistad, comprensión y motivación en este camino lleno de desafíos y aprendizajes.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos	2
1.3. Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Generalidades	4
2.2. Botánica e historia.....	5
2.3. Clasificación taxonómica	6
2.4. Importancia del cultivo de frijol	6
2.5. Producción de frijol a nivel mundial	7
2.6. Producción de frijol en México.....	8
2.7. Macro Red Básicos e Industriales	9
2.8. Conservación <i>in situ</i>	10
2.9. Conservación <i>ex situ</i>	11
2.10. Banco de germoplasma	11
2.11. Morfología de la planta	12
2.12. Etapas de crecimiento y desarrollo de la planta	16
2.13. Principales enfermedades.....	19
2.14. Principales plagas	21
2.15. Valor nutricional.....	22
2.16. Valor agregado.....	23

III.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1.	Localización del sitio experimental	24
3.2.	Germoplasma de frijol	25
3.3.	Variables evaluadas	25
3.3.1.	Número de vainas por planta (NVP).....	25
3.3.2.	Números de semillas por vaina (NSV).....	25
3.3.3.	Longitud de vaina (LV).....	25
3.3.4.	Ancho de vaina (AV).....	25
3.3.5.	Número de semillas por planta (NSP).....	26
3.3.6.	Peso de 100 semillas (P100S).....	26
3.3.7.	Rendimiento de semilla por planta (RSP).....	26
3.4.	Análisis estadístico.....	26
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
V.	CONCLUSIONES.....	31
VI.	LITERATURA CITADA.....	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de las etapas de desarrollo en un cultivo de frijol común....	16
Cuadro 2. Características del ensayo experimental.....	24
Cuadro 3. Identificación y procedencia de los genotipos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) evaluados en el Campo Experimental de la UAAAN, ciclo P-V 2024.....	25
Cuadro 4. Representación de cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación de los componentes del rendimiento en frijol evaluados en ciclo P-V 2024 en el Campo Experimental de la UAAAN.....	29
Cuadro 5. Comparación de medias para las variables agronómicas de genotipos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) ordenados según la variable RSP.....	30
Cuadro 6. Correlaciones fenotípicas entre las variables agronómicas de los genotipos evaluados, en el Campo Experimental de la UAAAN.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de frijol de 1961 a 2022.....	7
Figura 2. Comportamiento en la superficie de siembra, producción y rendimiento de frijol en México.....	8
Figura 3. Representación esquemática de desarrollo de la planta de frijol a través de sus estados fenológicos.....	16
Figura 4. Clasificación de los tipos de frijol en base al hábito de crecimiento.....	18
Figura 5. Color de la testa de la semilla de genotipos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y sus diferentes hábitos de crecimiento.....	28

RESUMEN

La evaluación de la variabilidad genética de los genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) permite identificar características agronómicas sobresalientes para el incremento del rendimiento en un ambiente determinado. Por lo tanto, el objetivo principal del presente trabajo de investigación fue seleccionar plantas de frijol, mediante su comportamiento agronómico y rendimiento de semilla. Los genotipos se establecieron en el ciclo Primavera-Verano del 2024 en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con cinco repeticiones por genotipo, además se realizó 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. El germoplasma utilizado comprendió tres genotipos de frijol, dos líneas experimentales: G1 (LEF-UA-01), G2 (LEF-UA-02) y un testigo comercial G3 (Pinto Saltillo), proporcionados por el Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN. Las variables evaluadas comprendieron dos características cualitativas: color de la testa y hábito de crecimiento. Así también características cuantitativas que comprenden los componentes del rendimiento: número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV), longitud de vaina (LV), ancho de vaina (AV), número de semillas por planta (NSP), peso de 100 semillas (P100S) y rendimiento de semilla por planta (RSP).

En los resultados obtenidos para las variables cualitativas se determinó que dos líneas experimentales (G1 y G2) correspondieron al hábito de crecimiento determinado arbustivo (Tipo I) y el testigo (G3) tuvo un hábito de crecimiento indeterminado postrados (Tipo III). En cuanto al color de la testa el G1 presentó un color blanco, el G2 fue de color negro y el G3 color pinto. El análisis de varianza de bloques completos al azar detectó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos para las variables agronómicas evaluadas, excepto para el número de vainas por planta (NVP).

Los coeficientes de variación presentaron valores confiables con un rango de 2.94% a 18.64%. El genotipo 3 (Pinto Saltillo) superó estadísticamente Tukey ($p \leq 0.05$) al resto de los genotipos en las características LV (9.1 cm), AV (0.8 cm), P100S (28.8 g) y presentó un rendimiento promedio de (137.9 g pl^{-1}). El genotipo 2 (LEF-UA-02) superó estadísticamente a los demás genotipos en la variable NSP (113.6) y presentó un alto promedio de NVP (30.9). El genotipo 1 (LEF-UA-01) expresó el menor rendimiento en este experimento. Se presentó una correlación positiva y significativa ($p \leq 0.05$) entre las variables RSP y LV ($r = 0.999^*$). Las variables LV ($r = 0.999^*$), AV ($r = 0.855$) y P100S ($r = 0.952$) contribuyeron positivamente al RSP.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L, características agronómicas, correlaciones fenotípicas.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una importante legumbre altamente consumida por la población a nivel mundial. Su demanda va aumentando a medida que los consumidores adoptan dietas cada vez más basadas en este cultivo. Se consumen como hortalizas frescas, como vainas verdes y sanas, como semillas maduras o como granos secos (CIAT, 2024).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), chícharo o arvejón (*Pisum sativum* L.), el garbanzo (*Cicer arietinum* L.), la lenteja (*Lens culinaris*) y el haba (*Vicia faba* L.) están entre las legumbres de mayor producción y consumo a nivel mundial (FAO, 2019). Estos cultivos son un rico recurso mundial de biodiversidad con dos centros de domesticación (Andes y Centroamérica) y más de 10 clases de mercado importantes cultivadas a nivel mundial. (*Phaseolus vulgaris* L) es una planta herbácea perteneciente a la familia de las *fabaceae*, presentan tallos delgados y débiles con secciones cuadrangulares, ocasionalmente rayados de púrpura, hojas trifoliadas con ápices acuminado laterales más o menos tubulosos y estandarte redondeado, puede llegar a alcanzar una altura de aproximadamente 50 a 70 cm y sus raíces se caracterizan por tener una raíz pivotante principal y numerosas ramificaciones (SAGARPA, 2017).

Además, es un cultivo leguminoso de ciclo corto capaz de asociar rizobios responsables de la fijación biológica de nitrógeno, una de las fundamentales ventajas que tiene la planta, para la reducción de los gases de efecto invernadero ya que no requieren procesos intensivos en energía asociados con la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Reinprecht *et al.*, 2020).

Su relevancia radica en ser una leguminosa más importante utilizada para el consumo humano directo. Los nutriólogos identifican a los frijoles como una fuente alimenticia excepcional debido a su alto contenido de proteínas y su combinación de carbohidratos, fibra dietética y minerales, especialmente hierro y zinc, y carbohidratos como fibra dietaria y oligosacáridos.

Adicionalmente, el frijol es importante por su contenido de fitoquímicos sintetizados del metabolismo secundario, como los polifenoles, fitoesteroles y saponinas (Didinger *et al.*, 2022 y Lomas-Soria *et al.*, 2015).

En el año 2020, la producción mundial de frijol alcanzó 27.5 millones de toneladas métricas, con una superficie cosechada de 34.8 millones de hectáreas. Desde 1990, la producción de frijoles secos ha experimentado un incremento del 60%, acompañado por un aumento del 36% en el área dedicada a la cosecha durante el mismo período (FAO, 2022).

El frijol desempeña un papel significativo en la actividad agrícola de México, tanto en términos de la extensión de tierra dedicada a su cultivo como por la contribución económica que genera. Este alimento no solo forma parte fundamental de la dieta mexicana, sino que también representa productos de alta relevancia socioeconómica para la población. En nuestro país, se cultivan aproximadamente 70 especies de *Phaseolus*, siendo el frijol común (*P. vulgaris* L.) el más destacado debido a su relevancia en términos económicos, sociales, biológicos, alimenticios y culturales (CEDRSSA, 2020). Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se realizó con los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Seleccionar plantas de frijol, mediante su comportamiento agronómico y rendimiento de semilla.

1.2. Objetivos específicos

Evaluar las características cualitativas y cuantitativas del germoplasma experimental de frijol y las correlaciones fenotípicas entre las variables.

1.3.Hipótesis

Hi. Los genotipos con mayor adaptación en el ambiente evaluado, presentarán un mayor potencial de rendimiento de semilla.

Ho. Ninguno de los genotipos de frijol, presentará capacidad de adaptación al medio ambiente evaluado y un potencial de rendimiento de semilla.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se considera una de las legumbres más importantes para el consumo directo humano, ya que aporta el 30% de la alimentación total diaria de proteínas en los países en desarrollo (Labastida *et al.*, 2023). De acuerdo a estudios de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se produce en diversos sistemas de producción y ambientes en regiones como África, Europa, América Latina, Cercano Oriente, y en países como Estados Unidos, Canadá y China. Este cultivo es una planta herbácea perteneciente a la familia de las *fabaceae*, suelen tener tallos delgados y débiles, cuadrangulares, ocasionalmente rayados de púrpura, hojas trifoliadas, ápice acuminado, laterales más o menos tubulosos y redondeado. Puede llegar a tener una altura de 50 a 70 cm y sus raíces se desarrollan con una raíz principal pivotante y con ramificaciones (SAGARPA, 2017).

El frijol es considerado un ingrediente primordial alimenticio rico en proteínas, vitaminas, minerales y fitonutrientes (Geraldo *et al.*, 2022). Además de los valores nutritivos, las legumbres también son fuente fundamental de fenólicos, especialmente isoflavonas, los contenidos fenólicos y su relación con las actividades antioxidantes, en los que todos los frijoles también se catalogaron en frijoles secos, lentejas, garbanzos, caupí, gandules y guisantes (Singh *et al.*, 2017). En los frijoles secos se exploraron principalmente una diversidad de contenidos fenólicos totales, desde 0,25 mg de equivalente de ácido gálico (GAE)/g de peso seco (PS) en frijoles hasta 157,6 mg GAE/g PS en habas (Chaieb *et al.*, 2011 y Kan *et al.*, 2017)

Se considera que existen alrededor de 75 especies (Delgado-Salinas *et al.*, 2006), del género *Phaseolus* destacan cinco especies domesticadas en México: *P. vulgaris* (frijol común), *P. lunatus* (frijol mantequilla), *P. acutifolius* (frijol tepary), *P. coccinetus* spp. *Cocctetus* (frijol ayocote) y *P. dumosus* = *P. polyanthus* (*P. coccineus* ssp. *Darwinianus*); (Hernández-López *et al.*, 2013).

2.2. Botánica e historia

El frijol *Phaseolus vulgaris* L. fue originalmente un cultivo del Nuevo Mundo, se ha sembrado ampliamente en las principales zonas continentales su producción se extiende desde los 52°N hasta los 32°S de latitud (Schoonhoven y Voysest, 1991). Esta especie fue domesticada en las regiones altas de América Latina hace más de 7000 años (Kaplan, 1965; Gepts y Debouck, 1991).

De acuerdo a estudios detallados sobre las formas ancestrales silvestres del frijol en las regiones montañosas de México y la América del Sur Andina, se ha determinado que en cada región se llevaron a cabo diversos procesos de domesticación (Gepts *et al.*, 1986; Koenig *et al.*, 1990; Koinange y Gepts, 1992), esta domesticación, ha dado lugar a una amplia variabilidad genética por el tamaño de las semillas entre los cultivares mesoamericanos y quizás introducida a través de la introgresión de los cultivares con semillas más grandes.

En el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ubicado en Cali, Colombia, resguarda una impresionante colección mundial que comprende más de 40.000 muestras. Esta colección abarca una amplia diversidad que incluye especímenes autóctonos silvestres y de malezas, variedades locales no mejoradas y líneas puras de *Phaseolus vulgaris*, así como numerosas especies relacionadas. Se incluyen muestras recopiladas anteriormente por particulares, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la Universidad de Cambridge y varios programas nacionales, así como las colecciones realizadas en colaboración con la Junta Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), su nombre fue asignada por Linneo en el año 1753, a la tribu Phaseoleae, subfamilia Papilionoideae, familia Leguminosae y al orden Rosales (Ulloa *et al.*, 2011). Esta leguminosa recibe diversos nombres según la región; entre los más comunes están: alubia, judía, frijol, frísol, frejol, habichuela, caraota, poroto, entre otros.

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo de estación cálida con una gran variabilidad genética. Se pueden encontrar de dos tipos de crecimiento: arbustos herbáceos erectos (determinados) de hasta 20 a 60 cm de altura y enredaderas trepadoras (indeterminadas) de hasta 2 a 5 m de largo (Ramírez-Villegas *et al.*, 2013). El cultivo crece bien entre 1400 y 2000 m sobre el nivel del mar. Aunque el frijol es adecuado para la seguridad alimentaria debido a su ciclo de crecimiento corto (2, 5 a 3 meses) y su capacidad de adaptabilidad a diversos sistemas de cultivo (Wagara y Kimani, 2007).

2.3. Clasificación taxonómica

A continuación, se presenta la clasificación de acuerdo Linneo en 1753.

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Subclase: *Rosidae*

Orden: *Fabales*

Familia: *Fabaceae*

Género: *Phaseolus*

Especie: *vulgaris*

Este género comprende alrededor de 150 especies a nivel mundial, de las cuales 57 se encuentran en México con gran variedad de tamaños y colores, 31 son endémicas y cinco han sido domesticadas. En nuestro país se domesticaron al menos cuatro especies (Delgado y Gama, 2015).

2.4. Importancia del cultivo de frijol

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es el principal cultivo de leguminosas con una participación del 85% en la producción mundial (Machiani *et al.*, 2019).

Es un alimento nutritivo con alto contenido de proteínas, fibra, carbohidratos complejos, vitaminas y micronutrientes, existen investigaciones que han demostrado que reducen la obesidad y otras enfermedades cardiovasculares como el cáncer y aumentan la capacidad y el rendimiento cognitivos; se estima que alrededor de 400 millones de personas consumen los frijoles como parte de su dieta diaria (CGIAR, 2024).

2.5. Producción de frijol a nivel mundial

En el año 2020, la producción global de frijol y el área cosechada alcanzó los 27,5 millones de toneladas métricas y 34,8 millones de hectáreas, respectivamente. El cultivo de frijol, ha registrado un notable incremento del 60% desde 1990, acompañado de un aumento del 36% en la superficie dedicada a su cultivo en el mismo período (FAO, 2022). Asia lidera de la producción de esta legumbre abarcando 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 el 2% de la producción total (Figura 1). Los datos demuestran que el incremento de la producción en las últimas tres décadas se debe a la expansión en el área cultivada y resultados significativos en el mejoramiento genético del frijol, incluyendo mejores prácticas agronómicas (manejo de cultivos, semillas, fertilidad del suelo y eficiencia de cosecha).

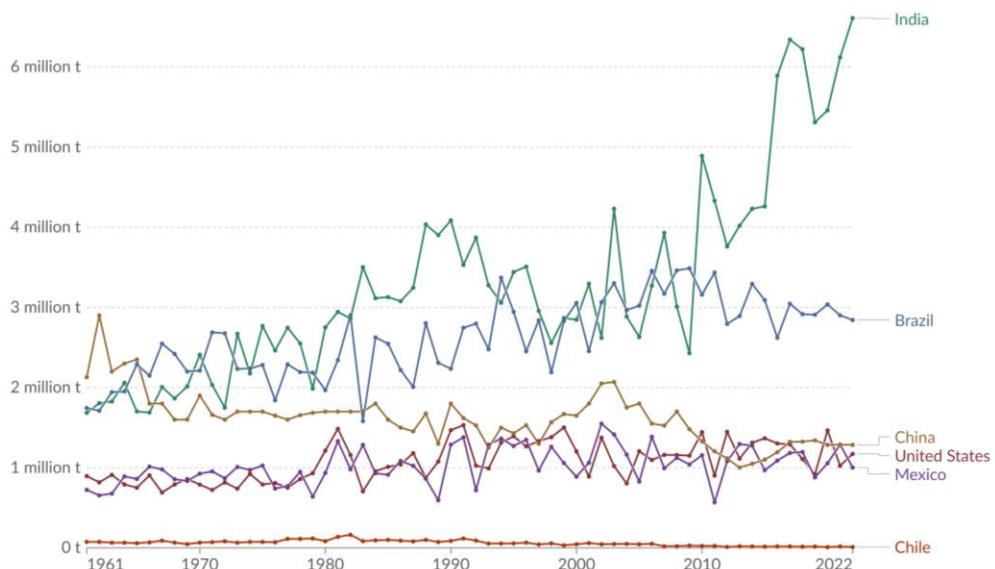


Figura 1. Producción mundial de frijol de 1961 a 2022 (FAO, 2023).

2.6. Producción de frijol en México

En nuestro país, el frijol es un cultivo de gran importancia ya que forma parte la dieta básica de la población, su consumo está definido geográficamente por los diferentes tipos de frijol. Por ejemplo, en el norte del estado de Sonora se consume preferentemente los tipos pintos, en el sur del estado y en el estado de Sinaloa los tipos azufrados, en el norte de México pintos, ojo de cabra y bayos, en el centro y sur de México los negros. Anualmente en México se han sembrado en los últimos veinte años un promedio de alrededor de 1.63 millones de hectáreas con una producción de 1.075 millones de toneladas y un rendimiento promedio de 660 kg/ha (SIAP, 2023).

En casi todos los estados de la república mexicana se siembra este cultivo, sin embargo, los estados que mayor superficie destinaron a este cultivo en el ciclo agrícola 2022/2023 fueron: Zacatecas, Durango, Chiapas, Chihuahua, Guanajuato y Nayarit con: 609,494; 191,511; 115,309; 82,544 60,984 y 54,704 ha respectivamente (Figura 2). En cuanto al rendimiento, los más altos se obtuvieron en siembras de O-I en los estados de: Guanajuato, Sonora y Sinaloa con rendimientos de 2.433; 2.241 y 1.981 ton/ha respectivamente (SIAP, 2023).

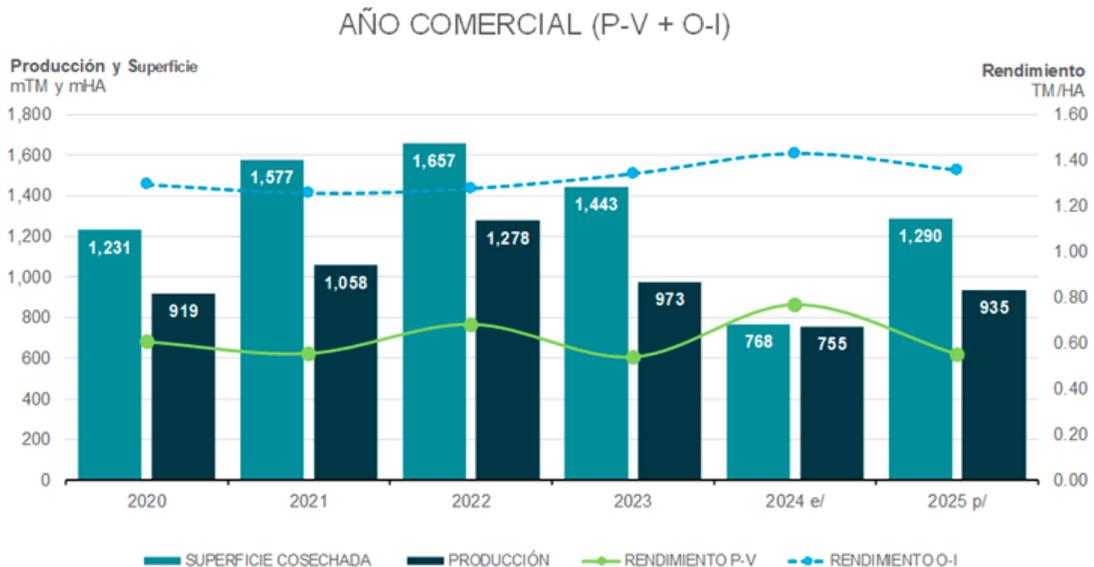


Figura 2. Comportamiento en la superficie de siembra, producción y rendimiento de frijol en México (SIAP, 2024).

2.7. Macro Red Básicos e Industriales

El cultivo de frijol en México es un componente esencial de la agricultura nacional y de la dieta mexicana, representando una fuente significativa de proteínas y fibra. México se distingue por su diversidad y riqueza en este cultivo con alrededor de 70 variedades en el país (SADER, 2024). En el año 2024, la producción ha experimentado una notable disminución debido a condiciones climáticas adversas, especialmente sequías que han afectado las principales regiones productoras como Zacatecas, Durango y Chihuahua. Esto representa una caída de 23% respecto al año previo. Esta reducción se atribuye a la falta de lluvias y al aumento de siniestros agrícolas, lo que ha llevado a una menor siembra y a rendimientos por hectárea significativamente bajos (SIAP, 2024).

Ante esta caída en la producción nacional, México ha visto un incremento dramático en las importaciones de frijol. En el primer semestre de 2024, las importaciones aumentaron un 156%, alcanzando un valor de 300 millones de dólares. Este fenómeno responde a la escasez de semillas y a los retrasos en su entrega, lo que ha obligado a los productores a recurrir a fuentes externas para satisfacer la demanda interna. Estados Unidos siendo el principal proveedor, representando el 87.1% del total importado (Morales, 2024).

La mejora genética del frijol, ha sido un área clave de investigación en los últimos años. Variedades como "Verdín", desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), han demostrado ser altamente productivas y resistentes a condiciones climáticas adversas como el calor extremo y la sequía terminal. Esta variedad florece entre 34 y 37 días después de la siembra y alcanza la madurez fisiológica entre 67 y 70 días (INIFAP, 2021). En México, aproximadamente el 77.5 % productivas utilizan semilla criolla, mientras que el 25.7 % semilla mejorada y únicamente 10 % tienen acceso a semilla certificada. Si se toma como referencia la superficie nacional destinada al cultivo de frijol, se necesitarían 104,521 toneladas de semilla certificada para cubrir la siembra. Sin embargo, la producción real es de aproximadamente 7.234 toneladas (Domínguez-García *et al.*, 2019).

2.8. Conservación *in situ*

La conservación *in situ* de las variedades criollas implica garantizar la continuidad de los procesos que han permitido su existencia, es decir, las condiciones agroambientales en las que se desarrollan, los sistemas de producción con los que se cultivan y los aspectos culturales que contribuyen a su configuración (León-Rojas *et al.*, 2019).

En México, el mayor número de las especies del género *Phaseolus* se localiza principalmente en la región occidental, siendo Jalisco, Durango y Oaxaca los estados con mayor diversidad de especies. Por otro lado, Tlaxcala, Tabasco y la Península de Yucatán presentan una diversidad considerablemente menor. En la región noroeste del país predominan los frijoles amarillos claros, como el peruano, azufrado y mayocoba; mientras que en la región norte-central se cultivan principalmente los pintos, bayos, flor de mayo, garbancillo y negro. En el centro del país se encuentran variedades locales como flor de mayo, flor de junio, negros y criollos, entre ellos el rebosero, garrapato y coconita. En el trópico húmedo, son comunes los frijoles de grano pequeño, negros y opacos. La diversidad de frijoles en México es resultado del manejo realizado por familias campesinas, quienes han adaptado los cultivos de acuerdo con sus tradiciones culturales y preferencias alimenticias (Delgado y gama, 2015).

Estas leguminosas pueden encontrarse en distintos tipos de vegetación, en algunas ocasiones de forma rara o escasa y en otras de forma abundante. Aproximadamente el 70% de las especies silvestres crecen en ambientes templados a fríos, subhúmedos a semiáridos, en bosque de sabinos (*Juniperus*), pinos (*Pinus*), pino-encino (*Pinus-Quercus*) y encinos (*Quercus*), denominados en su conjunto como bosques de coníferas y encinos; el 25% crece en bosques tropicales, matorrales y bosque nublado (mesófilo) y el restante en pastizales, manglares y dunas, las poblaciones silvestres del género *Phaseolus* comparten ciertas características distintivas ya que todas son enredaderas con hojas trifoliadas (Delgado-Salinas *et al.*, 2022).

2.9. Conservación *ex situ*

La conservación *ex situ* de semillas constituye una estrategia clave para preservar la diversidad genética de los recursos filogenéticos, garantizando su disponibilidad para investigaciones, mejoramiento genético y restauración de ecosistemas (Silva *et al.*, 2021). Los parientes silvestres de las cinco especies domesticadas de frijol *Phaseolus* presentan una amplia distribución geográfica a lo largo de las regiones tropicales y subtropicales. El fitomejoramiento basado en el aprovechamiento de parientes silvestres se ha enfocado predominantemente en el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), la especie más ampliamente cultivada, y las contribuciones exitosas han provenído principalmente de su progenitor (*Phaseolus vulgaris* L.); (Dohle, 2019).

El Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), mediante la Red Frijol conserva un total de 6,629 accesiones en seis Centros de Conservación de Semillas Ortodoxas; del total de accesiones 2,246 fueron repatriadas del Centro Nacional para la Preservación de Recursos Genéticos USDA-ARS ubicado en Fort Collins, Colorado, Estados Unidos (SNICS, 2018).

Para la regeneración de accesiones, la Red Frijol desarrolló un protocolo específico para la regeneración de la forma silvestre de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), el cual consiste una descripción detallada de los atributos morfológicos de la planta (raíz, tallo, hojas, inflorescencia, entre otros), así como directrices para la preparación de la semilla antes de la siembra. Además, abarca la elaboración de etiquetas para una identificación eficiente, la preparación del invernadero y las características que éste debe tener para su óptimo funcionamiento, el tipo de sustrato y de macetas que se deben utilizar, la forma de realizar el control de plagas y enfermedades; así como la mejor distribución geográfica de las plantas y la forma correcta de cosecha (SNICS, 2018).

2.10. Banco de germoplasma

El germoplasma constituye un recurso natural estratégico que encapsula conocimientos sobre la composición genética de una especie, desempeñando un

papel importante en la conservación de la diversidad genética vegetal. Las estrategias de protección del germoplasma, no sólo implica rescatar especies vegetales amenazadas en peligro de extinción, sino que también orientan a preservación de todas las plantas esenciales, para el equilibrio de los ecosistemas y la subsistencia de las diferentes formas de vida (Priyanka *et al.*, 2021). El resguardo de germoplasma tuvo inicios significativos con los aportes de científico ruso Nicolai Vavilov en 1930, miembro de los órganos legislativos de su país, quien lideró expediciones científicas en búsqueda de “*nuevos recursos vegetales*” para el mejoramiento de cultivos (CONAHCYT, 2024).

En México, la actividad se lleva a cabo a través del Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG), cuya función principal consiste en la conservación y preservación de la diversidad genética de especies de relevancia estratégica para los sectores agroalimentario, pecuario, acuícola y forestal del país. En el caso de la Colección de Semillas, las especies agrícolas representa el 89% de la preservación, entre las que se encuentran especies de alto valor agroalimentario como maíz, frijol, chile, arroz, amaranto, calabaza, jitomate, tomate de cáscara, algodón y quelite (SADER, 2023).

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en México, es responsable de la conservación de uno de los bancos de germoplasma de maíz y trigo más relevantes a nivel mundial, el cual ha enviado alrededor de 80 mil colecciones de muestras de semillas a la Bóveda Global de Semillas Svalbard, esta bodega de alta tecnología construida en Noruega, muy cerca del Polo Norte, a 130 metros de profundidad la cual está diseñada para resistir condiciones extremas, es capaz de soportar actividad volcánica, los terremotos, la radiación y las crecidas del mar, es reconocida como la última garantía de que contaremos con semillas durante muchos años (SIAP, 2024).

2.11. Morfología de la planta

El frijol es una planta leguminosa anual herbácea. Las variedades de tipo arbustivo presentan un porte erecto con alturas que oscilan entre 20 a 60 cm,

mientras que las variedades tipo trepador se desarrollan enredaderas que alcanzan longitudes de 2 a 3 metros. Todas las variedades poseen hojas alternas, de color verde o morado, compuestas por tres folíolos ovalados que miden entre 6 y 15 cm de largo y de 3 a 11 cm de ancho (Ng *et al.*, 2011).

Raíz. El sistema radicular de la planta se caracteriza por ser de tipo pivotante con un alto grado de ramificaciones. La radícula, primera estructura que emerge de la semilla da origen al sistema radicular lo cual esta se dirige hacia abajo, posteriormente a los pocos días se desarrollan de 3 a 7 raíces secundarias o basales en la porción basal formándose un sistema con una raíz principal y varias raíces secundarias, las cuales también crecen tanto en forma horizontal y hacia abajo con un gran desarrollo dándole la apariencia de un sistema radicular profuso o fascicular, la raíz principal presenta una tasa de crecimiento muy activa alcanzando profundidades de hasta 150 cm, sin embargo la mayoría de las raíces de absorción se encuentran a una profundidad de 30 a 40 cm (Magalhaes *et al.*, 2015).

Tallo. Posee tallo herbáceo y tiene una sección cilíndrica o levemente angular, debido a pequeñas corrugaciones de la epidermis. El sistema aéreo de la planta de frijol se desarrolla a través del crecimiento del epicotilo en el proceso germinativo, el cual se inicia con el crecimiento del hipocótilo el cual eleva los cotiledones hacia la superficie del suelo el cual eleva a los cotiledones los que al alcanzar la superficie del suelo se expanden y se adquieren un color verde contribuyendo a la planta en estas primeras fases, iniciándose posteriormente el crecimiento del epicotilo en la parte superior de los cotiledones que dará origen al tallo principal el cual lleva en su porción terminal el meristemo apical que formara el total de las estructuras de la planta como: hojas, nudos, entrenudos, yemas axilares, ramas, flores en racimos (CIAT, 1984).

Hojas. Se presentan diferentes tipos de hoja en sus diferentes etapas de crecimiento y desarrollo. Al emerger la plántula, los cotiledones adquieren una tonalidad verde y constituyen las hojas cotiledonarias, siendo este el primer nudo (nudo cotiledonar), posteriormente en el segundo nudo del tallo principal, se desarrollan las primeras hojas verdaderas, las cuales son de tipo simple y se denominan hojas unifoliadas, en

los nudos subsecuentes aparecerán las hojas trifoliadas, que son las que conforman el dosel de la planta de frijol junto con las ramas y tallo. Las hojas verdaderas son de tipo trifoliado, compuestas por tres folíolos de los cuales dos son asimétricos y acuminados y se localizan en forma lateral, mientras que el folíolo central es simétrico y acuminado (CIAT, 1984).

Inflorescencia. Puede desarrollarse tanto en las axilas del tallo y las ramas como en la porción terminal de la planta, botánicamente se clasifica como un racimo de racimos el cual se origina a partir de la brotación de un sistema formado por tres yemas conocidas como triada formada en la axila. Posee un pedúnculo el cual que experimenta un crecimiento acelerado antes de la apertura de las flores, tiene un raquis el cual está compuesto por varios nudos los cuales se distinguen por la presencia de una bráctea primaria (B1), en cada nudo se desarrollan dos botones florales producto de la brotación de las yemas laterales, en ocasiones la central puede brotar originando una tercera flor pero la mayoría de las veces no alcanza a desarrollarse completamente, ya que el proceso de brotación coincide con la etapa de maduración de la planta (CIAT, 1984).

Flores. La flor característica de la sub familia *Papilionoideae*, presenta una simetría bilateral con un pedicelo glabro o sub glabro y está provisto de pelos uncinulados, en su base se encuentra una pequeña bráctea no persistente unilateral, conocida como bráctea pedicular, el cáliz es gamosépalo compuesto por cinco sépalos dentados de los cuales dos sépalos en la porción superior y tres en la parte inferior, la corola está formada por cinco pétalos los cuales tienen la característica de tener formas muy específicas, con dos pétalos soldados por su base y tres libres. Tiene un pétalo grande libre sobresaliendo del resto de ellos denominado estandarte, caracterizado por ser glabro, simétrico y con una coloración variable que incluye blanco, verde, púrpura o rosado, los otros dos pétalos libres se encuentran a los lados llamadas Alas, los cuales pueden presentar una pigmentación ya sea blanco, rosado o púrpura siendo en términos generales más oscuros que el resto de la corola y en ciertos casos puede el estandarte ser más oscuro. La quilla está constituida por dos pétalos fusionados, conformando una estructura cerrada, asimétrica y en forma de espiral, en

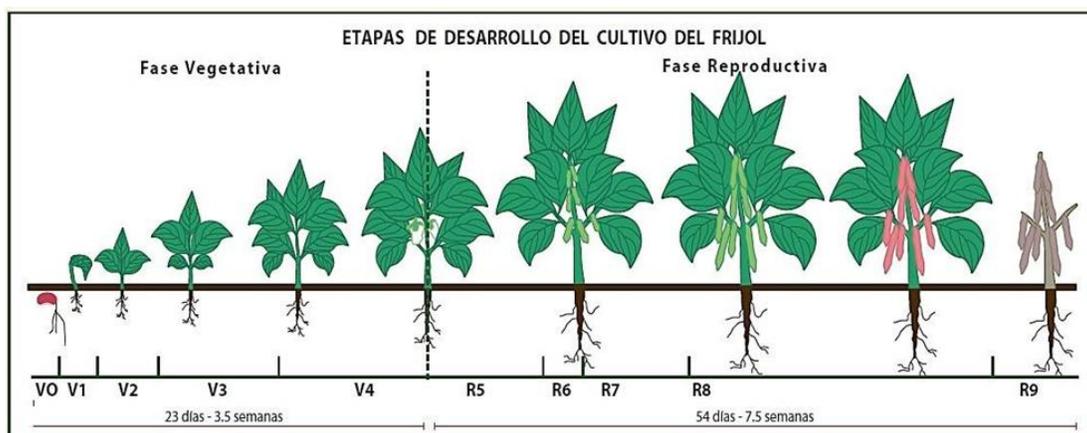
su interior de la quilla albergan los dos órganos sexuales (androceo y gineceo). El androceo se compone de un total de diez estambres, de los cuales nueve están fusionados en su base para formar un tubo estaminal, mientras que uno permanece libre, denominado estambre vexilar. El gineceo es de tipo supero y está formado por un solo carpelo que presenta un ovario comprimido lateralmente, el estilo es encorvado, estas características florales promueven la autofecundación aunada a que la flor se encuentra cerrada, el porcentaje de polinización cruzada la cual ocurre en un porcentaje muy bajo, inferior al 5% (CIAT, 1984).

Fruto. Las plantas pertenecientes a la familia *Fabaceae* (leguminosas) presentan una vaina que puede clasificarse como: dehiscente, semi dehiscente o indehiscente, la mayoría de las variedades comerciales predominan las vainas indehiscentes. Las vainas pueden ser glabras o sub glabras, ocasionalmente con una capa cerosa y con presencia de pelos cortos, con dos valvas y dos suturas, una dorsal (placental) y otra ventral, su forma puede variar entre plana y cilíndrica de 4 a 20 cm de longitud constreñida o no, que puede ser recta o ligeramente encorvada de color verde, amarilla o blanca y con la posible presencia de estrías dependiendo de la variedad, cada vaina contiene de 3 a 7 semillas en su interior (CIAT, 1984).

Semilla. Presenta una amplia variabilidad, tanto en forma, tamaño y color, así como el contenido nutricional, se identifican variantes arriñonadas, alargadas rectas, oblongas y globosas, con tamaños muy variados que oscilan entre 13 y 60 gramos por 100 semillas y con una diversidad de colores que van desde el blanco, amarillo, crema, café, rojos purpuras, rosas hasta el negro con patrones que pueden incluir estrías o estar ausentes. La semilla de esta leguminosa está constituida predominantemente por los cotiledones, que representa el 90 % del peso total de la semilla, también se encuentra el embrión en el que se aprecian las primeras hojas verdaderas, la plúmula y la radícula (CIAT,1984).

2.12. Etapas de crecimiento y desarrollo de la planta

Las variedades de frijol común cultivadas se clasifican morfológicamente en dos patrones de crecimiento principales: determinadas e indeterminadas. El desarrollo biológico de la planta de frijol se divide en dos períodos consecutivos: período vegetativo (V) y reproductivo (R) como se muestra en la Figura 3 (Aytekin y Caliskan, 2014).



Fuente: (IICA/COSUDE, 2008).

Figura 3. Representación esquemática de desarrollo de la planta de frijol a través de sus estados fenológicos.

A continuación, se describen las etapas fenológicas (Cuadro 1) conforme a la clasificación establecida por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1986).

Cuadro 1. Descripción de las etapas de desarrollo en un cultivo de frijol común (CIAT, 1986).

Fase	Etapa		Descripción
	Código	Nombre	
	V0	Germinación	La semilla está en condiciones favorables para iniciar la germinación
Fase	V1	Emergencia	Los cotiledones del 50% de las plantas aparecen al nivel del suelo
Vegetativa	V2	Hojas primarias	Las hojas primarias del 50% de las plantas están desplegadas
	V3	1ª Hoja trifoliada	La primera hoja trifoliada del 50% de las plantas están desplegadas
	V4	3ª Hoja trifoliada	La tercera hoja trifoliada del 50% de las plantas están desplegadas

Fase	R5	Prefloración	Los primero brotes, han aparecido en el 50% de las plantas
Reproductiva	R6	Floración	Se ha abierto la primera flor en el 50% de las plantas
	R7	Formación de vainas	Al marchitarse la corola, en el 50% de las plantas aparece una vaina
	R8	Llenado de vainas	Llenado de semilla en la primera vaina en el 50% de las plantas
	R9	Maduración	Cambio de color en por lo menos una vaina en el 50% de las plantas en la madurez fisiológica final

Hábito de crecimiento de frijol

Los principales caracteres morfológicos y agronómicos que determinan el hábito de crecimiento del frijol de acuerdo al Centro Internacional de Agricultura Tropical (Figura 4), (CIAT, 1986).

- El patrón de desarrollo apical del tallo, el cual permite calificarlo como determinado o indeterminado.
- El número de nudos.
- La longitud de los entrenudos y en consecuencia, la altura de la planta.
- La capacidad de trepar.
- El grado y el tipo de ramificación. Es necesario incluir el concepto de guía, el cual es definido como la parte del tallo y/o ramas que sobresalen por encima del dosel del cultivo.

Hábitos de crecimiento determinado

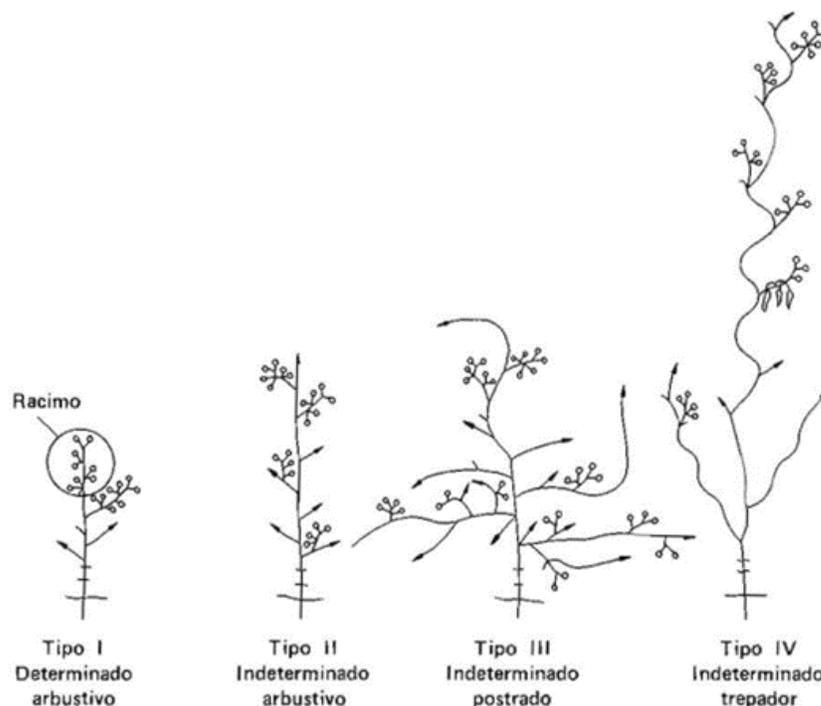
Tipo I: Hábito de crecimiento determinado arbustivo se caracteriza porque el tallo principal y las ramas culminan en una inflorescencia completamente desarrollada. Cuando esta inflorescencia está formada, el crecimiento del tallo y las ramas generalmente se detiene.

Hábitos de crecimiento indeterminados

Tipo II. Hábito de crecimiento indeterminado arbustivo: Se caracteriza por la presencia del tallo erecto sin aptitud para trepar, aunque termina en una guía corta. Las ramas laterales no producen guías.

Tipo III. Hábito de crecimiento indeterminado postrado: se caracteriza por plantas de porte postrado o semipostrado con un sistema de ramificación bien desarrollado. La altura de las plantas es superior a la de las plantas de tipo I y II, alcanzando generalmente mayor de 80 centímetros.

Tipo IV: Hábito de crecimiento indeterminado trepador: El tallo puede tener de 20 a 30 nudos, puede alcanzar más de dos metros de altura con un soporte adecuado. La etapa de floración es significativamente más larga en comparación con otros hábitos de desarrollo de tal manera que en la planta se presentan a un mismo tiempo las etapas de floración, formación de las vainas, llenado de las vainas y maduración.



Fuente: CIAT, 1984

Figura 4. Clasificación de los tipos de frijol en base al hábito de crecimiento.

2.13. Principales enfermedades

Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*)

Es un patógeno causado por el hongo *Colletotrichum lindemuthianum*, que infecta diversos tejidos de la planta hospedera, incluyendo hojas, tallos, ramas, vainas verdes y semillas, el hongo tiene una alta variabilidad genética, que se manifiesta por la presencia de muchas razas fisiológicamente diversas (Dos Santos *et al.*, 2012). Los síntomas característicos, incluyen la formación de lesiones necróticas hundidas de color grisáceo o marrón con acérvulos, aparecen como un exudado de color salmón principalmente en los tallos y las vainas del frijol, ocasionando en algunos casos el deterioro de las semillas dentro de las vainas y la muerte de plantas completa de las plantas infectadas. En el follaje, se desarrollan lesiones angulares de color púrpura a rojizo en el lado abaxial, distribuidas a lo largo de las nervaduras de las hojas (Mohammed, 2013).

Mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*)

La enfermedad generalmente se presenta alrededor de la cuarta semana después de la siembra. En casos de infecciones severas, se observa amarillamiento y caída de las hojas afectadas. La mancha angular afecta principalmente el follaje, las vainas y las semillas de frijol. En las hojas, los síntomas iniciales se presentan como pequeñas manchas de color gris brillante, las cuales progresivamente aumentan de tamaño y toman la forma de los ángulos de las venas. En etapas avanzadas, las manchas adquieren un color café oscuro. En la superficie inferior de la hoja es posible identificar estructuras microscópicas con forma de bastones, de color gris oscuro. En las vainas, la enfermedad se caracteriza por la formación de manchas circulares con borde definido y con un color rojizo oscuro (Araya-Fernández y Hernández-Fonseca, 2006).

Roya (*Uromyces phaseoli*)

Es considerada como la principal enfermedad fúngica que afecta al cultivo de frijol en diversos países. El agente causal es un hongo fitopatógeno que infecta las hojas, tallos y vainas, causando el mayor daño sobre las hojas.

Los síntomas iniciales en las hojas se manifiestan como pequeñas lesiones elevadas de color blancos-amarillentos levantados, en el haz como el envés, los cuales crecen y rompen la epidermis, formando pústulas de 1 a 2 mm de diámetro, mostrando una gran cantidad de esporas como polvo rojizo. En algunos casos dichas pústulas están rodeadas por un halo clorótico de color amarillo (Bernal *et al.*, 2012).

Tizón bacteriano común (*Xanthomonas axonopodis* (sinónimo: *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*)

Es una enfermedad que se manifiesta principalmente en las hojas, tallos y vainas, prospera en ambientes húmedos y cálidos en condiciones de alta humedad y temperaturas que oscilan entre 20 y 30 °C. La transmisión ocurre principalmente a través de semillas infectadas, salpicaduras de agua y el contacto con herramientas contaminadas. Los síntomas iniciales son puntos acuosos que crecen y presentan un color oscuro de forma irregular. La lesión está rodeada de un área amarillenta. Ataques severos resultan en quema generalizada y caída de hojas (Francisco *et al.*, 2013).

Virus del mosaico común del frijol (*Bean common mosaic virus, BCMV*)

Es la enfermedad viral más prevalente en el cultivo de frijol y puede transmitirse a través de semillas, pulgones y fricción mecánica (El-Sawy, 2014). El BCMV puede provocar tres tipos principales de síntomas: mosaico, necrosis sistémica (también conocida como “raíz negra”) y lesiones locales o malformación. Los síntomas asociados con el mosaico común incluyen enrollamiento o formación de ampollas en las hojas, patrones de manchas de color verde claro y oscuro en la hoja (mosaico verde), bandas cloróticas en las venas, mosaico amarillo y reducción del crecimiento. El moteado y la malformación de las hojas primarias es una indicación de que la infección primaria se produjo a través de la semilla. Los cultivares que desarrollan síntomas de mosaico común pueden presentar lesiones locales cloróticas o necróticas distintivas que no están asociadas con el sistema vascular. Las plantas infectadas sistémicamente pueden producir vainas de menor tamaño y cantidad, las cuales a menudo presentan pequeñas manchas de color

verde oscuro y suelen madurar más tarde en comparación con las vainas no infectadas (Cuervo, 2023).

2.14. Principales plagas

Minador de la hoja (*Liriomyza spp.*)

Esta plaga se presenta comúnmente en etapa vegetativa de la planta de frijol, aunque puede permanecer durante todo el ciclo fenológico del cultivo. Los adultos son pequeñas mosquitas de color negro con porciones amarillas de 2 a 3 mm de longitud, alas transparentes, presentan una mancha amarilla en la base de las alas. El principal daño es causado por las larvas, las cuales pasan por tres estadios larvarios antes de completar su desarrollo, su ciclo de vida es de unos 23 días, la fase de pupa puede desarrollarse tanto dentro de las galerías o cerca de los talluelos. Las larvas comienzan a alimentarse del tejido interno de la hoja minando y produciendo galerías irregulares que al secarse forman manchas de color café-rojizo (SENASICA, 2021).

Conchuela (*Epilachna varivestis*)

Es una plaga de gran importancia en especies del género *Phaseolus*. Las larvas y los adultos se alimentan de las hojas del frijol durante todo el ciclo fenológico del cultivo. El insecto adulto presenta un tamaño de 7 a 9 mm de largo, es de color café-cobrizo con 8 manchas oscuras en cada élitro, la hembra oviposita en el envés de las hojas, formando masas de huevecillos de color amarillo y presentan seis hileras de espinas ramificadas en la parte superior del abdomen, son de 13 mm de largo y son muy voraces al igual que los adultos, las larvas en sus primeras etapas de desarrollo son de hábitos gregarios dispersándose posteriormente a todas las partes de la planta de frijol (SENASICA, 2021).

Mosquita blanca (*Bemisia tabaci*)

Los adultos de la mosca blanca presentan un tamaño aproximado de 1.5 milímetros y exhiben una coloración blanco-amarillento, estas ovipositan generalmente en el envés de las hojas jóvenes donde la hembra pone alrededor de

160 huevos. Después de la eclosión, el primer estadio, que es móvil, es plano, ovalado y en forma de escamas, en esta etapa la ninfa migra a un lugar adecuado para alimentarse en la superficie inferior de la hoja, generalmente en hojas maduras, donde se fija y permanece sésil durante los estadios ninfales subsiguientes. Los daños directos se manifiestan como un amarillamiento y debilitamiento de la planta debido a que tanto los adultos como las ninfas succionan la savia y producen mucha excreta melosa en donde se desarrolla fumagina, lo que da una coloración negruzca a las plantas. Algunos virus de mayor importancia transmitidos por *B. tabaci* son: virus mosaico dorado (*Bean golden mosaic Virus, BGMV*) y el mosaico dorado amarillo del frijol (*Bean golden yellow mosaic virus, BGYMV*) que son los más devastadores y que representan la mayor amenaza a la producción de frijol (SENASICA, 2021).

Chicharrita (*Empoasca fabae*)

Los adultos miden unos tres milímetros de largo, son alargados y de coloración verde tierno; depositan sus huevecillos que son alargados de 1 mm de longitud a lo largo de las nervaduras en el envés de las hojas. Las ninfas nacen a los pocos días y atraviesan cinco estadios antes de alcanzar la madurez. Las ninfas igual que los adultos chupan la savia de las hojas, haciendo que éstas se encarrujen. Las plantas atacadas por ninfas y adultos no se desarrollan normalmente lo que las hojas presentan deformaciones y enrollamientos hacia abajo, con amarillamiento en los bordes; También hay deformación de las vainas, achaparramiento general de la planta y pérdidas sustanciales de la producción, puede atacar a la planta de frijol en cualquier etapa fenológica (Hallman y García, 1985).

2.15. Valor nutricional

Las propiedades nutricionales del frijol varían en función de la especie, presentando un contenido de proteínas del 14 al 33%, siendo rico en aminoácidos como la lisina (6.4 a 7.6 g/100 g de proteína) y la fenilalanina más tirosina (5.3 a 8.2 g/100 g de proteína), pero con deficiencias en los aminoácidos azufrados de metionina y cisteína. En términos de contenido de carbohidratos, 100 g de frijol crudo proporcionan entre 52 y 76 g, dependiendo de la variedad. La fracción predominante

de estos carbohidratos está representada por el almidón, el cual constituye la reserva principal. Entre los macronutrientes presentes en el frijol, la fracción lipídica es la de menor proporción, con un contenido de (1.5 a 6.2 g/100 g), esta fracción está compuesta principalmente por acilglicéridos, en los cuales predominan los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, contribuyendo a su perfil lipídico favorable. La fuente de fibra oscila de 14-19 g/100 g del alimento crudo, del cual hasta la mitad puede ser de la forma soluble. Además, este alimento también es una fuente considerable de calcio, hierro, fósforo, magnesio y zinc y de las vitaminas tiamina, niacina y ácido fólico (Ulloa *et al.*, 2011).

2.16. Valor agregado

Es un tema de creciente relevancia en el ámbito agroindustrial y nutricional, especialmente en nuestro país, donde esta leguminosa es un alimento básico. La transformación del frijol en productos de mayor valor, como harinas, pastas y snacks, no solo mejora su rentabilidad económica, sino que también contribuye a la salud pública al ofrecer opciones alimenticias más nutritivas.

Los productos alimenticios a base de frijol, aportan mejores propiedades nutricionales, alto contenido de proteína, fibra dietaria y compuestos nutraceuticos, en comparación con los productos comerciales. Por ejemplo, la elaboración de tallarines enriquecidos con harina de frijol ha demostrado ser una alternativa efectiva para aumentar el contenido nutricional de la pasta, aportando hasta un 38% más de proteína y un 29% más de minerales en comparación con productos convencionales. Mediante la implementación de cursos-talleres especializados en la elaboración de productos agroindustriales y funcionales basados en la tecnología del frijol, impartidos por el INIFAP, estudiantes, técnicos y productores han logrado incursionar en la comercialización de estos alimentos, contribuyendo al desarrollo (INIFAP, 2022). A medida que se desarrollan nuevas tecnologías y se diversifican los productos derivados del frijol, es esencial continuar promoviendo su consumo y transformación para maximizar sus beneficios económicos y saludables.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo de investigación para evaluar los tres genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se estableció durante el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2024, 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° 21'36" N, longitud de 101°02'15" O y a una altitud de 1, 728.65 msnm (Google Earth, 2025). La temperatura promedio anual es de 18 a 22°C con un clima seco y semiseco. El experimento se realizó bajo el diseño de bloques completos al azar, con cinco repeticiones por genotipo, las características del ensayo se representan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características del ensayo experimental.

Localidad	UAAAN
Fecha de siembra	27 de mayo de 2024
Diseño	Bloques completos al azar
No. de repeticiones	5
Régimen hídrico	Riego por cintilla
Número de genotipos	3
Número de surcos por parcela	1
Número de matas por surco	8
Longitud de surco (m)	1.60
Distancia entre surcos (m)	0.80
Distancia entre matas (m)	0.20
Fertilización ¹	20-20-20 y 20-30-10
Densidad de población (plantas por hectárea)	62500

3.2. Germoplasma de frijol

El germoplasma evaluado consistió de tres genotipos de frijol (Cuadro 3), adaptados a altitudes superiores a 1,200 msnm, de los cuales uno proviene del estado de Morelos, otro de Veracruz y el tipo Pinto Saltillo de Coahuila, el cual se utilizó como testigo. Estos genotipos pertenecen al Programa de Producción de Granos y Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Cuadro 3. Identificación y procedencia de los genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) evaluados en el Campo Experimental de la UAAAN, ciclo P-V 2024.

Número de identificación	Clave	Procedencia	Color de grano
1	LEF-UA-01	Morelos	Blanco
2	LEF-UA-02	Veracruz	Negro
3	Testigo (Pinto Saltillo)	Saltillo, Coahuila	Pinto

3.3. Variables evaluadas

Se evaluaron ocho plantas por repetición en cada genotipo, bajo competencia completa, para la obtención de datos de las siguientes variables:

3.3.1. Número de vainas por planta (NVP):

Se contó el número de vainas por planta y se obtuvo el promedio por repetición para los tres genotipos evaluados.

3.3.2. Números de semillas por vaina (NSV):

Se tomaron 10 vainas por planta y se obtuvo el promedio por repetición para los genotipos evaluados.

3.3.3. Longitud de vaina (LV):

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

3.3.4. Ancho de vaina (AV):

Se registró esta variable midiendo la parte más ancha de la vaina con una regla de 30 cm, donde se tomaron 10 vainas por planta para obtener su promedio.

3.3.5. Número de semillas por planta (NSP):

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

3.3.6. Peso de 100 semillas (P100S):

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

3.3.7. Rendimiento de semilla por planta (RSP):

Este parámetro se registró con el peso de semillas por planta y el promedio de ocho plantas por repetición, el cual se expresó en gramos (g).

3.4. Análisis estadístico

En el experimento de tres genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris*), se evaluaron siete variables agronómicas en el ciclo P-V 2024, se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar con cinco repeticiones, bajo 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:

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

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

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 = $\frac{\sqrt{\text{CME}}}{r}$

Correlaciones fenotípicas entre las variables evaluadas

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

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 16.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La selección de los genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de acuerdo a sus diversas características permiten identificar especies con alto potencial de rendimiento. En la Figura 5 se presentan las características cualitativas de color de grano, así como los diferentes hábitos de crecimiento del germoplasma evaluado.



Fuente: color de la testa (elaboración propia). Hábito de crecimiento: ¹D.A.= Tipo Determinado Arbustivo; ²I.A.= Indeterminado Arbustivo; ³I.P.= Indeterminado Postrado; ⁴I.T.= Indeterminado Trepador
Fuente: (CIAT, 1984).

Figura 5. Color de la testa de la semilla de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y sus diferentes hábitos de crecimiento.

Con respecto a la testa de la semilla destaca por su color el genotipo negro G2 (LEF-UA-02), con el hábito de crecimiento Tipo I (determinado arbustivo), el G1 (LEF-UA-01) presentó una testa de color blanco y su hábito de crecimiento fue de Tipo I (determinado arbustivo). Se utilizó como testigo G3 la variedad comercial (Pinto Saltillo) que presenta un color de testa pinto y su hábito de crecimiento que corresponde al Indeterminado postrado Tipo III (Figura 5).

Análisis de varianza

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza se utilizaron bajo el diseño experimental de Bloques Completos al Azar para los componentes del rendimiento en tres genotipos evaluados, los cuales se presentan en el Cuadro 4. Los resultados detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos para las variables NSV, LV, AV, NSP, P100S y RSP, lo cual permite seleccionar germoplasma con el mejor comportamiento agronómico para estas

características. Los coeficientes de variación mostraron valores de: LV (C.V.= 2.94%) a NVP (C.V.=18.64%), estos valores indican la variabilidad de la información recolectada en el campo, lo cual favorece la toma de decisiones confiables con respecto a los datos obtenidos (Condo y Pazmiño, 2015).

Cuadro 4. Representación de cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación de los componentes del rendimiento en frijol evaluados en ciclo P-V 2024 en el Campo Experimental de la UAAAN.

F.V.	G.L.	Cuadrados Medios						
		NVP ¹	NSV	LV	AV	NSP	P100S	RSP
Genotipos	2	44.89	0.87**	3.16**	0.14**	5991.5**	100.61**	990.1**
Repetición	4	8.91	0.03	0.15	0.0006	323.0	2.17	90.1
Error	8	26.66	0.09	0.06	0.0008	175.3	3.15	116.0
Total	14							
Media		27.69	5.28	8.31	0.75	81.07	23.74	124.04
C.V. (%)		18.64	5.68	2.94	3.77	16.33	7.47	8.68

**Altamente significativo al ($p \leq 0.01$) de probabilidad; F.V= Fuentes de variación, G.L= Grados de libertad, C.V= Coeficientes de variación, ¹NVP= número de vainas por planta, NSV= número de semillas por vaina, LV= longitud de vainas, AV= ancho de vaina, NSP= número de semillas por planta, P100S= peso de cien semillas y RSP=rendimiento de semilla por planta.

De acuerdo a la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05 de probabilidad (Cuadro 5). En la variable RSP sobresale el genotipo 3 (137.9 g pl⁻¹) el cual también registró estadísticamente ($p \leq 0.05$) los mayores promedios en las variables LV (9.1 cm), AV (0.8 cm) y P100S (28.8 g) lo cual contribuyó a su alto rendimiento en comparación con los genotipos 1 y 2. Con respecto el genotipo 2 este obtuvo un rendimiento de 124.4 g estadísticamente superando al resto de los genotipos en la variable NSP= 113.6. Finalmente se observa que el genotipo 1 fue el de menor rendimiento en el ambiente evaluado.

Cuadro 5. Comparación de medias para las variables agronómicas de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) ordenados según la variable RSP.

Genotipos	NVP ¹ No.	NSV No.	LV cm	AV cm	NSP No.	P100S g	RSP g pl ⁻¹
Pinto Saltillo	25.0 a	4.8 b	9.1 a	0.8 a	44.7 c	28.8 a	137.9 a
LEF-UA-02	30.9 a	5.6 a	8.4 b	0.7 b	113.6 a	22.3 b	124.4 ab
LEF-UA-01	27.1 a	5.5 a	7.5 c	0.7 b	84.9 b	20.2 b	109.8 b
Tukey $p \leq 0.05$	9.32	0.54	0.44	0.05	23.92	3.20	19.45

¹NVP= número de vainas por planta, NSV= número de semillas por vaina, LV= longitud de vainas, AV= ancho de vaina, NSP= número de semillas por planta, P100S= peso de cien semillas y RSP=rendimiento de semillas por planta. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$).

Correlaciones fenotípicas del germoplasma

La relación entre las variables agronómicas evaluadas se presenta en el análisis de correlación (Cuadro 6). Donde se observan altos valores de correlaciones positivas y negativas entre variables estudiadas, en lo particular se presentó una correlación positiva y estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre las variables entre RSP y LV ($r = 0.999^*$). Con respecto a los componentes de rendimiento de mayor interés en la matriz de correlaciones se observan que las variables: LV ($r = 0.999^*$), AV ($r = 0.855$) y P100S ($r = 0.952$) fueron las que contribuyeron positivamente al RSP.

Cuadro 6. Correlaciones fenotípicas entre las variables agronómicas de los genotipos evaluados, en el Campo Experimental de la UAAAN.

Variable	NVP ¹	NSV	LV	AV	NSP	P100S
NSV	0.840					
LV	-0.283	-0.758				
AV	-0.772	-0.993	0.828			
NSP	0.996	0.952	-0.521	-0.910		
P100S	-0.602	-0.939	0.936	0.972	-0.788	
RSP	-0.330	-0.789	0.999*	0.855	-0.562	0.952

*Significativo al ($p \leq 0.05$), ¹NVP= número de vainas por planta, NSV= número de semillas por vaina, LV= longitud de vainas, AV= ancho de vaina, NSP= número de semillas por planta, P100S= peso de cien semillas y RSP=rendimiento de semilla por planta.

V. CONCLUSIONES

- El germoplasma evaluado mostró variabilidad genética para las características cualitativas de color de testa y hábito de crecimiento.
- Los resultados presentaron diferencias altamente significativas entre los genotipos para las variables agronómicas evaluadas, excepto para el número de vainas por planta (NVP) con un coeficiente de variación confiable en un rango de 2.94% a 18.64% respectivamente.
- El genotipo 3 (Pinto Saltillo) superó estadísticamente al resto de los genotipos en las variables LV (9.1 cm), AV (0.8 cm), P100S (28.8 g) y con un rendimiento promedio de (137.9 g pl⁻¹). El genotipo 2 (LEF-UA-02) superó estadísticamente a los demás genotipos en la variable NSP (113.6) y presentó un alto promedio de NVP (30.9). El genotipo 1 (LEF-UA-01) expresó el menor rendimiento en el ambiente evaluado.
- Se presentó una correlación positiva y estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre las variables RSP y LV ($r = 0.999^*$). Las variables LV ($r = 0.999^*$), AV ($r = 0.855$) y P100S ($r = 0.952$) contribuyeron positivamente al RSP.

VI. LITERATURA CITADA

- Araya-Fernández, C.M., Hernández-Fonseca, J.C. (2006) Guía para la identificación de las enfermedades del frijol más comunes en Costa Rica. San José, Costa Rica. MAG. 44 p.
- Aytekin, R. İlhan y Caliskan, S. (2014). Etapas de crecimiento y desarrollo de la planta de frijol. *Revista Turca de Agricultura - Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 3 (2), 84–93. Disponible en: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i2.84-93.207>
- Bernal, C.A., Saucedo, C.O. y Quintero, F.E. (2012). Alternativa de control la roya del frijol (*Uromyces phaseoli* (Pers) Winter var. *typica* Arth). Editorial Samuel Feijóo, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Villa Clara, Cuba. 77 p. Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/2e0d9849-4269-4f3f-b77e-779e9ff5b32e/content>
- Condo, L., y Pazmiño, J. (2015). Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento científico de las ciencias agropecuarias. Tomo V. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-ESPOCH. Instituto de Investigaciones, Riobamba, Ecuador. Pp 99.
- CGIAR (Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional). (2024). Los cultivos biofortificados abordan el “hambre oculta” del mundo. Consulta en línea el 30 de octubre de 2024: <https://www.cgiar.org/news-events/news/biofortified-crops-address-the-worlds-hidden-hunger/>.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (1984). Morfología de la planta de frijol común; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico. Debouck, Daniel G.; Hidalgo Rigoberto. Producción: Ospina O., Héctor.; Flor M., Carlos A. Cali, Colombia. 56 p. (Serie 04SB-09.01).
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (1986). Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali, Colombia. Disponible en http://ciat-library.cgiar.org/ciat_digital/CIAT/28093.pdf

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2024). Diversidad natural y cultural de frijoles, ayocotes, téparis, ibes. Consultado en línea el 03 de diciembre de 2024: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/frijoles>.
- CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías). (2024). Laboratorio Regional para el Estudio y Conservación de Germoplasma. Disponible en línea en: <https://www.cicy.mx/sitios/laboratorio-regional-para-el-estudio-y-conservacion-de-germoplasma>
- Cuervo, M., Medina, C., Ramírez, J.L., Balcazar, S., Martínez, J., y Debouck, D. (2023). Virus del mosaico común del frijol. Base de conocimientos del banco de genes de cultivos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.
- Delgado-Salinas, A., Gama-López, S., Martínez-Meyer, E. & J. A. Acosta-Gallegos. (2022). El género *Phaseolus* (Leguminosae, Papilionoideae, Phaseoleae) para México. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. JE014. Ciudad de México.
- Dohle, S., Berny Mier y Teran, J.C., Egan, A., Kisha, T., y Khoury, C.K. (2019). Frijoles silvestres (*Phaseolus* L.) de América del Norte. *Parientes silvestres de cultivos de América del Norte, volumen 2: especies importantes*, 99-127. Obtenido en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97121-6_4
- Domínguez-García, I.A., Altamirano-Cárdenas, J.R., Barrientos-Priego, A.F., Ayala-Garay, A. V. (2019). Análisis del sistema de producción y certificación de semillas en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 42 (4): 347-356.
- Dos Santos, L.V., de Queiroz, M.V., Santana, M.F., Soares, M. A., de Barros, E. G., de Araújo, E. F., y Langin, T. (2012). Desarrollo de nuevos marcadores moleculares para el género *Colletotrichum* utilizando secuencias RetroCl1. *Revista mundial de microbiología y biotecnología*, 28, 1087-1095.
- El-Sawy, M.A., Mohamed, H.A.E., y Elsharkawy, M.M. (2014). Caracterizaciones serológicas y moleculares del aislado egipcio del virus del mosaico común del frijol. *Archivos de*

fitopatología y protección de plantas, 47(12), 1431–1443. Disponible en:
<https://doi.org/10.1080/03235408.2013.845470>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2023). Producción de frijol, 1961 a 2022. Consultado en línea el 27 de noviembre de 2024: <https://ourworldindata.org/grapher/beanproduction?tab=chart&country=CHN~CHL~IND~BRA~USA~European+Union~MEX>.

Francisco, F.N., Gallegos, M.G., Ochoa, F.Y.M., Hernández, C.F.D., Benavides, M.A. y Castillo, R. F. (2013). Aspectos Fundamentales del Tizón Común Bacteriano (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* Smith): Características, Patogenicidad y Control. *Revista mexicana de fitopatología*, 31(2), 147-160. Recuperado en 18 de diciembre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092013000200006&lng=es&tlng=es.

Hallman, G., y García, J. (1985). *Empoasca spp.* como plaga del frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. Vol. 26. 13 P.

IICA/COSUDE (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), (Cooperación Suiza en América Central). (2008). Proyecto RED SICTA Guía de identificación y manejo Integrado de las enfermedades del frijol en América Central. 38 p. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/19167>

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2022). Valor agregado y alimentos agroindustriales elaborados a base de frijol. Consulta en línea el 27 de enero de 2025: <https://www.gob.mx/inifap/articulos/valor-agregado-y-alimentos-agroindustriales-elaborados-a-base-de-frijol>.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2021). Variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) del INIFAP. Fecha de consulta, noviembre 2024. Obtenido de: [https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_librotecnico/12277_5045_Variedades_de_Frijol_\(Phaseolus_vulgaris_L.\)_del_INIFAP.pdf](https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_librotecnico/12277_5045_Variedades_de_Frijol_(Phaseolus_vulgaris_L.)_del_INIFAP.pdf).

- León-Rojas, G. I., Rodríguez-Soto, C., & Padilla-Loredo, S. (2020). La conservación in situ del frijol criollo: construyendo soberanía alimentaria en el sureste del Estado de México. *Revista CoPaLa. Construyendo Paz Latinoamericana*, (9), 125-141.
- Machiani, M. A., Rezaei-Chiyaneh, E., Javanmard, A., Maggi, F., y Morshedloo, M. R. (2019). Evaluación del rendimiento de semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y producción cuali-cuantitativa de aceites esenciales de hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.) y cabeza de dragón (*Dracocephalum moldavica* L.) en un sistema de cultivo intercalado con aplicación de ácido húmico. *Journal of Cleaner Production*, 235, 112-122. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.241>.
- Magalhaes, A.M., Postma, J.A., & Lynch, J.P. (2015). Sinergismo fenólico entre la longitud de los pelos radicales y el ángulo de crecimiento de la raíz basal para la adquisición de fósforo. *Fisiología Vegetal*, 167(4), 1430-1439. Disponible en: <https://doi.org/10.1104/pp.15.00145>
- Mahuku, G.S., y Riascos, J.J. (2004). Virulencia y diversidad molecular en aislados de *Colletotrichum lindemuthianum* de variedades y regiones de frijol andino y mesoamericano. *Revista Europea de Fitopatología*, 110, 253-263. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/B:EJPP.0000019795.18984.74>
- Mohammed, A. (2013). Una visión general de la distribución, biología y manejo de la antracnosis del frijol común. *Revista de patología vegetal y microbiología*, 4(8), 1-6.
- Morales, R. (2024, 30 de agosto). Sequía eleva 156% las importaciones mexicanas de frijol. *El Economista*. Disponible en línea en: <https://www.economista.com.mx/empresas/Sequia-disparo-156-importaciones-mexicanas-de-frijol-en-enero-junio-20240829-0140.html>.
- Ng, T.-B., Wong, JH., Cheung, R., Lam, S.-K., Wang, H.-X., y Ye, X. (2011). Actividad Antifúngica y Antiproliferativa del Frijol Moteado (*Phaseolus vulgaris* cv). Frutos secos y semillas en la salud y la prevención de enfermedades, 1073–1077. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10127-6>

Phaseolus vulgaris L., 1753 en Gargominy O (2024). TAXREF. Versión 4.14. UMS PatriNat (OFB-CNRS-MNHN), París. Conjunto de datos de lista de verificación <https://doi.org/10.15468/vqueam>, consultado a través de GBIF.org el 27 de noviembre de 2024.

Priyanka, V., Kumar, R., Dhaliwal, I. y Kaushik, P. (2021). Conservación de germoplasma: un instrumento para la biodiversidad agrícola: una revisión. *Sustainability*, 13 (12), 6743. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13126743>

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2023). Bancos de Germoplasma, protectores de la soberanía nacional. Consultado el 12 de diciembre de 2024. Disponible: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/productor-productora-ya-conoces-los-bancos-de-germoplasma>.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2024). El Frijol mexicano: Variedades rositas, negros y pintos. Obtenido en línea el 27 de noviembre de 2024: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-frijol-mexicano-variedades-rositas-negros-y-pintos>.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). (2021). Fichas técnicas de plagas del cultivo de frijol. Consultado en línea el 18 de diciembre de 2024: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/fichas-tecnicas-de-plagas-del-cultivo-de-frijol?state=published>

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). Escenario mensual de productos agroalimentarios. Consultado en línea el 27 de noviembre de 2024: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/938463/Frijo_Julio.pdf.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). Svalbard: La Bóveda Global de Semillas. Consultado el 12 de diciembre de 2024. Disponible: <https://www.gob.mx/siap/articulos/svalbard-la-boveda-global-de-semillas>.

Silva, A.C.L., Machado, A.T., Torga, P.P., Silva-Neto, C. M., Bustamante, P.G., Bianchini, P.C., Soratto, R. P., y Oliveira, J.P. (2021). Acciones de frijol común (*Phaseolus*

vulgaris) del tipo mulatinho conservadas *ex situ* en Brasil. Investigación Genética y Molecular. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11449/210362>

SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). (2018). Mantenimiento y ampliación de la conservación *ex situ* de germoplasma de Frijol. Consultado en línea el 11 de diciembre de 2024: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/linea-7-regeneracion-y-multiplicacion-de-las-muestras-ex-situ-frijol>

SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). (2018). Regeneración y multiplicación de las muestras *ex situ* de Frijol. Consultado en línea el 11 de diciembre de 2024: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/generacion-de-protocolo-de-regeneracion-de-frijol-comun>

Ulloa, J. A., Rosas Ulloa, P., Ramírez Ramírez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. CONACYT.