

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación del Comportamiento Agronómico en Genotipos de Frijol

(*Phaseolus vulgaris* L.) para Producción de Semilla

Por:

MARTÍN CAMACHO CAMACHO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Febrero, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación del Comportamiento Agronómico en Genotipos de Frijol

(*Phaseolus vulgaris* L.) para Producción de Semilla

Por:

MARTÍN CAMACHO CAMACHO

TESIS

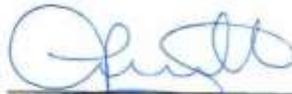
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

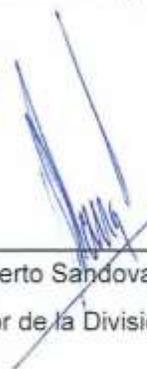
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Antonio Flores Naveda
Asesor Principal


Dr. Neymar Camposeco Montejo
Coasesor


Dra. Xochitl Ruelas Chacón
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Febrero, 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

Martin Camacho

Martín Camacho Camacho

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Juan Martín Camacho Osuna y Mirtha Camacho Salazar, por darme la confianza y oportunidad de seguir mis estudios profesionales, por apoyarme en cada paso y cada momento de mi vida de manera incondicional, sin su apoyo, no hubiera logrado mis metas y sueños.

A MIS HERMANOS

Fernando Camacho Camacho y Mirtha Camacho Camacho, por estar siempre a mi lado y siempre intentar alegrar mi día, cuando todo parecía difícil.

A MI ABUELA

María Osuna Raígoza, por siempre apoyarme y brindarme tu amor, por darme tantos momentos de felicidad y por acompañarme en cada paso que he recorrido durante estos años.

A MI NOVIA

Brenda Rodríguez, por ser esa persona que siempre estuvo a mi lado para apoyarme, aconsejarme y hacerme sentir que no estaba solo, Tu presencia a mi lado ha sido un faro de inspiración y motivación, recordándome constantemente la importancia de perseverar en busca de mis metas. Tus palabras de aliento y tu amor incondicional han sido mi mayor fortaleza en los momentos de duda y agotamiento.

A MIS AMIGOS

Saulo Cortez por ser uno de mis mejores amigos en la UAAAN, por seguir brindándome su amistad y confianza, durante todo el trayecto universitario, por todos los momentos compartidos y las experiencias vividas, por los consejos y el apoyo siempre incondicional que recibí.

Omar Bacilio por ser un gran amigo y un gran apoyo durante todos los semestres, por siempre apoyarme y nunca dejarme solo, por siempre aconsejarme y no dejar que me rindiera nunca.

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, Dr. Neymar Camposeco Montejo, Dra. Xochitl Ruelas Chacón y Dr. Armando Muñoz Urbina, por darme la oportunidad y confianza de llevar a cabo mi proyecto de investigación de Tesis, muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA..... | iv |
| AGRADECIMIENTOS..... | v |
| INDICE DE CUADROS..... | viii |
| INDICE DE FIGURAS..... | ix |
| RESUMEN..... | x |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Objetivo general..... | 3 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 3 |
| 1.3 Hipótesis..... | 3 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 Origen del cultivo de frijol..... | 4 |
| 2.2 Importancia del cultivo del frijol..... | 4 |
| 2.3 Producción mundial de frijol..... | 5 |
| 2.4 Producción nacional de frijol..... | 5 |
| 2.5 Clasificación taxonómica..... | 5 |
| 2.6 Conservación in situ..... | 6 |
| 2.7 Conservación ex situ..... | 6 |
| 2.8 CIAT..... | 7 |
| 2.9 Morfología de la planta..... | 8 |
| 2.10 Etapas de crecimiento y desarrollo..... | 10 |
| 2.11 Principales plagas y su control..... | 11 |
| 2.12 Principales enfermedades y su control..... | 13 |
| 2.13 Manejo agronómico del cultivo de frijol..... | 15 |
| 2.14 Cosecha..... | 16 |

| | |
|--|----|
| 2.15 Valor nutricional del frijol..... | 17 |
| 2.16 Valor agregado..... | 17 |
| III. MATERIALES Y METODOS..... | 18 |
| 3.1 Localización del sitio experimental..... | 18 |
| 3.2 Germoplasma utilizado..... | 19 |
| 3.3 Variables evaluadas..... | 21 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 23 |
| V. CONCLUSIONES..... | 30 |
| VI. LITERATURA CITADA..... | 31 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Exigencias minerales del cultivo de frijol..... | 16 |
| Cuadro 2. Características del ensayo y parcela experimental..... | 18 |
| Cuadro 3. Germoplasma experimental de frijol..... | 19 |
| Cuadro 4. Relación de genotipos frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) incluidos en el estudio..... | 23 |
| Cuadro 5. Cuadrados medios y coeficiente de variación para las variables evaluadas en el ciclo P-V 2022..... | 24 |
| Cuadro 6. Comparación de medias de las variables evaluadas en genotipos de frijol, ordenadas en base a la variable PGP..... | 24 |
| Cuadro 7. Correlaciones fenotípicas entre las variables agronómicas evaluadas..... | 29 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Descripción botánica de la planta de frijol..... | 9 |
| Figura 2. Etapas de crecimiento y desarrollo del frijol..... | 11 |
| Figura 3. Comparación de medias para la variable número de vainas por planta (NVP) en líneas experimentales de frijol, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera – Verano 2022, en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila..... | 25 |
| Figura 4. Comparación de medias para la variable número de semillas por vaina (NSV) en líneas experimentales de frijol, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2022, en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila..... | 26 |
| Figura 5. Comparación de medias para la variable longitud de vaina (LV) en cm en líneas experimentales de frijol, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2022, en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila..... | 27 |
| Figura 6. Comparación de medias para la variable peso en gramos por planta (PGP) en líneas experimentales de frijol, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2022, en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila..... | 28 |

RESUMEN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo importante en diversas regiones del mundo. En México es uno de los cultivos básicos de mayor consumo. Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación fue seleccionar genotipos de frijol, mediante su comportamiento agronómico y rendimiento de semilla por planta, con adaptación para su producción en la región sureste del estado de Coahuila.

El experimento se estableció en el ciclo Primavera-Verano del 2022 en el Campo Experimental Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila en donde se evaluaron siete genotipos de frijol pertenecientes al Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento. En los genotipos evaluados se estudiaron las variables: número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV), longitud de vaina (LV) y peso en gramos por planta (PGP). Con la información obtenida se realizó un análisis de varianza en un diseño de bloques completos al azar, una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) y un análisis de correlación fenotípica entre las variables evaluadas, utilizando el paquete estadístico Minitab versión 16.

En los resultados obtenidos se evaluaron características cualitativas como el hábito de crecimiento y color de grano donde los genotipos LEF-UA-01 (mostaza), LEF-UA-02 (pinto), LEF-UA-04 (moro) y LEF-UA-05 (negro) mostraron hábito de crecimiento indeterminado (Tipo III), y los genotipos LEF-UA-03 (negro), LEF-UA-06 (moteado) y el Testigo Pinto Saltillo (pinto) presentaron hábito de crecimiento determinado (Tipo I). El análisis de varianza detectó diferencias significativas y altamente significativas entre genotipos para las variables analizadas. La prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) muestra que los genotipos 01 (104.5 g p-1), 06 (78.4 g p-1) y Testigo 07 (68.8 g p-1) sobresalieron por su alto rendimiento, además el genotipo LEF-UA-01 fue superior estadísticamente ($p \leq 0.05$) en la variable número de vainas por planta (NVP= 105.4), el genotipo LEF-UA-06 en el número de semillas por vaina (NSV= 6.3) y el testigo (Pinto Saltillo) en la longitud de vaina (LV=11.6 cm).

La correlación con un valor mayor se presentó en las variables PGP y NVP ($r=0.873^{**}$), a su vez, la variable PGP también se relacionó positivamente con NSV ($r=0.595$) y LV ($r=0.584$). Las variables que muestran alta correlación con el rendimiento, son de gran importancia para el mejoramiento y selección de plantas, las cuales pueden ser utilizadas como criterios de selección, para continuar con su proceso de mejoramiento y producción de semilla mejorada de frijol para la región sureste del estado de Coahuila.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, semilla, genotipos, correlaciones fenotípicas.

I. INTRODUCCIÓN

El origen del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se remonta a hace miles de años, cuando los antiguos agricultores de Mesoamérica y de América del Sur comenzaron a cultivar esta leguminosa. Los primeros cultivos de frijol se encontraron en México y Perú, y se propagó a otros países de América Central y del Sur. Con el tiempo, el frijol se extendió a todo el mundo, y hoy en día se cultiva en todos los continentes (Chacón *et al.*, 2009).

Según el Banco Mundial (2019), el frijol es el tercer cultivo más importante del mundo, después del arroz y el maíz. En el mundo, los principales países productores de frijol son Estados Unidos, India, China, México, Brasil, Argentina, Canadá, Colombia, Nicaragua y Guatemala. Estos países representan el 80% de la producción mundial del cultivo de frijol.

En México, los principales estados productores son Sinaloa, Durango, Michoacán, Jalisco, Chihuahua, Nayarit, Guanajuato y San Luis Potosí. Estos estados representan el 70% de la producción nacional de frijol (FIRA, 2023). El Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (2019), señala que la producción nacional de frijol en México, ha aumentado en los últimos años, pasando de 4.7 millones de toneladas en 2011 a 5.5 millones de toneladas en el año 2018.

Esta leguminosa es un pilar en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola a nivel mundial y cuenta con un gran número de variedades, las cuales tienen la capacidad para fijar nitrógeno en simbiosis con bacterias del suelo, por lo cual, ha demostrado ser un cultivo importante en la rotación de cultivos para incrementar la fertilidad del suelo y la agricultura sostenible. Este cultivo es una fuente de ingresos para diversos agricultores en todo el mundo y además es una fuente de generación de empleos en diversas áreas rurales (Ayala *et al.*, 2021).

El frijol es una de las fuentes de proteínas vegetales para la humanidad, junto con los principales cereales, los frutos secos y las leguminosas. A su vez, el frijol es una fuente importante de vitaminas y minerales, como el hierro, el calcio, el magnesio, el zinc y el potasio. Estos nutrientes son esenciales para el buen funcionamiento del cuerpo humano, por lo que el frijol es un alimento esencial para la salud humana (FAO, 2016). Esta leguminosa, ha sido un alimento básico para diversas culturas a lo largo de la historia, y sigue siendo una fuente importante de la dieta de muchas personas en todo el mundo (Ayala *et al.*, 2021).

Según Ubersax (2023), su alto contenido de proteínas, carbohidratos, fibra y una amplia variedad de nutrientes esenciales, lo convierte en un alimento fundamental para millones de personas en todo el mundo. En la agroindustria, el frijol se ha destacado como un cultivo estratégico en la alimentación humana.

El mejoramiento genético del frijol, ha sido una disciplina esencial para enfrentar los desafíos emergentes en la agricultura y garantizar la seguridad alimentaria, por lo tanto, el mejoramiento de esta especie vegetal es clave para la generación de nuevas variedades mejoradas. La obtención de híbridos combina características deseables de diferentes variedades parentales, como resistencia a enfermedades, tolerancia a condiciones ambientales adversas y mayor rendimiento. La creación de híbridos de frijol, ha revolucionado la producción agrícola, permitiendo el cultivo de variedades más vigorosas y productivas (Rosas *et al.*, 2000). Gracias a los avances en la genómica y técnicas de biotecnología, se han logrado identificar y manipular genes clave responsables de rasgos agronómicos importantes. Estas investigaciones han llevado al desarrollo de variedades de frijol más resistentes a enfermedades, adaptadas a diferentes condiciones climáticas y con mayor valor nutricional (Beebe *et al.*, 2014).

La región centro norte de México es importante en la producción de frijol de donde se obtiene el 49.3% del total nacional (SIAP, 2020) en esta región también participa el estado de Coahuila, por lo tanto, en la presente investigación se estudiaron siete genotipos de frijol para seleccionar los que presenten las mejores características agronómicas para cultivarse en la región sureste del estado de Coahuila.

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 componentes de rendimiento, como son el número vainas por planta, número de semillas por vaina y rendimiento de grano por planta en siete genotipos de frijol en la región sureste de Coahuila.

Estimar correlaciones fenotípicas entre las variables de componentes de rendimiento en frijol.

1.2. Hipótesis

H₀: Ninguna de las selecciones de frijol, presentará capacidad de adaptación al medio ambiente evaluado y un potencial de rendimiento de semilla para la región sureste de Coahuila.

H₁: Al menos una de las selecciones de frijol, presentará capacidad de adaptación al medio ambiente evaluado y un potencial de rendimiento de semilla, para la región sureste de Coahuila.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen del cultivo de frijol

El origen del frijol se remonta a miles de años y tiene su centro de diversidad genética en América. Se cree que las primeras plantas fueron domesticadas en dos regiones principales: Mesoamérica y los Andes (Flores, 2015).

Mesoamérica es una de las regiones donde se domesticaron varias especies de frijol. Los antecedentes arqueológicos sugieren que la domesticación del frijol probablemente ocurrió hace unos 7,000 a 10,000 años en regiones de México y América Central. Se han encontrado restos arqueológicos de frijol en sitios como Puebla y Oaxaca en México, que datan de al menos 7,000 a.C. Estos restos proporcionan evidencia de los primeros intentos de domesticar estas plantas (Hernández *et al.*, 2013).

2.2. Importancia del cultivo del frijol

El frijol es una leguminosa que se cultiva en todo el mundo, pero es especialmente importante en México, donde es un alimento básico de la dieta nacional. El cultivo del frijol tiene una gran importancia económica, social y ambiental (Ayala *et al.*, 2021).

Los frijoles son uno de los cultivos más importantes del país. Es el principal cultivo alimentario importante, seguido de las lentejas y garbanzo. Se considera una de las primeras plantas domesticadas en el nuevo mundo, al igual que el maíz, y fue la base de la dieta de los pobladores de Mesoamérica y América del Sur (Ayala *et al.*, 2021).

Una de las principales características de esta planta es su valor nutritivo, ya que el contenido de proteínas y carbohidratos de sus semillas es apto para el consumo humano (Ávila *et al.*, 2014).

2.3 Producción mundial de frijol

En el año 2021, se cultivaron a nivel mundial 36.5 millones de hectáreas de frijol y se produjo un máximo histórico de 31.4 millones de toneladas, según datos de la FAO del volumen, 60.6% se cosechó en seis países: India (20.3%), Myanmar (17.4%), Brasil (9.7%), Estados Unidos (5.2%), China (4.2%) y México (3.8%). Se estima que aproximadamente el 70% del cultivo de frijol en el mundo se desarrolla en condiciones de temporal, por lo cual la productividad es altamente vulnerable a las condiciones ambientales, principalmente la cantidad y distribución de la precipitación (Economista, 2019).

2.4 Producción nacional de frijol

Durante el año 2021, la cosecha en México fue de más de un millón doscientas mil toneladas, del total de producción el 35 % se obtiene en el estado de Zacatecas con más de 451 mil toneladas, lo que lo posiciona como el primer estado productor a nivel nacional, seguido de Sinaloa con 12% de la producción y Durango con 10%. En los últimos 10 años, la superficie sembrada de frijol ha aumentado 12% al pasar de 1.51 a 1.69 millones de hectáreas. Actualmente, México ocupa el 9° lugar en exportación de frijol a nivel mundial (SADER, 2022).

2.5 Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Tribu: Phaseoleae

Género: Phaseolus

Especie: Vulgaris (Lineo, 1753).

2.6 Conservación in situ

La conservación in situ de semillas se refiere a la preservación y mantenimiento de la diversidad genética de las plantas a través de la conservación de poblaciones en su entorno natural o en condiciones que imitan su hábitat original. Este enfoque implica conservar y proteger las poblaciones silvestres o cultivadas de plantas, incluyendo sus semillas (Smith, 2019).

La diversidad genética del frijol es crucial para su supervivencia y evolución. Las distintas variedades de frijol poseen adaptaciones únicas a diferentes condiciones ambientales, como variaciones climáticas, tipos de suelo y presión de patógenos. Esta diversidad genética no solo contribuye a la resistencia a enfermedades, sino que también garantiza la disponibilidad de recursos genéticos valiosos para la mejora de cultivos futuros. La conservación in situ se convierte, por lo tanto, en un método indispensable para mantener esta variabilidad genética en los hábitats naturales donde estas adaptaciones evolucionaron (Casas, 2016).

2.7 Conservación ex situ

La conservación ex situ de semillas es una estrategia fundamental en la preservación de la diversidad genética de las plantas, incluyendo cultivos esenciales para la alimentación humana, como el frijol. Este enfoque implica la recolección y almacenamiento de semillas fuera de su entorno natural, con el objetivo de mantener y resguardar la variabilidad genética de las especies vegetales (Rodríguez, 2019).

La conservación ex situ implica la preservación de semillas fuera de su entorno natural, a menudo en bancos de germoplasma o instalaciones especializadas. En el contexto del frijol, este enfoque se vuelve crucial para mantener la variabilidad genética que permite a las plantas adaptarse a condiciones cambiantes y resistir enfermedades.

El frijol posee una amplia gama de características genéticas que pueden ser esenciales para mejorar la productividad, la resistencia a plagas y enfermedades, así como la adaptación a condiciones ambientales adversas (García, 2018).

Los bancos de germoplasma son instituciones especializadas que desempeñan un papel crucial en la conservación *ex situ* de semillas. Estos bancos almacenan muestras de semillas, asegurando su viabilidad a largo plazo mediante condiciones de almacenamiento controladas, como bajas temperaturas y niveles de humedad específicos (Reveles *et al.*, 2017).

2.8 CIAT

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), es un centro de investigación que forma parte del Sistema CGIAR. El CIAT es una organización que realiza investigación colaborativa para mejorar la productividad agrícola y el manejo de los recursos naturales en países tropicales y en vía de desarrollo (Historia, 2019).

El programa provee información precisa y actualizada acerca de sistemas agrícolas y recursos naturales, y busca influenciar las instituciones públicas y no gubernamentales para que la población rural se beneficie de las políticas y decisiones de los sectores públicos y privados. El enfoque del programa es en América Latina, principalmente América Central, Los Andes y la región amazónica. Sin embargo, también apoya otros proyectos de investigación en Asia y África (Historia, 2019).

El frijol caracterizado por sus valores nutritivos y por ser la dieta común de más de 400 millones de personas, los investigadores de frijol del CIAT conservan una amplia colección de germoplasma del mismo, a la vez que investigan en el desarrollo de variedades con resistencia genética a plagas y enfermedades comunes en los cultivos, reduciendo el uso de controles químicos. Mediante la técnica de biofortificación, además se busca además elevar el nivel de micronutrientes presentes en el grano, de frijol como son el hierro y el zinc (Historia, 2019).

2.9 Morfología de la planta

La morfología de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) incluye diversas estructuras que desempeñan funciones específicas en el crecimiento, desarrollo y reproducción de la planta Figura 1 (Cabana, 2021).

Cabana (2021) menciona la descripción detallada de las partes principales de la planta de frijol.

Raíz

Principal (primaria). La raíz principal es la primera estructura que emerge durante la germinación. Se extiende hacia abajo en el suelo y es responsable de la absorción de agua y nutrientes.

Secundarias (laterales). A medida que la planta crece, desarrolla raíces laterales que aumentan la capacidad de absorción de nutrientes y proporcionan estabilidad a la planta de frijol.

Tallo

El tallo es la parte aérea de la planta que se extiende desde la superficie del suelo hasta la punta más alta de la planta.

Nudos: Puntos en el tallo donde las hojas, ramas u otras estructuras se unen al mismo.

Entrenudos: Segmentos del tallo entre dos nudos.

Ápices: La punta del tallo, donde se produce el crecimiento.

Hojas

Las hojas son estructuras planas y verdes que se originan en los nudos del tallo.

Folíolos: Las hojas se dividen en pequeñas unidades llamadas folíolos. En el caso del frijol, las hojas son trifoliadas, lo que significa que constan de tres folíolos.

Estípulas: Pequeñas estructuras en la base del pecíolo.

Flores

Las flores se desarrollan en racimos en los extremos de los tallos. Cada flor consta de varias partes, incluyendo pétalos, sépalos, estambres y carpelos.

Inflorescencia: La disposición de las flores en el racimo.

Frutos

Después de la polinización, la flor se transforma en un fruto. En el caso del frijol, el fruto es una vaina que contiene las semillas.

Semillas

Las semillas de frijol se encuentran dentro de las vainas. Cada semilla puede dar lugar a una nueva planta, si se le proporcionan las condiciones adecuadas para la germinación.

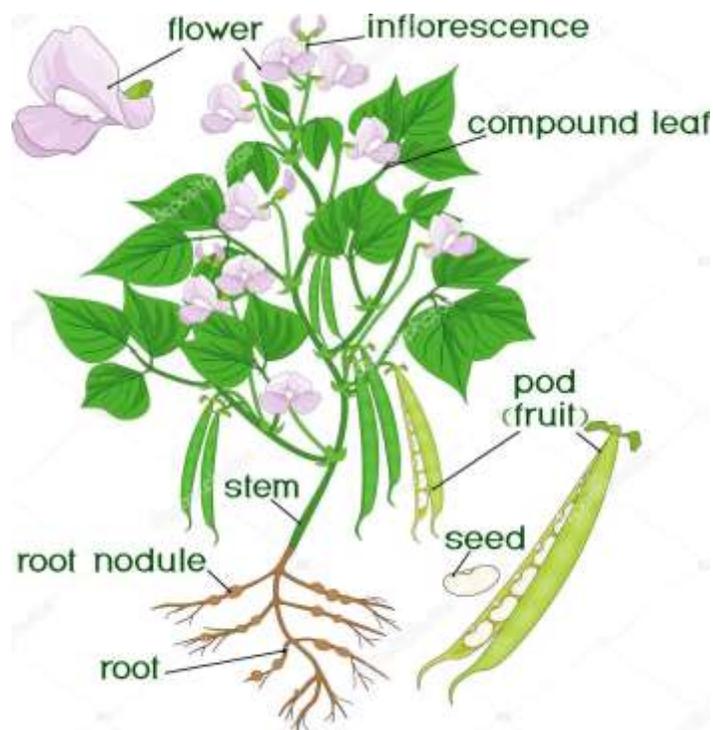


Figura 1. Descripción botánica de la planta de Frijol.

Fuente: Flaya, 2018.

2.10 Etapas de crecimiento y desarrollo

Según SIAP (2019), del frijol divide su crecimiento y desarrollo en nueve etapas fenológicas (Figura 2). A continuación, se describen cada una de ellas.

V0 Germinación: Se toma como iniciación de esta etapa el día que la semilla tiene humedad suficiente para el comienzo de este proceso; es decir, el día del primer riego, o de la primera lluvia si se siembra en un suelo seco.

V1 Emergencia: Se inicia cuando los cotiledones de la planta aparecen a nivel del suelo.

V2 Hojas primarias: Comienza cuando las hojas primarias (unifoliadas y compuestas) están desplegadas.

V3 Primeras hojas trifoliadas: Se inicia cuando la planta presenta la primera hoja trifoliada completamente abierta y las láminas de los folíolos se ubican en un plano.

V4 Tercera hoja trifoliada: Cuando la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada.

R5 Prefloración: Inicia cuando aparece el primer botón o racimo.

R6 Floración: cuando la planta presenta la primera flor abierta.

R7 Formación de las vainas: Cuando la planta presenta la primera vaina con corola de la flor colgada o desprendida.

R8 Llenado de la vaina: Se inicia cuando la primera vaina empieza a llenar. Es el inicio del crecimiento activo de la semilla. Las vainas presentan abultados que corresponden a las semillas en crecimiento.

R9 Maduración: Se caracteriza por el inicio de coloración y secado en las primeras vainas, continúa el amarillamiento, la caída de hojas y todas las partes de la planta se secan; las vainas al secarse pierden su pigmentación. El contenido de agua en las semillas baja hasta alcanzar 15%, momento en el cual las semillas adquieren su color típico. Termina el ciclo biológico y el cultivo se encuentra listo para su cosecha.

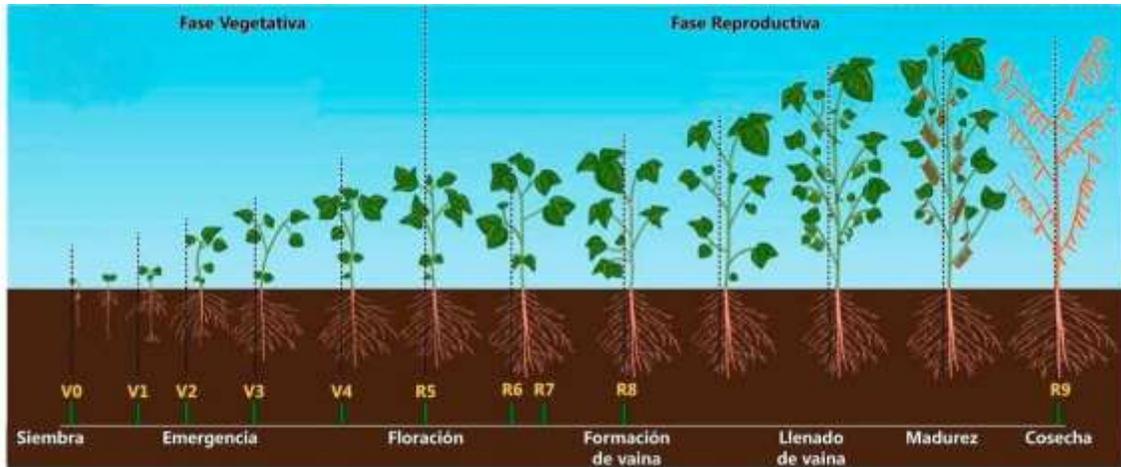


Figura 2. Etapas de crecimiento y desarrollo del frijol.

2.11 Principales plagas y su control

Minador de hojas de frijol (*Liriomyza* spp.)

Esta plaga suele aparecer en la etapa vegetativa de la planta de frijol, aunque puede persistir durante todo el cultivo y rara vez se encuentra en niveles altos de infestación que requieran control. Las moscas adultas son pequeñas moscas negras con segmentos amarillos, alas transparentes de 2 a 3 mm de largo y una mancha amarilla en la base de las alas. Su daño es causado porque las larvas pasan por tres estadios larvarios. Su ciclo de vida es de unos 23 días. Las pupas se pueden encontrar dentro de pasillos o cerca de troncos de árboles. Los adultos insertan huevos en las hojas. Cuando los huevos eclosionan, aparecen las larvas, de color blanco amarillento, brillantes, con cabezas oscuras, alargadas y de unos 2 mm de largo. Las larvas comienzan a alimentarse de los tejidos internos de las hojas, debilitándolas y creando hendiduras irregulares que, al secarse, forman manchas de color marrón rojizo. Una característica de esta plaga es que el control biológico funciona bien en la mayoría de las áreas de cultivo, por lo que las aplicaciones son poco frecuentes. Para controlar esta plaga, es necesario monitorear los cultivos desde las primeras etapas hasta la formación de frutos y si se encuentran de 20 a 25 hojas con corredores se pueden

pulverizar pesticidas. Entre los productos que se pueden utilizar para controlarlo se encuentran:

El ingrediente activo Spinosad a dosis de 120 a 180 cc/ha; Ciromazina (Trigard 75 WP) dosis 150 g/ha; dimetoato (Rogor 40 CE) a dosis de 1,0 l/ha; Clorpirifos (Lorsban 480 EC) (Ávila *et al.*, 2014).

Trips (Caliothrips Phaseoli)

Este insecto puede causar daños importantes a los cultivos de soya y cacahuate, y en el frijol, puede causar importantes pérdidas de rendimiento, ya que causa daños al chupar la savia de las hojas. Suelen causar daños en el envés, pero también se pueden encontrar en la parte superior de las hojas. Pueden aparecer desde las primeras etapas de la planta, hasta las últimas etapas, ocurriendo con mayor frecuencia durante el verano (Ávila *et al.*, 2014).

Generalmente dañan las hojas, sin embargo, también pueden atacar flores y frutos blandos, provocando raspaduras que conducen a la necrosis. El adulto inserta sus huevos debajo de la hoja y la ninfa rasca y chupa la savia de la planta, creando cicatrices que le dan a la hoja un aspecto ceniciento. Las hojas severamente atacadas se vuelven bronceadas y duras, lo que puede provocar que la planta pierda sus hojas prematuramente. El adulto es de color marrón oscuro, casi negro, con dos alas estrechas con plumas en los bordes, las alas anteriores tienen dos franjas dorsales claras y tres franjas oscuras. Las patas son de color marrón oscuro con los extremos amarillos del fémur y la tibia. La etapa inmadura es de color amarillo pálido. El ciclo biológico finaliza al cabo de unos 15 días. El control del mismo debe iniciarse en cuanto aparezcan las primeras hojas inferiores o haya más de cinco adultos por planta. Entre los productos recomendados para controlarlo se encuentran: dimetoato (Rogor 40 CE) a dosis de 1,0 l/ha; Diazinón (Diazinon 25 CE) 1,0 l/ha; Trimetoxam+λ-cialotrina (Engeo 247 SC) a dosis de 100 cc/ha (Ávila *et al.*, 2014).

2.12 Principales enfermedades y su control

Pudrición de la raíz del frijol por *Rhizoctonia (Rhizoctonia solani)*

La reducción del rendimiento provocada por este hongo está entre el 5 y el 10%. En el caso de las habas, los rendimientos han caído un 40% en algunas regiones. Esta enfermedad puede presentarse en cualquier zona dedicada al cultivo de frijol. En la región de Hermosillo, la mayoría de las plantas de frijol son más o menos atacadas por este hongo. En la Sierra de Sonora, esta enfermedad es uno de los factores limitantes en la producción agrícola. El hongo puede atacar tanto a las semillas como a las plántulas, provocando en este último caso la muerte de las plántulas. Los síntomas en esta etapa son idénticos a los del cultivo de algodón. En las plantas más viejas, el daño se manifiesta como un color amarillento de las hojas inferiores, que luego se extiende a toda la planta. Las raíces presentan lesiones de color marrón rojizo, a veces incluso apareciendo en el tallo. Las raíces atacadas ven destruidas sus raíces secundarias y terciarias y sólo se mantienen en pie gracias a las raíces adventicias de las que siguen viviendo. Las temperaturas entre 15 y 18°C y la alta humedad del suelo crean las condiciones para que las semillas se pudran y las plántulas se sequen. En condiciones desfavorables o a bajas temperaturas, el hongo pasa el invierno en el suelo en forma de saprófitos o en forma de esclerocios (Ávila *et al.*, 2014).

Antracnosis del frijol (*Colletotrichum lindemuthianum*)

Esta enfermedad ocurre en todas las regiones productoras de frijol del mundo y causa más daños graves en climas templados. Se considera ausente en zonas semidesérticas y subdesérticas. Esta se considera la enfermedad fúngica más común de los frijoles en México debido a su severidad y amplia distribución. En los trópicos y zonas subtropicales productoras de frijol de nuestro país, considerada la epidemia más importante, favorecido por condiciones de alta humedad relativa y baja temperatura. Se ha observado en Bajío, Chihuahua, Durango y Zacatecas. Esta enfermedad puede ser destructiva. En México, la producción de frijol ha caído entre 47 y 72% (Ávila *et al.*, 2014).

Los síntomas de la enfermedad aparecen en todos los órganos aéreos de la planta, pero rara vez en las raíces. La enfermedad es más prominente en las vainas o judías verdes, manifestándose como lesiones necróticas que comienzan como pequeñas manchas marrones, que aumentan rápidamente de tamaño y alcanzan 1 cm de diámetro. Los pecíolos y tallos de las hojas pueden tener lesiones que, si están presentes en el hipocótilo, producen constricción provocando muerte de la planta. Las semillas atacadas presentan lesiones de diferentes colores en la planta. A partir de las semillas afectadas aparecen lesiones en los cotiledones. Con la presencia de humedad, en el centro de la lesión una masa rosada que consiste en micelio y esporas de hongos. En México se han identificado 30 cepas fisiológicas de este hongo. Los factores ambientales que favorecen la enfermedad son: humedad relativa del 92% o más; el óptimo está cerca del 100%. La temperatura óptima es de 17° a 18°C. Tiempo lluvioso a intervalos frecuentes es factor esencial para el desarrollo de la enfermedad. A temperaturas mayores de 27° C la infección no se realiza y temperaturas de 13° C reducen al mínimo el ataque. Para su control las recomendaciones generales que reducen la severidad de esta enfermedad son: El uso de fungicidas en caso de que deba plantarse semilla de frijol susceptible, realizando aplicaciones a base de Maneb o Dithane antes de la floración, efectuar una segunda en plena floración y una tercera a finales del ciclo vegetativo. Las semillas deberán tratarse con fungicidas, antes de la siembra. En nuestro país se reportan algunas variedades con tolerancia a este hongo, lo cual ha permitido la explotación de frijol en regiones con condiciones propicias para el desarrollo de la enfermedad. Las variedades son: Canario 107, Canocel, Bayomex, Negro Mecentral, Negro 66, Delicias 71, Bayo Durango, Bayo 107 y Siechi 73 (Ávila *et al.*, 2014).

2.13 Manejo agronómico del cultivo de frijol

Selección del sitio

La elección del lugar de cultivo es crucial para el éxito del cultivo de frijol. Se recomienda un suelo bien drenado, ligeramente ácido a neutro y rico en materia orgánica. El frijol prospera en climas cálidos, evitando las heladas, y requiere una exposición adecuada a la luz solar (Escoto, 2004).

Variedades y semillas

La elección de variedades adecuadas para la región y el propósito del cultivo es esencial. Se deben seleccionar semillas de alta calidad, libres de enfermedades y con características deseables en términos de rendimiento y resistencia a plagas y enfermedades (Mancia, 2010).

Preparación del suelo

Antes de la siembra, se debe preparar el suelo adecuadamente. Esto implica labranza para integrar los residuos de cultivos anteriores, controlar malezas y proporcionar una cama de siembra óptima. La incorporación de fertilizantes orgánicos o inorgánicos debe basarse en análisis del suelo para garantizar un suministro adecuado de nutrientes (Mancia, 2010).

Siembra y densidad

La siembra debe realizarse en la época apropiada, generalmente después de la última helada. La densidad entre hileras y plantas individuales, depende de la variedad y las condiciones de crecimiento, pero es esencial para permitir un adecuado desarrollo de las plantas para facilitar la labranza y la cosecha (Escoto, 2004).

Riego

El frijol requiere un suministro de agua constante, especialmente durante períodos críticos como la floración y la formación de vainas. Se debe evitar el exceso de riego, ya que puede favorecer enfermedades radiculares (Mancia, 2010).

Control de malezas, plagas y enfermedades

Un manejo integrado de plagas y enfermedades es esencial para garantizar el éxito en la producción del cultivo de frijol. Esto incluye la aplicación de prácticas culturales, como la rotación de cultivos, así como el uso controlado de pesticidas y fungicidas cuando sea necesario (Lardizábal *et al.*, 2013).

Fertilización

El suministro equilibrado de nutrientes es crucial para el rendimiento del frijol. La aplicación de fertilizantes debe basarse en análisis de suelo y necesidades específicas del cultivo. La incorporación de leguminosas en la rotación de cultivos puede contribuir a la mejora de la fertilidad del suelo (Escoto, 2004).

Cuadro 1. Exigencias minerales del cultivo de frijol.

| Componentes de la cosecha | Kg/ha | | | | | |
|---------------------------|-------|---|----|----|----|----|
| | N | P | K | Ca | Mg | S |
| Vainas | 32 | 4 | 22 | 4 | 4 | 10 |
| Tallos | 65 | 5 | 71 | 50 | 14 | 15 |
| Total | 97 | 9 | 93 | 54 | 18 | 25 |

Fuente. Flor, 1985.

2.14 Cosecha

La cosecha del frijol se inicia cuando el contenido de humedad en la semilla se encuentra entre un 25 % esto se presenta cuando la mayoría de las plantas se tornan de color amarillento y el 90% de las vainas han cambiado a un color café claro. La cosecha debe realizarse cuando las vainas están maduras, pero antes de que los granos maduros se sequen completamente. El proceso de cosecha debe ser cuidadoso para evitar dañar las plantas y reducir la pérdida de granos. Los granos cosechados deben almacenarse en condiciones secas y ventiladas para prevenir la proliferación de hongos y mantener la calidad (Lardizábal *et al.*, 2013).

2.15 Valor nutricional del frijol

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante para consumo humano en el mundo, ya que es una fuente importante de proteína, calorías, vitaminas del complejo B y minerales (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2002). Actualmente, se realizan diversos estudios respecto a la calidad nutricional del frijol que se enfocan a mejorar la calidad nutricional a través del proceso de biofortificación con fines de mejorar la nutrición y salud de los consumidores (Suarez-Martínez *et al.*, 2016).

2.16 Valor agregado

El frijol está presente en la mayoría de los antojitos mexicanos, desde las burritas y coyotas de Sonora, hasta los panuchos y salbutes de Yucatán, pasando por los tlacoyos, garnachas, sopes y enfrijoladas en el sureste mexicano (SADER, 2019).

Del frijol se consumen todas sus partes, sus flores, semillas y ejotes; ya sean tiernas o maduras; en algunas zonas de México, las semillas se muelen utilizándolas como ingredientes en la preparación de algunos tamales. Esto quiere decir que su variedad en platillos es única, ya que se pueden preparar de una sola planta (SADER, 2019).

Los alimentos estudiados a base de frijol, presentan excelentes propiedades nutraceuticas, excelente contenido de fenoles totales, antocianinas, taninos y buena capacidad antioxidante. Los productos elaborados son el panqué, barrita energética, churros, snacks y totopos. Los cuales son alimentos funcionales pues se encuentran bajo los protocolos necesarios de calidad, de tal manera, que pueden ser replicados por los usuarios para su producción y comercialización. Lo que origina un mayor valor agregado en el grano de frijol, con propiedades nutricionales y nutraceuticas (INIFAP, 2022).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El experimento para evaluar los siete genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se estableció 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 2.

Cuadro 2. Características del ensayo y parcela experimental.

| Localidad | UAAAN |
|--|---------------------------|
| Fecha de siembra | 27 mayo de 2022 |
| Diseño | 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 |

*Fertidrip; 20-20-20; 20-30-10 + micronutrientes

3.2. Germoplasma utilizado

En el presente experimento se utilizaron líneas experimentales de frijol pertenecientes al Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Los genotipos 1 (LEF-UA-01), 2 (LEF-UA-02), 4 (LEF-UA-04) y 5 (LEF-UA-05) corresponden al tipo de crecimiento indeterminado y los genotipos 3 (LEF-UA-03), 6 (LEF-UA-06) y 7 (Testigo) al tipo de crecimiento determinado, los cuales se presentan a continuación en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Germoplasma experimental de frijol utilizado en el experimento.

| Tratamiento | Genotipo | Imagen |
|-------------|-----------|---|
| T1. | LEF-UA-01 |  |
| T2. | LEF-UA-02 |  |
| T3. | LEF-UA-03 |  |

T4.

LEF-UA-04



T5.

LEF-UA-05



T6.

LEF-UA-06



T7.

Testigo (Pinto Saltillo)



3.3. Variables evaluadas

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

Número de vainas por planta (NVP)

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

Número de semillas por vaina (NSV)

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

Longitud de vaina (LV)

Esta variable se midió con una cinta métrica de 1 m, y se tomaron 10 vainas por planta, cada vaina se midió desde la base, hasta el extremo apical y se expresó en centímetros (cm).

Peso en gramos por planta (PGP)

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

3.4. Análisis estadísticos

En el experimento de siete genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris*), en el cual se evaluaron cuatro variables agronómicas en el ciclo P-V 2022, se utilizó el diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones, utilizando en paquete estadístico 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 .

Coeficiente 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 = $\sqrt{\text{CME}/r}$

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.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 4 se observa variación en el germoplasma evaluado en el presente experimento detectándose dos tipos de crecimiento, el determinado: cuando su porción apical termina en una inflorescencia e indeterminado: en el cual la porción apical permanece en forma vegetativa (Mancia, 2010). En base al color de grano se presentan diferentes tipos, los de color negro se prefieren en la región sur del país y los de color pinto y amarillo en la región norte del país (Cruz-Cruz *et al.*, 2021).

Cuadro 4. Relación de genotipos frijol (*Phaseolus vulgaris*) incluidos en el estudio.

| Número | Genotipos | Habito de crecimiento* | Color de grano |
|--------|-----------|------------------------|----------------|
| 1 | LEF-UA-01 | Indeterminado (III) | Mostaza |
| 2 | LEF-UA-02 | Indeterminado (III) | Pinto |
| 3 | LEF-UA-03 | Determinado (I) | Negro |
| 4 | LEF-UA-04 | Indeterminado (III) | Moro |
| 5 | LEF-UA-05 | Indeterminado (III) | Negro |
| 6 | LEF-UA-06 | Determinado (I) | Moteado |
| 7 | Testigo | Determinado (I) | Pinto |

* (I)= Tipo determinado arbustivo, (III)= Tipo indeterminado postrado

Las variables analizadas bajo el diseño de bloques completos al azar (Cuadro 5) muestran que se presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en la fuente de variación genotipos para las variables: número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV) y longitud de vaina (LV). En la variable peso en gramos por planta (PGP) se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre genotipos. Con respecto al coeficiente de variación se presentaron valores de 2.84% para LV y de 31.0% para PGP.

Cuadro 5. Cuadrados medios y coeficiente de variación para las variables evaluadas en el ciclo P-V 2022.

| F.V. | G.L. | Cuadrados Medios | | | |
|--------------------|------|------------------|----------|----------|---------|
| | | NVP | NSV | LV | PGP |
| Genotipos | 6 | 1493.8** | 2.3848** | 1.5536** | 1704.0* |
| Bloques | 1 | 42.5 | 0.4114 | 0.0020 | 135.8 |
| Error experimental | 6 | 102.5 | 0.1981 | 0.0866 | 325.2 |
| Total | 13 | | | | |
| Media | | 55.80 | 5.17 | 10.21 | 58.14 |
| C.V. (%) | | 18.13 | 8.70 | 2.84 | 31.00 |

*Significativo, **Altamente significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, NVP= número de vainas por planta, NSV= número de semillas por vaina, LV= longitud de vaina y PGP= peso en gramos por planta.

El análisis de comparación de medias Prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) en la variable NVP los genotipos LEF-UA-01 y LEF-UA-03 fueron los que sobresalieron en esta característica (Cuadro 6) siendo el genotipo LEF-UA-01 estadísticamente superior al resto ($p \leq 0.05$) mientras que el genotipo LEF-UA-02 fue el que presentó el promedio más bajo. En el NSV se puede apreciar que el genotipo LEF-UA-06 expresó el más alto promedio de NSV (6.3) al contrario el genotipo LEF-UA-02 expresó el menor NSV (2.9). En la variable LV el rango fue de 9.3 a 11.6 cm siendo el Testigo estadísticamente ($p \leq 0.05$) superior al resto.

Cuadro 6. Comparación de medias de las variables evaluadas en genotipos de frijol, ordenadas en base a la variable PGP.

| Genotipo | NVP No. | NSV No. | LV cm | PGP g pl ⁻¹ |
|------------|------------|------------|----------|---------------------------|
| LEF-UA-01 | 105.4 a | 5.1 a | 11.1 ab | 104.5 a |
| LEF-UA-06 | 53.9 bc | 6.3 a | 9.6 c | 78.4 ab |
| Testigo | 47.9 bc | 5.2 a | 11.6 a | 66.8 ab |
| LEF-UA-03 | 66.4 ab | 5.9 a | 10.4 abc | 53.0 ab |
| LEF-UA-04 | 50.2 bc | 5.2 a | 10.0 bc | 50.3 ab |
| LEF-UA-05 | 53.5 bc | 5.6 a | 9.3 c | 42.0 ab |
| LEF-UA-02 | 13.3 c | 2.9 b | 9.5 c | 12.0 b |
| Tukey 0.05 | 42.17 | 1.82 | 1.23 | 75.09 |

NVP= número de vainas por planta, NSV= número de semillas por vaina, LV= longitud de vaina y PGP= peso en gramos por planta. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Una característica importante en el cultivo de frijol es su rendimiento, el cual se evaluó en este experimento por su peso de semilla en gramos por planta (PGP) (Figura 6), en esta variable destaca estadísticamente ($p \leq 0.05$) el genotipo LEF-UA-01 con (104.5 g p^{-1}) seguido de los genotipos LEF-UA-06 (78.4 g p^{-1}) y Testigo (68.8 g p^{-1}).

Una característica importante del genotipo LEF-UA-01 fue su alto NVP (105.4) superando en promedio al reportado por Lépiz *et al.* (2010) quienes obtuvieron en promedio 65.2 número de vainas por planta (Figura 3).

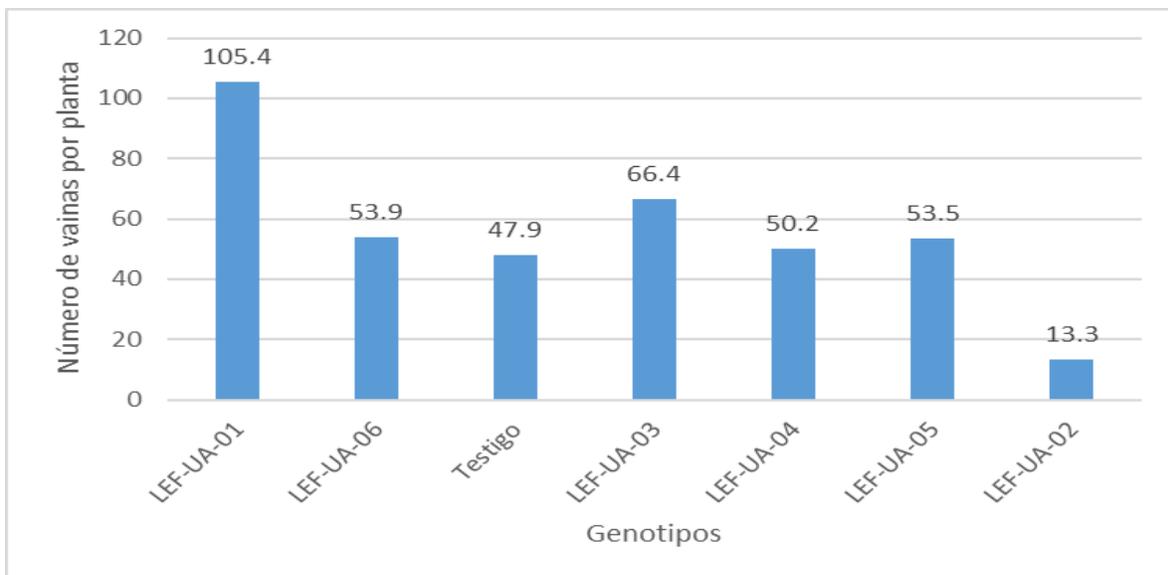


Figura 3. Comparación de medias para la variable número de vainas por planta (NVP) en líneas experimentales de frijol, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera – Verano 2022, en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Otro rasgo importante del genotipo de frijol LEF-UA-01 fue su alta LV (11.1 cm). El genotipo LEF-UA-02 no expresó su potencial de rendimiento (12.0 g p^{-1}), debido a que presentó el menor NVP y NSV, esto debido a situaciones adversas como fue la presencia de roedores durante la etapa de madurez fisiológica final del grano (Figura 4).

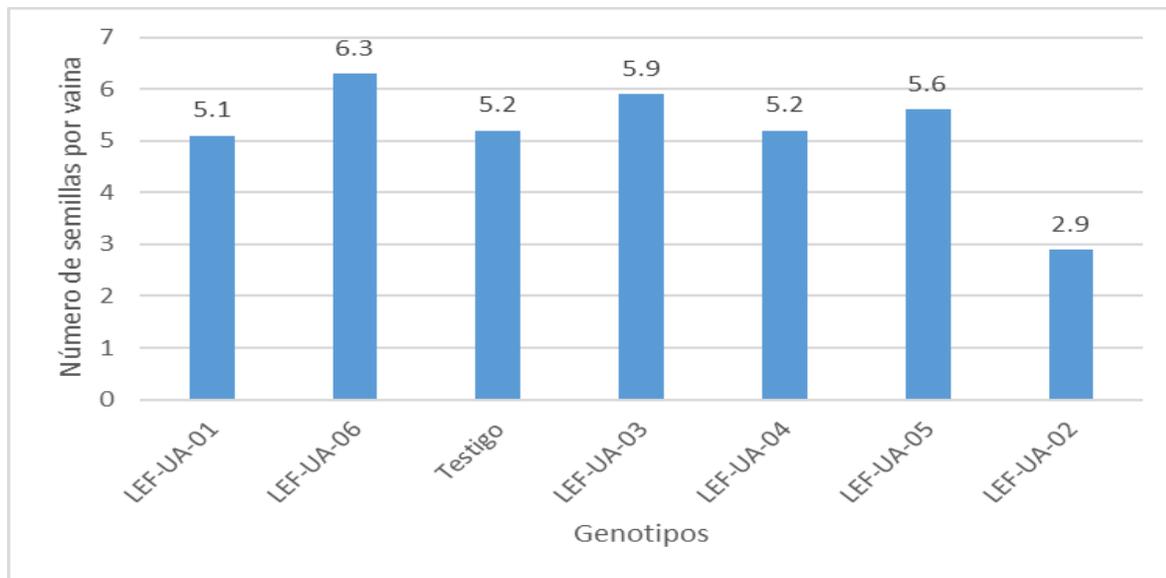


Figura 4. Comparación de medias para la variable número de semillas por vaina (NSV) en líneas experimentales de frijol, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2022, en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Para la variable longitud de vaina (LV) (Figura 5) se puede observar que la mejor respuesta la presenta el tratamiento Testigo con un valor de 11.6 cm, con respecto del genotipo LEF-UA-05 con un promedio de 9.3 cm para LV.

A su vez, es importante mencionar que en la presente investigación se evaluaron genotipos de frijol con diferente pigmentación en el color de grano. De acuerdo con Serrano e Isabel (2004), el frijol negro presenta un contenido elevado de proteína, carbohidratos y minerales, poco contenido en lípidos, aunque es rico en ácido linoléico (7) y su aporte calórico es relativamente bajo.

Asimismo, el frijol moro presenta un gran sabor y textura suave, el cual presenta un color plateado con puntos negros, siendo una combinación entre frijol negro y pinto que le hace único.

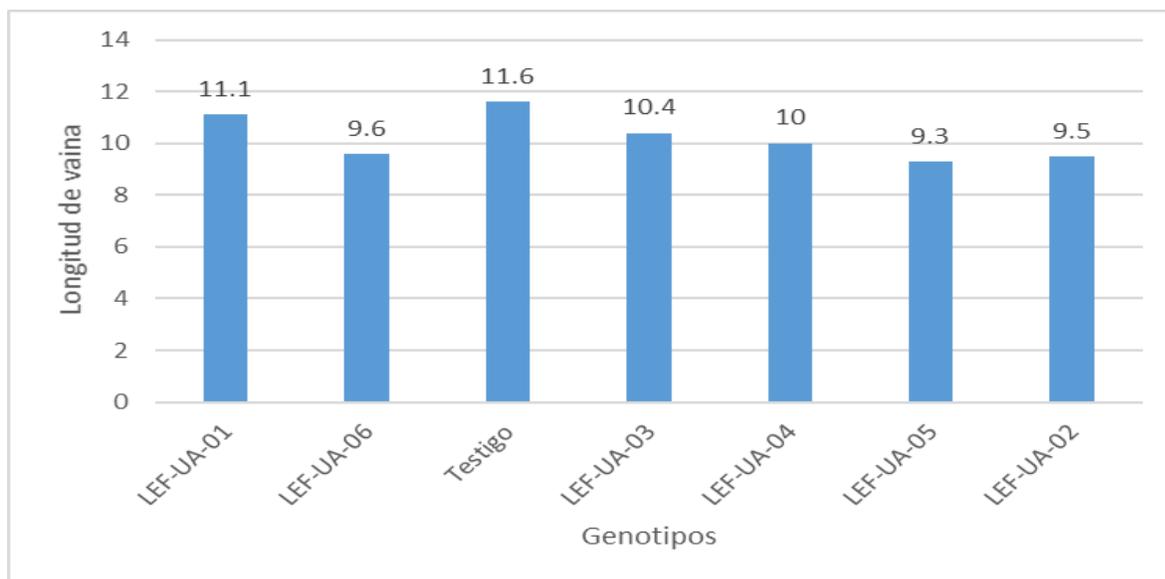


Figura 5. Comparación de medias para la variable longitud de vaina (LV) en cm en líneas experimentales de frijol, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2022, en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

De acuerdo con los resultados obtenidos por Acosta *et al.* (2008) en regiones productoras de frijol de Zacatecas, región noroeste, centro y sureste demuestran que los valores de correlación entre el índice de área foliar y el rendimiento son bajos e inconsistentes, debido a que dicha relación podría estar influenciada por las condiciones ambientales, las variedades y la interacción de ambos factores, así como por el manejo agronómico del cultivo. El resultado reportado en rendimiento promedio de las variedades fue diferente entre localidades con valores de 130 g m⁻² en la región noroeste con variedades criollas del tipo Negro San Luis, 139 g m⁻² en región centro con tipo Flor de Junio y 95 g m⁻² en el sureste con tipo Flor de Mayo.

En la presente investigación la mejor respuesta en la variable rendimiento de grano, reportado en peso en gramos por planta fue para el genotipo LEF-UA-01 con un color de grano mostaza, respecto a los demás genotipos de color negro, pinto, moro, y moteado (Figura 6).

Las variaciones en el rendimiento de frijol, entre diversos ambientes de evaluación, indican que aun cuando se trate de variedades del mismo tipo de color de grano o diferente genotipo, puede atribuirse al manejo agronómico del cultivo, fecha de siembra, densidad de población, incidencia de plagas y enfermedades, nivel de fertilidad del suelo, entre otros factores bióticos y abióticos.

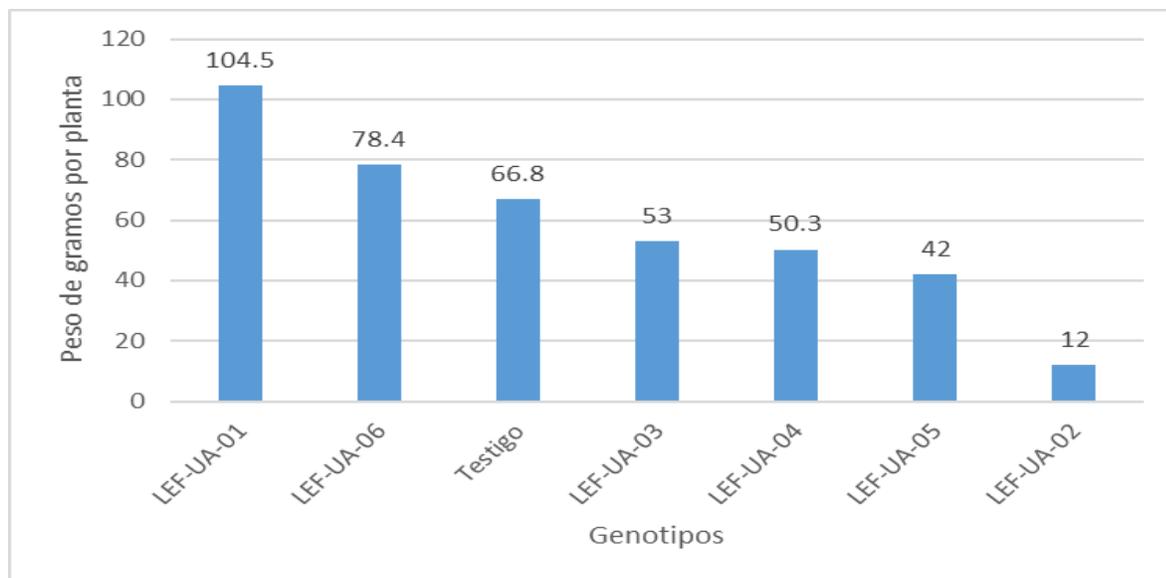


Figura 6. Comparación de medias para la variable peso en gramos por planta (PGP) en líneas experimentales de frijol, evaluadas en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2022, en el Campo Experimental Buenavista, Saltillo, Coahuila.

En el cultivo de frijol al generarse una nueva variedad, es importante verificar su comportamiento agronómico a nivel comercial en diferentes ambientes de producción y bajo el manejo del productor, según Rosales *et al.* (2009), para garantizar la adaptación del genotipo al ambiente de producción.

De acuerdo con Padilla *et al.* (2008), el frijol es más sensible al estrés hídrico durante las etapas de floración, llenado de vainas e inicio de maduración. A su vez, Tosquy *et al.* (2017) mencionan que la sequía durante la etapa reproductiva del frijol reduce significativamente el tiempo para llegar a la madurez fisiológica y, en consecuencia, el periodo de llenado de grano, lo que impacta en una reducción del rendimiento de frijol.

Asimismo, para la obtención de altos rendimientos en frijol, bajo condiciones de temporal es necesario ajustar el manejo agronómico del cultivo al medio ambiente Osuna *et al.* (2018).

De acuerdo con los resultados reportados por Tosquy *et al.* (2020) en un análisis combinado de rendimiento de grano, la variedad de frijol Negro Comapa se ha evaluado y validado con resultados sobresalientes para el estado de Chiapas, principal productor de frijol en el sureste de México.

En el cultivo de frijol es importante estimar los componentes de rendimiento, a través de un análisis de correlación, los cuales se presentan en el Cuadro 7.

El análisis de correlaciones fenotípicas se realizó para estimar la relación existente entre las variables evaluadas (Cuadro 7). La matriz de correlaciones mostró la relación positiva existente entre rendimiento (PGP) y NVP ($r= 0.873^{**}$), NSV ($r= 0.595$) y LV ($r=0.584$).

Cuadro 7. Correlaciones fenotípicas entre las variables agronómicas evaluadas.

| Variabales | NVP | NSV | LV |
|------------|---------------------|-------|-------|
| NSV | 0.543 | | |
| LV | 0.499 | 0.102 | |
| PGP | 0.873 ^{**} | 0.595 | 0.584 |

^{**}Altamente significativo al 0.01 de probabilidad, NVP= número de vainas por planta, NSV= número de semillas por vaina, LV= longitud de vaina y PGP= peso en gramos por planta.

La correlación estadística altamente significativa ($p \leq 0.01$) fue entre las variables PGP y NVP, lo cual indica que el NVP es uno de los principales componentes de rendimiento en frijol. Las variables que muestran alta correlación con el rendimiento, son muy importantes para el mejoramiento de plantas Lescaj *et al.* (2017), las cuales pueden ser utilizadas como criterios de selección para el mejoramiento de frijol.

V. CONCLUSIONES

- El germoplasma evaluado de frijol, presentó variación en su hábito de crecimiento y color de grano.
- El análisis de varianza, detectó diferencias significativas y altamente significativas entre genotipos para las variables agronómicas evaluadas.
- Los genotipos LEF-UA-01 (104.5 g p^{-1}), LEF-UA-06 (78.4 g p^{-1}) y Testigo (68.8 g p^{-1}) se seleccionaron por su alto rendimiento, además el genotipo LEF-UA-01 fue superior en la variable número de vainas por planta (NVP= 105.4), el genotipo LEF-UA-06 en el número de semillas por vaina (NSV= 6.3) y el Testigo en la longitud de vaina (LV=11.6 cm).
- La correlación más alta se presentó entre el par de variables PGP y NVP ($r= 0.873^{**}$), PGP también se relacionó positivamente con NSV ($r= 0.595$) y LV ($r=0.584$).

VI. LITERATURA CITADA

- Acosta Díaz, Efraín, Acosta Gallegos, Jorge Alberto, Amador Ramírez, Mario Domingo, & Padilla Ramírez, José Saúl. (2008). Relación entre índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano. *Agricultura Técnica en México*, 34(1), 13-20.
- Ayala-Garay A.V., Acosta-Gallegos J.A. y Reyes-Muro Luis. 2021. El Cultivo del Frijol Presente y Futuro para México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío. Celaya Gto. México, Libro Técnico No. 1. 232 p.
- Ávila, J.A., J.M. Ávila, F.J. Rivas y D Martínez. 2014. El cultivo del frijol: Sistemas de producción en el noreste de México. Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería.
- Banco Mundial. (2019). Frijol. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/ag.Lnd.frmj.mt>
- Beebe, S., Ramirez, J., Jarvis, A., Rao, I. M., & Mosquera, G. (2014). Mejoramiento genético del frijol común para zonas tropicales. CIAT Publicación No. 388. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10568/44442>
- Casas, A. (2016). "Manejo y conservación in situ y ex situ de recursos genéticos". En A. Casas, J. Torres-Guevara, & F. (. Parra, Domesticación en el continente americano (págs. 347-360). México: Universidad Nacional Autónoma de México; Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Chacón, M.I. (2009). Darwin y la domesticación de plantas en las Américas: El caso del maíz y el frijol. *Acta Biológica Colombiana*, 14(4),351-363. Disponible en: <https://www.redalyc.org/ articulo.oa?id=319028030030>

- Cabana, A. (2021). Morfología de la planta de frijol. Slideshare.net. Recuperado el 8 de diciembre de 2023, de <https://es.slideshare.net/AdrianCabana2/morfologa-de-la-planta-de-frijol>
- Cruz-Cruz, E., J.A. Acosta-Gallegos, L. Reyes-Muro y J.A. Cueto-Wong. (2021). Variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) del INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Oficinas Centrales. Ciudad de México. México. Libro Técnico No. 2, 98 p.
- Escoto, N. (2004). Manual Técnico El Cultivo de Fríjol. Edu.ni. Honduras C. A. Recuperado el 13 de diciembre de 2023, de <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/REf01e74.pdf>
- Economista, E. (2019). El mercado mundial y nacional del frijol. El Economista. <https://www.economista.com.mx/opinion/El-mercado-mundial-y-nacional-del-frijol-20190328-0088.html>
- FAO. (2016). Frijol común (*Phaseolus vulgaris*): Un cultivo esencial para la seguridad alimentaria y la nutrición. Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i6024s.pdf>
- Flores, ML (2015). El cultivo del frijol en México. Unam.mx. Recuperado el 29 de julio de 2023, de <https://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art09/>
- Flaya, M. (2018) Depositphotos.com. Recuperado el 8 de diciembre de 2023, de <https://depositphotos.com/mx/vector/parts-plant-morphology-bean-plant-root-system-flowers-pods-titles-202038324.html>
- Flor, M. C. A. (1985). Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol. In: Frijol: Investigación y Producción. López, M.; Fernández F. y Schoonhoven, A. van (Eds.). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 287-312 pp.
- García, A. (2018). Conservación ex situ de semillas de frijol: Estrategias para preservar la diversidad genética. Revista de Agricultura Sostenible, 25(3), 112-130.

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

Guzmán-Maldonado SH, Acosta Gallegos JA, Álvarez-Muñoz MA, García-Delgado S, Loarca-Piña G. (2002). Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México* 28(2): 159-173.

Hernández-López, VM, Vargas-Vázquez, MLP, Muruaga-Martínez, JS, Hernández-Delgado, S., y Mayek-Pérez, y. N. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común. *Avances y perspectivas*. Org.mx.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n2/v36n2a2.pdf>

Historia. (2019). Alianza Bioersity Internacional - CIAT. Recuperado el 7 de diciembre de 2023, de <https://alliancebioersityciat.org/who-we-are/history-alliance>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). Producción de frijol. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/programas/agricultura/>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2022). Valor agregado y alimentos agroindustriales elaborados a base de frijol. gob.mx. Recuperado el 16 de diciembre de 2023, de <https://www.gob.mx/inifap/articulos/valor-agregado-y-alimentos-agroindustriales-elaborados-a-base-de-frijol>

Lardizábal, R., Arias, S., Rafael, Y., y Mayo, S. (2013). Manual de Producción de Frijol. Recuperado el 13 de diciembre de 2023, de <https://dicta.gob.hn/files/2012,-manual-de-produccion-de-frijol,-G.pdf>

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

Lescay, E., Vázquez Y. y Celeiro F. (2017). Variabilidad y relaciones fenotípicas en variables morfoagronómicas en genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Centro Agrícola*. 44: 58-64. <http://cagricola.uclv.edu.cu>.

- Minitab, Inc. 2009. Minitab Statistical Software, Versión 16 para Windows, StateCollege, Pennsylvania. Minitab® es una marca comercial registrada de Minitab, Inc.
- Mancia, J. 2010. Uso de semilla seleccionada y mejorada de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) para la reducción de síntomas de virosis e incremento del rendimiento local en el caserío nacaspilo, santa clara, san vicente, el salvador. Universidad de el salvador. Facultad multidisciplinaria paracentral.
- Osuna-Ceja, Esteban Salvador, Luis Reyes-Muro, Padilla-Ramírez José Saúl, y Martínez-Gamiño Miguel Ángel. 2018. Rendimiento de Frijol Pinto Saltillo. En Altas Densidades de Población Bajo Temporal. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3 (7). México, ME:1389-1400. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1345>.
- Padilla, J. S., Acosta, J. A., Osuna, E. S., Acosta, E., y Martínez, M. A. (2008). Respuesta del frijol a la sequía. Tecnología para la Producción de Frijol en el Norte Centro de México. Libro Técnico No. 4. San Luis Potosí, SLP, México. Campo Experimental San Luis. CIRNE. INIFAP.
- Rodríguez, M. (2019). Desafíos y perspectivas en la conservación ex situ de recursos fitogenéticos. Journal of Genetic Resources, 14(2), 78-92.
- Reveles-Torres L.R. y Velásquez-Valle, R. 2017. Patrimonio fitogenético: Banco de germoplasma de semillas ortodoxas del Campo Experimental Zacatecas. Folleto Técnico Núm 81. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP, 44 páginas.
- Rosales, R., Acosta, J. A., Ibarra, F. J., Cuéllar, E. I., y Nava, C. A. (2009). Validación de variedades y líneas mejoradas de frijol en Durango. Publicación Especial Núm. 27. Durango, Durango., México: Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC. INIFAP.
- Rosas, J. C., Castro, A., & Flores, E. (2000). Mejoramiento genético del frijol rojo y negro mesoamericano para Centroamérica y El Caribe. Agronomía Mesoamericana, 11(2), 37-43.
- Serrano, José, & Goñi, Isabel. (2004). Papel del frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) en el estado nutricional de la población guatemalteca. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 54(1), 36-44.

- Smith, J. (2019). Conservation In Situ Strategies for Crop Genetic Diversity. *Journal of Agricultural Science*, 45(3), 112-130.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2022). La importancia de la producción de frijol en México. *gob.mx*. 2022. Consultado el 6 de diciembre de 2023 en <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-importancia-de-la-produccion-de-frijol>
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2019). La importancia del frijol en México. *gob.mx*. Recuperado el 16 de diciembre de 2023, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-importancia-del-frijol-en-mexico>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2019). Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo agrícola otoño invierno 2019.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Producción Nacional: Cierre de la producción agrícola. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Suárez-Martínez SE, Ferriz-Martínez RA, Campos-Vega R, Elton-Puente JE, de la Torre Carbot K, García-Gasca T. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA-Journal of Food* 14(1): 131-137
- Tosquy, O. H., López, E., Zetina, R., Villar, B., & Rodríguez, J. R. (2017). Producción de genotipos de frijol negro en condiciones de humedad residual y sequía terminal. *Terra Latinoamericana* 35(1) 29-39.
- Tosquy Valle, O. H., López Salinas, E., Esqueda Esquivel, V. A., Rodríguez Rodríguez, J. R., Acosta Gallegos, J. A. (2020). Validación de la variedad de frijol Negro Comapa en ambientes tropicales del estado de Veracruz. *Acta Universitaria* 30 (1) 11.
- Ubersax, Cichy, Gómez, Porche, Heitolt, J., Osorno, Kamfwa, K., Chasquido, Palos S. (2023). Frijoles secos (*Phaseolus vulgaris* L.) como componente vital de la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria: una revisión ciencia de las leguminosas, 5 (<https://doi.org/10.1002/leg3.155>).