



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

**Respuesta de dos variedades de frijol a la
aplicación de diferentes fuentes nutrimentales**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

JESÚS DE LA CRUZ FLORES

ASESOR: Dr. GUSTAVO MERCADO MANCERA

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de: **Tesis**

Respuesta de dos variedades de frijol a la aplicación de diferentes fuentes nutrimentales

Que presenta el pasante: **Jesus De la Cruz Flores**

Con número de cuenta: **417082699** para obtener el Título de: **Ingeniero Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 23 de febrero de 2023.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en C. Vicente Silva Carrillo	
VOCAL	Dr. Gustavo Mercado Mancera	
SECRETARIO	M. en C. Nancy Berenice Martínez Valles	
1er. SUPLENTE	Ing. Fernando Ortiz Salgado	
2do. SUPLENTE	Ing. Ana Karen Granados Mayorga	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

MCVB/ntm*

AGRADECIMIENTOS

A la carrera de Ingeniería Agrícola por darme grandes experiencias de vida y descubrir lo bonito que es el agro mexicano.

A mis amigos que con el tiempo muchos de ellos se volvieron familia, que me ayudaron de alguna u otra forma para lograr alcanzar la meta.

A mí asesor, el doctor Gustavo Mercado Mancera que me apoyo incondicionalmente durante este largo proceso, y que me ayudó dentro y fuera del aula de clases.

Al Jurado revisor, por sus comentarios para mejorar este documento.

Y a toda la discografía de Junior h y los Bukís, que en mis momentos de estrés me ayudaron al poder redactar este trabajo.

DEDICATORIA

Para mis padres, este trabajo es tan suyo como mío, sin su apoyo y amor incondicional nada de esto hubiera sido posible, lo amo.

A mis hermanos, Miriam y Gerardo que la vida nos permita seguir compartiendo nuestros logros y felicidad.

Para Yasmín, que en la buenas y malas siempre estuviste para mí en esta etapa de mi vida.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>i</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>ii</i>
RESUMEN	<i>iii</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.1.1. Objetivos particulares	3
1.2. Hipótesis	3
II. ANTECEDENTES	4
2.1. Generalidades del cultivo de frijol	4
2.1.1. Importancia económica	4
2.1.2. Superficie y producción en México	5
2.1.3. Variedades de frijol	6
2.2. La nutrición en las plantas de cultivo	8
2.2.1. Importancia de la nutrición en el crecimiento y desarrollo de los cultivos	11
2.2.2. Fertilización inorgánica vs orgánica	12
2.3. Investigaciones previas del tema	14
2.4. Descripción del área de estudio	17
2.4.1. Localización	17
2.4.2. Características edafoclimáticas	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Metodología	19
3.1.1. Variables evaluadas	20
3.1.2. Análisis estadístico	21
3.2. Materiales	21

	Página
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1. Variables climáticas	22
4.2. Fenología del cultivo	25
4.3. Componentes del rendimiento	28
V. CONCLUSIONES	32
VI. LITERATURA CITADA	33
ANEXOS	38

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Hábitos de crecimiento de frijol (Muñoz y Fernández, 1993).	8
Figura 2.	Localización geográfica del municipio de Cuautitlán Izcalli. México (Infoabe, 2022).	17
Figura 3.	Parcela 14 del Centro de Enseñanza Agropecuaria (Google Earth, 2023).	18
Figura 4.	Distribución de tratamientos y subtratamientos evaluados (Elaboración propia).	20
Figura 5.	Temperatura ambiental diaria (°C), ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.	22
Figura 6.	Precipitación diaria (mm), ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.	23
Figura 7.	Condición del suelo a los 46 días de la siembra, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.	24
Figura 8.	Condición del suelo a los 77 días de la siembra, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.	24
Figura 9.	Altura de planta (cm) del frijol variedad Vaquita negro, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.	25
Figura 10.	Altura de planta (cm) del frijol variedad Flor de durazno, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.	26

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Estados con mayor producción nacional (SIAP, 2020).	5
Tabla 2. Función principal de cada elemento nutrimental (Alcantar y Téllez, 2007).	10
Tabla 3. Fenología del frijol variedad Vaquita negro, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, Méx.	27
Tabla 4. Fenología del frijol variedad Flor de durazno, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, Méx.	27
Tabla 5. Rendimiento de frijol por variedad-fuente nutrimental evaluadas, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, Méx.	28
Tabla 6. Componentes del rendimiento de frijol variedad Vaquita negro y Flor de durazno-fuente nutrimental evaluados, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, Méx.	29

RESUMEN

El cultivo de frijol tiene un potencial muy alto de aprovechamiento, por su valor nutrimental y por ser un cultivo originario de México, sin embargo, poco se ha trabajado en relación con el manejo nutrimental. El objetivo del presente trabajo fue el describir el comportamiento fenológico del cultivo de frijol y evaluar su respuesta al manejo nutricional con diferentes fuentes de fertilización, en el año de 2022, en Cuautitlán Izcalli, México. Las variables evaluadas fueron: de índole climático (temperatura y precipitación); de índole fenológico (fases y etapas fenológicas), altura de la planta y componentes de rendimiento (número de vainas por planta, el número de semillas por planta, el peso de 100 semillas, el peso hectolítrico, y rendimiento). El arreglo experimental fue en parcelas divididas, con dos tratamientos (variedad Vaquita negro y Flor de durazno) y cuatro subtratamientos (lombricomposta, lixiviados de lombricomposta, biofertilizante y fertilizante químico), con tres repeticiones. Existió diferencia estadística significativa en todos los componentes del rendimiento excepto en el número de semillas por vaina. El rendimiento se vio afectado por la distribución de las lluvias, el mayor valor promedio en la variedad Vaquita negro fue para el fertilizante químico con 1.77 t ha^{-1} y en la variedad Flor de durazno fue con la aplicación de lombricomposta con 2.39 t ha^{-1} . En general, el cultivo de frijol tuvo una respuesta positiva a la aplicación de fuentes nutrimentales orgánicas *vs* fertilizante químico. El ciclo del cultivo fue de 124 días para la variedad Vaquita negro y 130 días para la variedad Flor de durazno. Se observó una respuesta positiva del cultivo de frijol a la fertilización orgánica, lo cual trae beneficios al suelo y a la economía del productor. Se recomienda evaluar la rentabilidad del cultivo en la región, para comparar el sistema orgánico *vs* sistema con uso de agroquímicos.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol común comprende dos acervos genéticos, el Mesoamericano y el Andino, que difieren en sus estructuras y niveles de diversidad genética, tanto en poblaciones silvestres como en las domesticadas. En México y América del Sur, el frijol se domesticó de manera independiente hace aproximadamente 8,000 años. Se considera que la mayoría de las especies pertenecientes al género *Phaseolus* tienen su centro de origen en la región de Mesoamérica, particularmente en el occidente y sur de México (Hernández *et al.*, 2013).

La forma cultivada de frijol se siembra en todos los estados del país y representa más del 95% del frijol que se consume en México, de ahí, la importancia de su cultivo y diversidad; el uso del frijol en la gastronomía mexicana es sumamente característico en sabor, variedad de platillos y como acompañante de cualquier degustación típica (SADER, 2019).

Es cultivado en más de 90 países, en una amplia gama de sistemas y ambientes, de acuerdo con datos de la FAO (2018), la superficie mundial sembrada con frijol se estima en 36 millones de hectáreas, que producen 32.1 millones de toneladas al año, en promedio del periodo 2012-2018 (CEDRSSA, 2020). En México, la producción de frijol supera el millón de toneladas al año, con principal aportación de los estados de Zacatecas, Sinaloa, Durango y Chihuahua como los principales productores (SIAP, 2019).

En México, el grano de frijol por su alto contenido de proteína es básico para la alimentación de su población; ocupa el segundo lugar en importancia nacional después del maíz. El frijol es una leguminosa que constituye una fuente de proteínas e hidratos de carbono natural; además es abundante en vitamina B como: niacina, ácido fólico y tianina; también proporciona hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio, contiene un alto contenido de fibra (Sangerman *et al.*, 2010).

Por su contenido, el frijol es clave en la dieta nacional; el consumo anual per cápita es de 9.9 kg, la producción nacional cubre casi en su totalidad los requerimientos de consumo de los mexicanos. México es el quinto productor mundial; no obstante, en el periodo 2003-2016 se observó una reducción acumulada en la superficie sembrada de 20% y de la producción en 23.05% (SAGARPA, 2017).

De acuerdo con la SADER (2019) se conocen alrededor de 150 especies de plantas de frijol en el mundo, de las cuales 50 se encuentran en México, destacan cinco especies que se han domesticado *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común), *Phaseolus coccineus* L. (frijol ayocote), *Phaseolus lunatus* L. (frijol comba), *Phaseolus dumosus* (frijol gordo) y *Phaseolus acutifolius* Gray (frijol tepari).

Según la región, al frijol se le conoce con diversos nombres: poroto, alubia, caraota y judía. El frijol ha sido agrupado de acuerdo con su color en: negros, amarillos, blancos, morados, bayos, pintos y moteados. Las variedades más consumidas son mayocoba, peruano, flor de mayo y flor de junio, garbancillo, manzano, negro San Luis, negro Querétaro y pinto (SADER, 2019a).

El frijol representa el segundo cultivo en importancia nacional, por la superficie sembrada anualmente en su mayor parte bajo condiciones de temporal, aunque en este periodo el rendimiento promedio es bajo, no obstante, en áreas de alto y mediano potencial productivo, se puede lograr un incremento sostenible del rendimiento con un aumento en la densidad y un manejo adecuado de nutrición. Con el uso de fertilizantes, el frijol se desarrolla mejor y se obtienen mayores rendimientos, aun con deficiencia hídrica (Osuna *et al.*, 2008).

La nutrición en el cultivo de frijol es esencial para el incremento del rendimiento por unidad de área, a través de distintas fuentes nutritivas, para valorar el efecto que tiene sobre esta especie, por lo que se plantearon los siguientes objetivos de investigación.

1.1. Objetivo general

- Evaluar la respuesta de dos variedades de frijol a la aplicación de diferentes fuentes nutrimentales, en Cuautitlán Izcalli, México.

1.1.1. Objetivos particulares

- Aplicar en dos variedades de frijol, cuatro fuentes nutrimentales, bajo condiciones de temporal, en Cuautitlán Izcalli, México.
- Determinar la respuesta de los componentes del rendimiento del frijol en dos variedades a la aplicación de cuatro fuentes nutrimentales.
- Analizar los factores que influyen en el rendimiento de frijol en el ciclo primavera-verano 2022.

1.2. Hipótesis

- El rendimiento de frijol es una respuesta de la interacción de las fuentes nutrimentales aplicadas y la variedad utilizada de este cultivo.

II. ANTECEDENTES

2.1. Generalidades del cultivo de frijol

Es una planta herbácea que pertenece a la familia Fabaceae, se caracteriza por tallos delgados y débiles, cuadrangulares, en ocasiones rayado de púrpura, hojas trifoliadas. Alcanza una altura de 50 a 70 cm, y su raíz presenta un desarrollo pivotante con ramificación (SAGARPA, 2017).

Existen numerosas especies de leguminosas, pero la de mayor consumo es el frijol. México es el centro de origen, domesticación y diversidad genética del frijol común (*Phaseolus vulgaris*), la leguminosa de consumo humano directo más importante del mundo. Junto con el maíz, el frijol han sido la base de la alimentación de los mexicanos durante miles de años (Saburido, 2015).

Lara (2015), menciona que, como todas las leguminosas, el frijol tiene la capacidad de asociarse a bacterias del suelo del género *Rhizobium*, de esta asociación resulta una simbiosis fijadora de nitrógeno de importancia ecológica que aporta, anualmente una cuarta parte del nitrógeno fijado en la atmósfera. Estas asociaciones entre leguminosas y *Rhizobium*, fertilizan el suelo y se calcula que incorporan de 60 a 120 kg de nitrógeno por hectárea.

2.1.1. Importancia económica

El frijol ha formado parte importante de las dietas de los mexicanos y de su economía, desde tiempos prehispánicos, por lo que forman parte de la cultura gastronómica de México. De esta planta se consumen sus flores, semillas y ejotes; estos pueden consumirse tiernos o maduros (SADER, 2019).

El frijol en México se considera un producto estratégico en el desarrollo rural y social del país, ya que representa toda una tradición productiva y de consumo, cumpliendo diversas funciones tanto de carácter alimentario como para el desarrollo socioeconómico (SE, 2012). El grano de frijol por su alto contenido de proteína es básico para la alimentación; ocupa el segundo lugar en importancia nacional después del maíz (San German, 2010).

De acuerdo con la SADER (2019), existen 150 variedades de frijol, la tercera parte de estas se encuentra en México; dentro de ellas destacan el frijol blanco, al que se le conoce como alubia, negro, flor de mayo, morado, pinto, canario y ayocote.

El consumo anual per cápita es de 9.9 Kg; la producción nacional cubre casi en su totalidad los requerimientos de consumo de los mexicanos. En 2017 se obtuvo una producción de más de un millón 183 mil toneladas, con esta producción México se colocó como el quinto productor de frijol a nivel mundial. Se estima que para el año 2030 el consumo nacional pase de 1.2 a 1.4 MMt, y que la producción potencial se incremente de 1.08 a 2.38 MMt (SAGARPA, 2017).

La producción de frijol ha crecido en 4.6% en promedio anual durante el periodo de 2000-2019, lo que representa un promedio de una producción de 1.1 millones de toneladas. En este periodo se observa una amplia variación (CEDRSSA,2020), esto debido a que el 64.9% de la producción de la leguminosa se siembra en áreas de temporal, no tecnificadas lo que ocasiona que el cultivo sea vulnerable a los cambios en las condiciones ambientales y a los periodos de lluvia.

El precio del frijol en promedio se registra entre 12 mil y 14 mil pesos por tonelada, esto varía de acuerdo con los hábitos de consumo, la producción nacional y las importaciones; de acuerdo con CEDRSSA (2020), en el año 2018, Sinaloa registró un precio rural de 14,500 pesos por tonelada.

2.1.2. Superficie y producción en México

El frijol se adapta a casi todas las condiciones de suelo y clima del país, por lo que está presente en los 32 estados de la república, sin embargo, solo ocho de las entidades producen tres cuartas partes de la producción nacional, siendo estas: Zacatecas, Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Durango, Guanajuato, San Luis Potosí y Chihuahua (Tabla 1).

Tabla 1. Estados con mayor producción nacional (SIAP, 2020).

Estado	Producción (Ton)
Zacatecas	381,670
Sinaloa	140,960
Nayarit	100,100
Chiapas	67,600
Durango	50,868
Guanajuato	48,765
San Luis Potosí	46,229
Chihuahua	32,800

2.1.3. Variedades de frijol

México es considerado uno de los centros de origen del frijol y es uno de los principales países productores; se considera que en el país existen cerca de 70 variedades nativas de frijol, los cuales se distribuyen en siete grupos principales: negros, amarillos, blancos, morados, bayos, pintos y moteados. Estas se pueden clasificar de acuerdo con diferentes criterios: por su hábito de consumo, que puede ser como grano seco y, como grano y vaina verde; desde el punto de vista agronómico se utilizan características como, la duración del periodo vegetativo y se habla de variedades precoces o tardías. El ciclo de la planta depende del tipo de crecimiento del tallo, siendo de ciclo corto en los tipos erectos determinados y de ciclo largo en los indeterminados, pudiendo ser desde 70 a 140 días hasta más de 220 días respectivamente. En cuanto a la reacción al fotoperiodo se dice de variedades sensibles, insensibles o neutras y en lo que respecta a factores limitantes de la producción se ubica a las variedades como resistentes y susceptibles (Ulloa, 2011).

Escalante y Kohashi (1993), citados por Orduño (2003), dividen a los hábitos de crecimiento en: determinado e indeterminado, donde las plantas de hábito determinado o tipo mata, se caracterizan porque son arbustivas y presentan en la etapa de floración además de los racimos florales axilares, un racimo terminal en el tallo principal y en las ramificaciones, lo cual ocasiona la detención del crecimiento vegetativo en dichos ejes. Por otra parte, en las plantas de hábito de crecimiento indeterminado, el ápice del tallo y de las ramas presenta yemas vegetativas y los racimos florales son solamente axilares. En este hábito de crecimiento puede ocurrir que tanto el tallo principal como las ramas laterales tengan un crecimiento limitado y esto de como resultado un tipo “mata” o “arbusto” o de otra manera que el tallo principal y las ramas crezcan lo suficiente para trepar sobre algún soporte como es el caso de las variedades de guía o guía larga.

Sin embargo, el CIAT (1984), clasificó a la planta de frijol en cuatro grandes grupos, de acuerdo con su hábito de crecimiento, los cuales son:

- TIPO I, frijoles determinados de mata. Este tipo de frijol generalmente posee pocos nudos (de 5 a 10), terminan en una inflorescencia al igual que sus ramas, presentan un tallo erecto, tienden a ser de semilla grande, precoces, con un periodo de floración corto, de bajo potencial de rendimiento, aunque se puede compensar con mayor densidad de plantas, de madurez más uniforme, tallo fuerte y grueso, altura de planta relativamente altas, de vainas largas y en general

son suaves a la cocción y de caldo espeso. Estas variedades responden bien en surcos de 30 a 60 cm. de ancho.

- TIPO II, frijoles semi guía de mata. Las plantas son erectas, presentan una pequeña guía en el tallo principal y las ramas no producen guías, son de mayor potencial de rendimiento y mayor número de nudos (11 a 14) que las del Tipo I, tienden a ser de vainas y semillas chicas, y de ciclo biológico intermedio a tardío. Responden adecuadamente en surcos de 40 a 70 cm de ancho.

- TIPO III, frijoles de guía indeterminados. Son de alto potencial de rendimiento, mayor número de nudos y ramas (12 a 16), de varios colores y tamaños de grano, su ciclo vegetativo es de intermedio a tardío. Estas variedades responden adecuadamente en surcos de 60 a 70 cm de ancho. Dentro de este tipo de hábito existe una subdivisión en donde se clasifican los tipos de frijol con hábito completamente postrado denominándose tipos IIIa (Indeterminado postrado) y los tipos IIIb (Indeterminado, semi trepador) los cuales tienen la capacidad, aunque no en forma completa de trepar.

- TIPO IV, frijoles de guía indeterminados (trepadores). Tienden a trepar, hay de varios colores, de alto potencial de rendimiento, con 14 a 18 nudos, y tienden a ser de ciclo tardío (mayor a 120 días). Estas variedades responden bien en surcos de 70 a 80 cm de ancho. Los tipos IV, son de ciclo tardío (120 a 160 días), con 16 a 30 nudos, de alto potencial de rendimiento, de varios colores y tamaño de semilla, generalmente de lugares donde llueve bien, sin soporte casi no producen grano. Se pueden sembrar en surcos de 80 a 90 cm de ancho. En este tipo de frijol también se encuentra subdividido en dos tipos en los cuales la floración se da desde la base a la porción terminal denominándose tipos IVa (vainas distribuidas a lo largo de la planta) y aquellos en los cuales la floración se concentra en la parte superior ubicados como IVb (Indeterminado trepador con las vainas concentradas en la parte superior).

En la Figura 1 se ilustran estos hábitos de crecimiento.



Figura 1. Hábitos de crecimiento de frijol (Muñoz y Fernández, 1993).

En México, la extinta Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO), realizó una clasificación comercial del frijol, tomando como base la preferencia de los consumidores. Esta clasificación ha sido utilizada para establecer una diferenciación en el precio que se paga por las distintas variedades. Se ubica al frijol en tres grandes grupos: muy preferente (azufrado, mayocoba, negro Jamapa, peruano, flor de mayo y flor de junio), preferentes (garbancillo, manzano, negro San Luis, negro Querétaro y pinto nacional) y en no preferentes (alubia, bayo berrendo, bayo blanco, bayo Río grande, negro Zacatecas, ojo de cabra y pinto mexicano) (FIRA,2016).

2.2. La nutrición en las plantas de cultivo

Un detalle sobresaliente de la vida es la capacidad de las células vivas para tomar sustancias del ambiente y usarlas ya sea para la síntesis de sus componentes celulares o como fuente de energía. De acuerdo con Mengel y Kyrby (2000), la nutrición puede definirse como el suministro y la absorción de compuestos químicos necesarios para el crecimiento y el metabolismo; y los nutrientes como los compuestos químicos requeridos por un organismo. Los mecanismos por el cual los nutrientes se convierten en material celular o suministran energía son llamados procesos metabólicos. El término metabolismo comprende una serie de variadas reacciones que ocurren en

una célula viva para mantener la vida y el crecimiento. Así, la nutrición y el metabolismo están cercanamente relacionados entre sí.

Serrano *et al.* (2009) mencionaron que para llevar a cabo los procesos fisiológicos y metabólicos que les permiten desarrollarse, las plantas necesitan tomar del medio una serie de elementos indispensables. Es, a partir del análisis de la materia seca de los vegetales, como se describen sus constituyentes esenciales.

✓ Nutrientes plásticos. Suponen el 99% de la masa y son: carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

- El C y O son tomados del aire a través de la fotosíntesis y el O por la respiración.
- El agua proporciona H y O, además de tener múltiples papeles en la fisiología vegetal.
- El resto de los elementos minerales son absorbidos principalmente por las raíces de la solución del suelo. Sólo las leguminosas utilizan N del aire.

✓ Micronutrientes, necesarios en muy pequeñas cantidades son: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y cloro (Cl); estos son absorbidos de la solución del suelo. Algunas especies vegetales precisan también sodio (Na), silicio (Si), cobalto (Co) y aluminio (Al).

De acuerdo con Mora (2021) los cultivos en general requieren de 17 nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo, los cuales tienen funciones fisiológicas muy importantes (Tabla 2). Su clasificación como nutrientes principales, nutrientes secundarios y micronutrientes obedece tan sólo a su mayor o menor contenido en la composición de las plantas (Serrano *et al.*, 2009). Los criterios de esencialidad de un nutriente, en relación con la fisiología vegetal, son:

- Aparece en todos los vegetales.
- No puede ser sustituido por otro nutriente.
- Su deficiencia o carencia provoca alteraciones en el metabolismo, fisiopatías o la muerte de la planta.

Tabla 2. Función principal de cada elemento nutrimental (Alcantar y Téllez, 2007).

Nutrimento	Funciones principales
Carbono	Principal constituyente de la materia viva y consecuentemente de todas las biomoléculas, carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.
Oxígeno	Se encuentra en todas las biomoléculas. Aproximadamente el 90 % del oxígeno consumido en la célula es utilizado en la respiración (fosforilación oxidativa).
Hidrógeno	Está presente en todas las biomoléculas es importante en el equilibrio iónico y del pH. Participa en reacciones redox y en el intercambio de energía en la célula.
Nitrógeno	Importante componente de todas las proteínas y ácidos nucleicos. Está presente en coenzimas, nucleótidos, amidas, ureidos y en la clorofila, entre otros.
Fósforo	Forma parte de los ácidos nucleicos y participa en la síntesis de proteínas. Como constituyente del ATP y muchas coenzimas (NAD, FAD) interviene en todos los procesos metabólicos de transferencia de energía.
Potasio	Es activador o cofactor de más de 50 enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas. Participa en el equilibrio iónico y en la regulación osmótica.
Calcio	Es importante en la división celular y en la estabilidad de la membrana y la pared celular. Asociado con proteínas (calmodulinas), cumple funciones de mensajero secundario.
Magnesio	Participa como factor o activador en muchas reacciones enzimáticas. Se asocia al ATP en la transferencia de energía y es componente de la clorofila.
Azufre	Se encuentra presente en muchas proteínas y, como el fósforo, participa en reacciones de intercambio de energía.
Hierro	Es componente de muchas enzimas y juega un papel importante en la transferencia de electrones (reacciones redox), como en los citocromos y en las cadenas de transporte electrónico.
Manganeso	Es constituyente de algunas enzimas y activador de descarboxilasas y deshidrogenasas de la respiración. Cataliza la liberación de oxígeno en la fotólisis del agua.
Zinc	Componente esencial y activador de numerosas enzimas. Es necesario para la biosíntesis de la clorofila y ácido indolacético.
Cobre	Componente y activador de muchas enzimas, principalmente SOD (superóxido dismutasas) y constituyente de la plastocianina.
Boro	Participa en el metabolismo y transporte de carbohidratos y en la síntesis de la pared celular.
Molibdeno	Es importante en la asimilación de nitrógeno como constituyente de las enzimas nitrato reductasa y de la nitrogenasa.
Cloro	Se requiere fotosíntesis en la fotólisis del agua. Participa en la división celular.
Níquel	Constituyente de la enzima ureasa.

Para algunos otros cultivos, elementos como Silicio, Cobalto, Selenio, Yodo, Vanadio, Sodio y Aluminio son útiles y benéficos (Mora,2021).

2.2.1. Importancia de la nutrición en el crecimiento y desarrollo de los cultivos

La nutrición es un proceso universal de todos los seres vivos, tiene como función la construcción de estructuras y la obtención de energía, estableciéndose un continuo intercambio de materia entre el organismo vivo y el medio de la nutrición vegetal, se caracteriza por síntesis de materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas sencillas en presencia de luz, que es utilizada por el organismo para obtener materia y energía (Gonzales, 2014).

Los nutrientes esenciales requeridos por las plantas superiores son exclusivamente de naturaleza inorgánica. Este requerimiento exclusivo de nutrientes inorgánicos las distingue básicamente del hombre, de los animales y de un número de microorganismos que adicionalmente necesitan compuestos orgánicos. Para que un elemento sea considerado un nutriente esencial de las plantas deben satisfacerse las tres condiciones siguientes (Mengel, 2000):

- Una deficiencia de este elemento hace imposible que la planta complete su ciclo vital.
- La deficiencia es específica para el elemento en cuestión.
- El elemento está directamente implicado en la nutrición de la planta, por ejemplo, como constituyente de un metabolito esencial requerido para la acción de un sistema enzimático.

Las plantas terrestres toman del suelo los componentes esenciales de su biomasa, a excepción del carbono. Macronutrientes y micronutrientes son incorporados desde la solución salina del suelo hasta el interior de las células, donde son almacenados, metabolizados o transportados a otras células, tejidos u órganos (Fernández, 2008).

Se sabe que el hombre comenzó a cultivar las tierras desde hace miles de años, pero la historia de la fertilización se inició cuando los agricultores primitivos descubrieron que determinados suelos dejaban de producir rendimientos aceptables si se cultivaban continuamente, y que al añadir estiércol o residuos vegetales se restauraba la fertilidad (Anffe, 2008).

Cuando no se aplican nutrientes, bien de origen orgánico o mineral, la fertilidad del suelo disminuye, y como consecuencia su capacidad para proporcionar buenas cosechas. Los ensayos, con y sin fertilizantes, llevados a cabo en muchos países así lo atestiguan (García,2009).

De acuerdo con las predicciones de Food and Agriculture Organization (FAO) indican que para el año 2050 la población mundial será de 9,100 millones de habitantes, frente a los 8,000 millones actuales. Esto representa un incremento del 34% para los próximos 40 años, exigiendo un constante reto a la agricultura para proporcionar un mayor número de alimentos, tanto en cantidad como en calidad. La Anffe (Asociación de Fabricantes de Fertilizantes) menciona que, para alcanzar el reto de poder incrementar la producción agrícola para abastecer al crecimiento de la población, únicamente existen dos factores posibles:

- Aumentar las superficies de cultivo, posibilidad cada vez más limitada sobre todo en los países desarrollados, lo que iría en detrimento de las grandes masas forestales.

- Proporcionar a los suelos fuentes de nutrientes adicionales en formas asimilables por las plantas, para incrementar los rendimientos de los cultivos.

Se hace necesario mantener e incrementar los rendimientos de los cultivos, empleando técnicas que permitan practicar una agricultura productiva, pero también sostenible, en la que los fertilizantes se empleen de forma racional, con máxima eficiencia y respeto al medio ambiente (García,2009).

2.2.2. Fertilización inorgánica vs orgánica

Los nutrientes de las plantas se clasifican en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánicos. Los primeros representan entre el 90 y el 95% del peso seco de las plantas y están constituidos por los elementos carbono, oxígeno e hidrógeno, obtenidos a partir del CO₂ de la atmósfera y del agua del suelo, el 5-10% restante constituye la denominada fracción mineral (Favela, 2006).

La fertilización racional debe conjugar la utilización de fertilizantes orgánicos y minerales, que se complementan. Los orgánicos, aunque también aportan nutrientes actúan, sobre todo, mejorando las propiedades fisicoquímicas de los suelos y su actividad biológica, y los minerales, en cambio, aportan la mayor parte de los nutrientes que la planta precisa.

El rendimiento de un cultivo puede considerarse tanto en términos biológicos como en términos agrícolas. Holliday (1976), citado por Mengel (2000) definió el rendimiento biológico, como la producción total de material vegetal de un cultivo, mientras que el rendimiento económico o comercial toma en cuenta solo aquellos órganos de la planta por los cuales la especie en particular es cultivada y cosechada. Para un número de cultivos tales como las pasturas y algunas hortalizas, la cantidad total de material vegetal producido por la parte aérea durante el estado de crecimiento vegetativo es equivalente al rendimiento económico, aunque el desarrollo de las plantas durante el estado vegetativo controla tanto el rendimiento económico como el biológico.

Pelletier (*et al.*, 2011) citado por Aguado (2012), mencionaron que los fertilizantes químicos reponen los nutrientes removidos del suelo a través de la cosecha de los cultivos, posibilitan el uso de variedades de alto rendimiento y contribuyen de manera significativa a la productividad agrícola en suelos nutrimentalmente pobres. El uso de fertilizantes ha sido un componente crítico para el mejoramiento de la productividad agrícola en este tipo de suelos en los que la fertilización química ha contribuido con alrededor de un 30 a un 50% al incremento en la productividad de los cultivos.

Sin embargo, los fertilizantes sintéticos presentan baja eficiencia ($\leq 50\%$) para ser asimilados por los cultivos, el fertilizante no incorporado por las plantas trae un impacto ambiental adverso, tal como contaminación de mantos acuíferos (Armenta *et.al.*, 2015), aunado a que los fertilizantes químicos se obtienen a partir del petróleo por lo que su precio está sujeto a la cotización internacional de este combustible fósil. La volatilidad de los precios de los fertilizantes y pesticidas químicos derivados del petróleo provoca que en ocasiones la cotización de estos productos los ubique fuera del alcance de los productores, particularmente de aquellos que realizan su actividad bajo condiciones de temporal (Aguado, 2008).

Antes de pensar en la aplicación de los fertilizantes, todas las fuentes disponibles de los nutrientes deberían ser utilizadas, por ejemplo, excrementos de vaca, de cerdos, de pollos, desperdicios vegetales, paja, estiba de maíz y otros materiales orgánicos. Sin embargo, éstos deberían ser convertidos en abono y ser descompuestos antes de su aplicación en el suelo. Con la descomposición del material orgánico fresco, por ejemplo, paja de maíz, los nutrientes del suelo, particularmente el nitrógeno, serán fijados provisionalmente; de este modo no son disponibles para el cultivo posterior (Ifa, 2002).

El abono orgánico a menudo crea la base para el uso exitoso de los fertilizantes minerales. La combinación de abono orgánico / materia orgánica y fertilizantes minerales (Sistema Integrado de Nutrición de las Plantas, SINP) ofrece las condiciones ambientales ideales para el cultivo, cuando el abono orgánico / la materia orgánica mejora las propiedades del suelo y el suministro de los fertilizantes minerales provee los nutrientes que las plantas necesitan.

No obstante, el abono orgánico / la materia orgánica por sí solo no es suficiente (y a menudo no es disponible en grandes cantidades) para lograr el nivel de producción que el agricultor desea. Los fertilizantes minerales tienen que ser aplicados adicionalmente (Ifa, 2002).

2.3. Investigaciones previas del tema

En el cultivo de frijol existen diferentes fuentes y dosis de fertilización, que permite al cultivo tener un inicio de crecimiento sano, y un buen desarrollo de la raíz. Esta condición podrá servir, para enfrentar de una mejor manera periodos de sequía intermitente que normalmente se presentan en las zonas de temporal deficiente.

Flores *et al.* (2018) evaluaron diferentes dosis de fertilización de nitrógeno y fósforo en nuevas variedades de frijol pinto, donde, incluyeron la dosis de fertilización tradicional (35-50-00), la cual se consideró como testigo comparada con los siguientes tratamientos de fertilización: 1) 40-55-00, 2) 45-60-00 y 3) 50-65-00 (N-P-K). Las nuevas variedades de frijol pinto mostraron resultados similares a los niveles altos de fertilización y decrementos en los tratamientos con las dosis de 45-60-00 y 50-65-00.

En el cultivo de frijol pinto, existen otras dosis de fertilización inorgánica, Rico (2020) aplicó tres dosis, donde agregó microelementos, a las cuales clasificó de la siguiente manera: MF1 (N, P y K, con 41, 46 y 22 kg ha⁻¹, respectivamente), fertilización MF2 (N, P, K, S y Zn, con 41, 46, 22, 12 y 1 kg·ha⁻¹, respectivamente) y fertilización MF3 (N, P, K, S y Zn, con 45, 60, 22, 22 y 1.5 kg ha⁻¹, respectivamente). Evaluó el rendimiento, la calidad nutricional (propiedades físico-químicas y contenido mineral) y la rentabilidad. Los resultados obtenidos fueron estadísticamente significativos. La fertilización MF3 incrementó el rendimiento en 46.26%. En términos de calidad nutricional, las concentraciones más altas fueron 8.35% de proteína, 74% de fósforo, 16.3% de

hierro y 39.77% de zinc. El índice de rentabilidad fue mayor (55%) con el tratamiento MF3, en comparación con el testigo.

Las evaluaciones anteriores se realizaron en sistemas tradicionales, Apáez (2013) determinó la dosis de fertilización con nitrógeno y fósforo en frijol chino, en un sistema de espaldera de maíz, obteniendo como resultado: en espaldera viva de maíz, la fertilización con nitrógeno (N) y fósforo (P) incrementa la biomasa total, número de vainas, número de granos, rendimiento de grano y eficiencia en el uso del agua del frijol chino. Con 150 kg de N y 150 kg P ha⁻¹, se logra la más alta biomasa total, mayor número de vainas, número de granos, rendimiento de grano, eficiencia en el uso del agua e ingreso neto. Aplicando 75 kg de N y 75 kg de P ha⁻¹ se logra la más alta eficiencia agronómica del nitrógeno y fósforo en frijol chino.

Sanches *et.al.* (2014) mencionaron que el frijol requiere fertilización nitrogenada y fosfatada (FNP), cuya indiscriminada aplicación causa pérdida de productividad del suelo, una alternativa de solución para este problema es reducir y optimizar la dosis de esta fuente de fertilización con un inoculante mixto con bacterias promotoras de crecimiento vegetal y hongos micorrícicos. El mismo autor analizó la respuesta del frijol al inoculante Endospore 33, en agricultura protegida, donde concluyo que: en agricultura protegida el cultivo del frijol con la dosis 50% del FNP, es posible con el empleo de un inoculante mixto como el Endospore 33, una herramienta útil para conseguir en el frijol un crecimiento sano y un rendimiento rentable. Por tanto, este inoculante mixto es un insumo biológico adecuado para agricultores que pretenden la optimización de la dosis de la FNP sin riesgo de afectar el ciclo vegetativo del frijol, la calidad del grano, ni afectar su rendimiento.

En el estado de Veracruz, donde los rendimientos de frijol son bajos, Gómez *et.al.* (2017), aplicaron en distintos genotipos una dosis de fertilización mineral 40-40-40, y compararon la respuesta con el uso de biofertilizante, obteniendo que la fertilización con la fórmula 40-40-40, casi duplicó el número de vainas por planta, el peso de grano por planta y el rendimiento por ha. El uso del biofertilizante logró incrementos del 15%, con diferencias significativas, para el número de vainas por planta, el peso de grano por planta y el rendimiento por hectárea.

Lara (2019) evaluó la aplicación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA), *Rhizobium etli* (Re) y una dosis reducida de fertilizante inorgánico en la producción y calidad de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) 'Negro Michigan' bajo condiciones de campo. Concluyó que el mejor tratamiento fue

HMA+Rhizobium+50%F donde su interacción simbiótica mejoró la calidad del grano de *P. vulgaris*. ‘Negro Michigan’, de modo tal que este manejo puede ser una alternativa viable para sustituir o al menos reducir el uso de fertilizantes inorgánicos y de esta manera, minimizar los costos a los productores agrícolas.

Existen otras técnicas para lograr una buena relación entre fertilizar el cultivo del frijol y la conservación del suelo. Martínez (2012), mencionó que mediante el fertirriego y la labranza de conservación se pueden mejorar las propiedades del suelo y producir altos rendimientos de frijol. Realizo la comparación de un sistema tradicional con fertirrigación y labranza cero, obteniendo como resultado, que, el fertirriego y labranza de conservación se logra obtener un rendimiento que superara en más de 100% al rendimiento obtenido con el tratamiento testigo. Asegura que la implementación de esta tecnología a nivel comercial contribuirá de manera importante a hacer rentable el cultivo en las diferentes áreas productoras de frijol de riego en el estado, además de lograr una mayor eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes.

Otra fuente de fertilización es el uso de estiércol de bovino; Arellano *et al.* (2015) evaluaron dosis de fertilización inorgánica combinado con estiércol en dos variedades de frijol. Las dosis de estiércol y de fertilización química fueron: 0, 10 y 20 t ha⁻¹ y 80-40-30 kg ha⁻¹ de N, P y K, aplicadas anualmente durante tres años consecutivos. Determinaron que los tratamientos superiores en rendimiento de ambas variedades fueron con 10 y 20 t ha⁻¹ de estiércol (2.3 y 2.1 t ha⁻¹ para Flor de Junio Dalia, y 1.4 y 1.1 t ha⁻¹ para Pinto Coloso, respectivamente). Las dosis con estiércol incrementaron el contenido de materia orgánica en los primeros 10 cm de profundidad del suelo y la dosis con 20 t ha⁻¹ mostró el mayor contenido de NO₃ en el suelo (14.85 mg kg⁻¹; capa de 0-10 cm).

Martínez (2017) realizó una comparación entre fuentes de fertilización orgánicas e inorgánicas, donde utilizó lombricomposta y Urea como fuente inorgánica, aplicado en frijol ejotero. Sus resultados señalaron que la lombricomposta mostró ser mejor en la emergencia. La urea registró el mayor peso seco en tallo, En cuanto al peso seco de hojas el mejor valor lo obtuvo el sulfato de amonio y la urea. Respecto a la producción de frutos el mayor peso lo presentó la urea.

2.4. Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C) UNAM, en el centro del Valle donde se ubican los municipios de Cuautitlán México y Cuautitlán Izcalli, Estado de México, pertenece políticamente al último municipio.

2.4.1. Localización geográfica

El municipio de Cuautitlán Izcalli se localiza en la parte noroeste de la cuenca de México. Tiene una extensión territorial de 109.9 km² que representa el 0.5% de la superficie del Estado de México, con una altitud de 2,256 msnm, el municipio de Cuautitlán Izcalli, se encuentra ubicado dentro del eje Neovolcánico, con las elevaciones al Suroeste y Oeste del municipio, que forman parte de las estribaciones de las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, y colinda al Norte con los municipios de Tepotzotlán y Cuautitlán México, al Este con Cuautitlán México y Tultitlán, al Sur con Tlalnepantla de Baz y Atizapán de Zaragoza, al Oeste con Villa Nicolás Romero y Tepotzotlán (Municipios.mx, 2023) (Figura 2).



Figura 2. Localización geográfica del municipio de Cuautitlán Izcalli. México (Infoabe, 2022).

2.4.2. Características edafoclimáticas

El clima del área de estudio es Templado subhúmedo con lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco, sin sequía intraestival, el mes más caliente es junio, con poca oscilación térmica; con una temperatura media anual de 15.4 °C; 652.1 mm de precipitación promedio anual; con un período de bajo riesgo de helada de 213 días. El total de días con helada al año es de 26 días (Angeles, 2022).

El suelo es de textura arcillosa, con un porcentaje de materia orgánica de 3.7%; pH de 6.9; conductividad eléctrica de 0.619 dS m⁻¹; y fertilidad media a alta (Mercado *et al.*, 2015).

La investigación se llevó a cabo en la parcela 14 del Centro de Enseñanza Agropecuaria (CEA) de la FESC, la cual se presenta en la Figura 3.



Figura 3. Parcela 14 del Centro de Enseñanza Agropecuaria (Google Earth, 2023).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología

La presente investigación se desarrolló en campo, bajo un modelo factorial con arreglo en parcelas divididas; en la parcela grande se ubicaron a las variedades de frijol (tratamientos), y en la parcela chica las fuentes nutrimentales (subtratamiento), con tres repeticiones. Cada unidad experimental (UE) constó de 5 surcos, separados entre sí a 0.8 m, de 3 m de largo, en un área de 12.0 m². El total de UE fueron 24 en un área de 288 m². Para la parcela útil se consideró toda la UE. La distancia entre plantas fue de 30 cm, y dos semillas por golpe, a una densidad de poblacional de 41,600 plantas ha⁻¹.

Las variedades (tratamientos) utilizadas fueron:

- Tratamiento 1 (T1): Vaquita negro.
- Tratamiento 2 (T2): Flor de durazno.

Las fuentes nutrimentales (subtratamientos) evaluadas fueron:

- Subtratamiento 1 (S1): Lombricomposta. La dosis aplicada fue de 8.69 t ha⁻¹ al momento de la escarda.
- Subtratamiento 2 (S2): Lixiviados de lombricomposta. A una dosis de 260 l ha⁻¹. Se aplicó en dos ocasiones: a los 20 y a los 40 días después de la emergencia. Las aplicaciones fueron en forma foliar y el producto fue diluido al 50%.
- Subtratamiento 3 (S3): Biofertilizante: Se empleó 3.0 kg ha⁻¹ de Micorrizafer (*Glomus intraradice*) y 0.4 kg ha⁻¹ de Azofer (*Azospirillum brasilense*) en 400 l de agua ha⁻¹. Se aplicó al suelo, a la base del cultivo, previo a la escarda.
- Subtratamiento 4 (S4): Fertilizante químico: con la fórmula 40-60-00, aplicado al suelo previo a la escarda, como fuentes se emplearon Urea y Superfosfato de Calcio Triple.

En la Figura 4, se presenta el arreglo de los tratamientos y subtratamientos en campo.

T1: Frijol Vaquita Negro



T2: Frijol Flor de Durazno

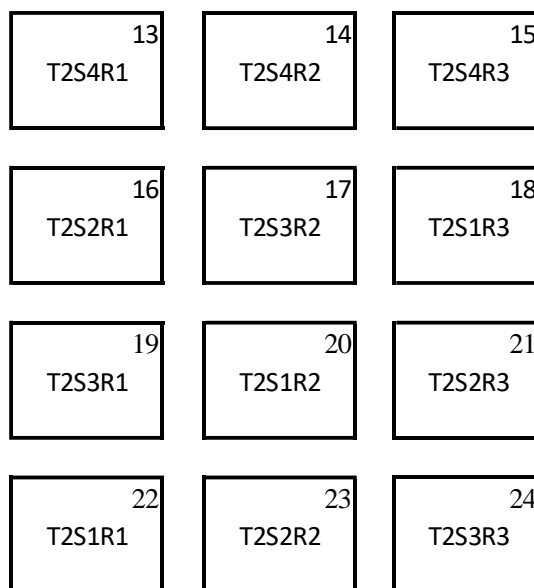


Figura 4. Distribución de tratamientos y subtratamientos evaluados (Elaboración propia).
Donde: T= tratamiento. S= Subtratamiento. R= Repetición.

3.1.1. Variables evaluadas

a) Variables climáticas: Se registraron diariamente las condiciones de temperatura y precipitación durante el desarrollo de la investigación.

b) Fenología del cultivo: En cinco plantas por cada UE se realizó el registro siguiente:

- Altura de planta: Se determinó a partir de los 15 días después de la emergencia (DDE) hasta el momento de madurez.
- Días a emergencia. Se consideró cuando el 75% de las plantas habían emergido.
- Días a floración: Se consideró cuando el 75% de las plantas habían florecido.
- Días a fructificación: Se consideró cuando el 75% de las plantas habían fructificado.
- Días a madurez fisiológica: Se consideró cuando el 75% de las plantas alcanzaron el grado de madurez.

- Días a cosecha: Que correspondió al momento de la cosecha. Para la variedad Vaquita negro y Flor de durazno fue a los 124 y 130 días después de la siembra (DDS), respectivamente.

c) Componentes del rendimiento: Al momento de la cosecha, se tomaron cinco plantas por UE, de las cuales se registró el número de vainas por planta. Posteriormente, se tomó al azar una muestra de cinco vainas por UE, para contar el número de semillas por vaina.

d) Rendimiento: Del total de semilla cosechada por UE, se tomó una muestra para determinar el peso de 100 semillas, el peso hectolítrico. Para el rendimiento, se consideró el rendimiento total de cada UE y posteriormente se extrapoló a $t\ ha^{-1}$.

3.1.2. Análisis estadístico

Se realizaron los análisis de varianza y posteriormente pruebas de medias por el método de Tukey, en ambos casos se consideró un nivel de significancia de $p < 0.05$. Los procedimientos se realizaron con el software Statgraphics® (Statgraphics Inc., USA).

3.2. Materiales

- Semilla de frijol de las variedades vaquita negro y flor de durazno.
- Fuentes nutrimentales: Lombricomposta, Lixiviados de lombricomposta; Biofertilizante (Azofer + Micorrizafer); Fertilizante químico Superfosfato de Calcio Triple y Urea.
- Regla.
- Libreta de campo, pluma.
- Báscula.
- Bolsas de papel.
- Báscula hectolítrica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

4.1. Variables climáticas

a) Temperatura

Los datos de temperatura fueron obtenidos diariamente de la estación meteorológica ubicada en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, y fueron relacionados con la fenología del cultivo durante todo el ciclo.

La temperatura ambiental (máxima, media y mínima) no afectaron el crecimiento y desarrollo del cultivo de frijol, en el ciclo P-V 2022, existieron condiciones favorables, de acuerdo con los requerimientos que este cultivo tiene (Figura 5).

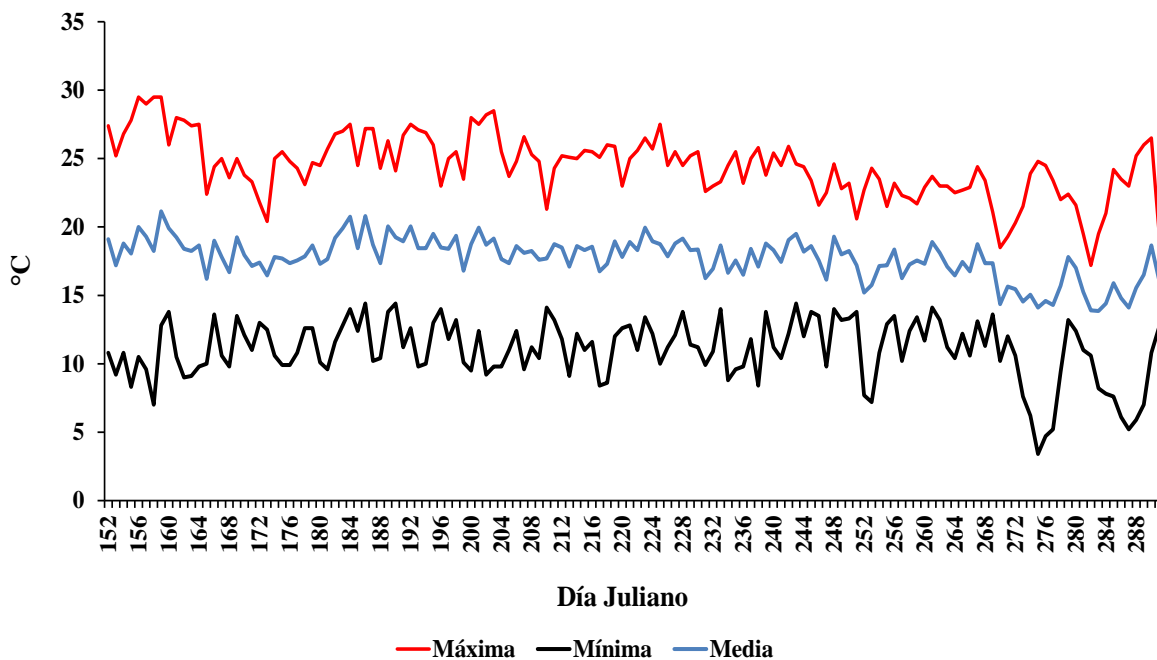


Figura 5. Temperatura ambiental diaria (°C), ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.

El valor de la temperatura media osciló entre 15 y 22 °C, y la máxima no superó los 28 °C durante el ciclo del cultivo.

b) Precipitación-evaporación

Durante el ciclo del cultivo, se registraron los datos de precipitación y evaporación diariamente, para tener referencia del balance hídrico y establecer si el cultivo sufrió estrés hídrico, los datos se presentan en la Figura 6.

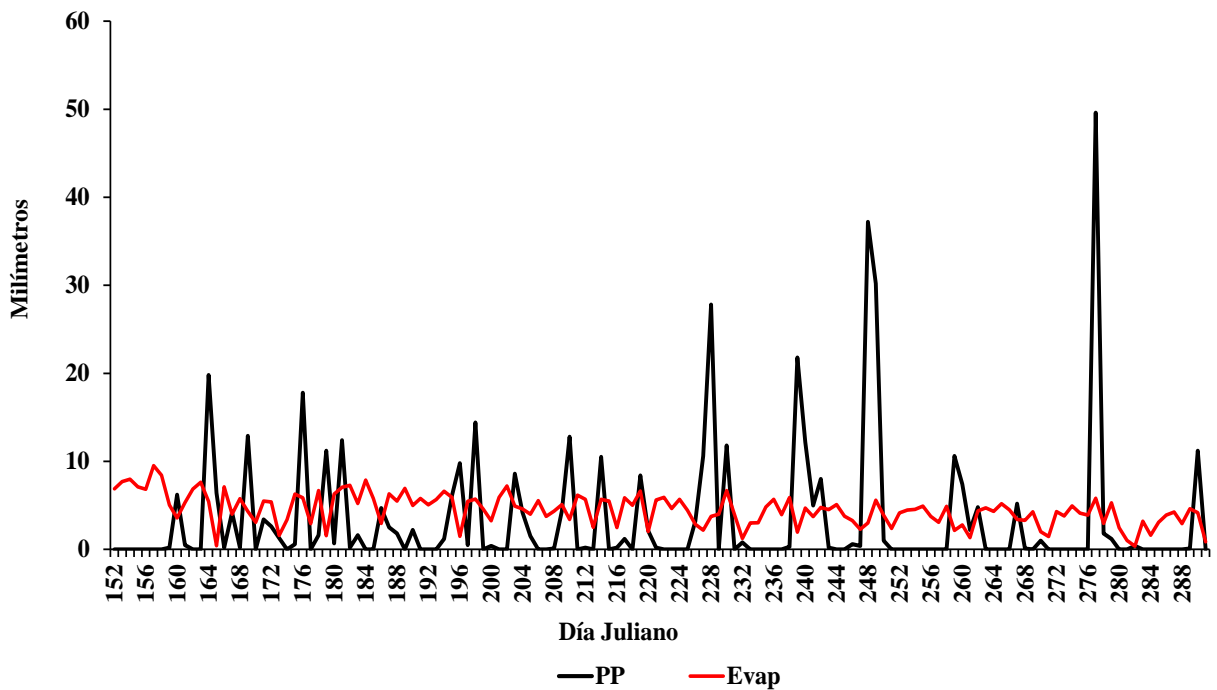


Figura 6. Precipitación diaria (mm), ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.

La precipitación acumulada fue de 468 mm y la evaporación fue de 568.65 mm, durante el ciclo del cultivo, por lo cual, el rendimiento del cultivo de forma general se vio disminuido en un 20% en promedio, debido a que se presentaron periodos donde la evaporación fue mayor que la precipitación, esto es, ocurrió la lluvia y pasaron hasta 10 días sin ella, a pesar de que el suelo de la parcela experimental es de tipo arcilloso, la falta de agua fue importante en momentos en que la planta lo requería (Figura 7).



Figura 7. Condición del suelo a los 46 días de la siembra, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.

Asimismo, ocurrierron dos lluvias intensas que afortunadamente no dañaron al cultivo, pero si mantuvo saturado el suelo unas horas (Figura 8), estos eventos presentaron valores de 10.6 y 27.8 mm.



Figura 8. Condición del suelo a los 77 días de la siembra, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.

4.2. Fenología del cultivo

Se tomaron datos de la altura de planta y de la aparición y duración de las fases y etapas fenológicas, respectivamente. A continuación, se describen los resultados obtenidos.

a) Altura de planta

En la Figuras 9 y 10 se presentan las curvas de la altura de planta de las variedades (tratamientos) Vaquita negro y Flor de durazno, respectivamente, en función de las fuentes nutrimentales empleadas (subtratamientos)

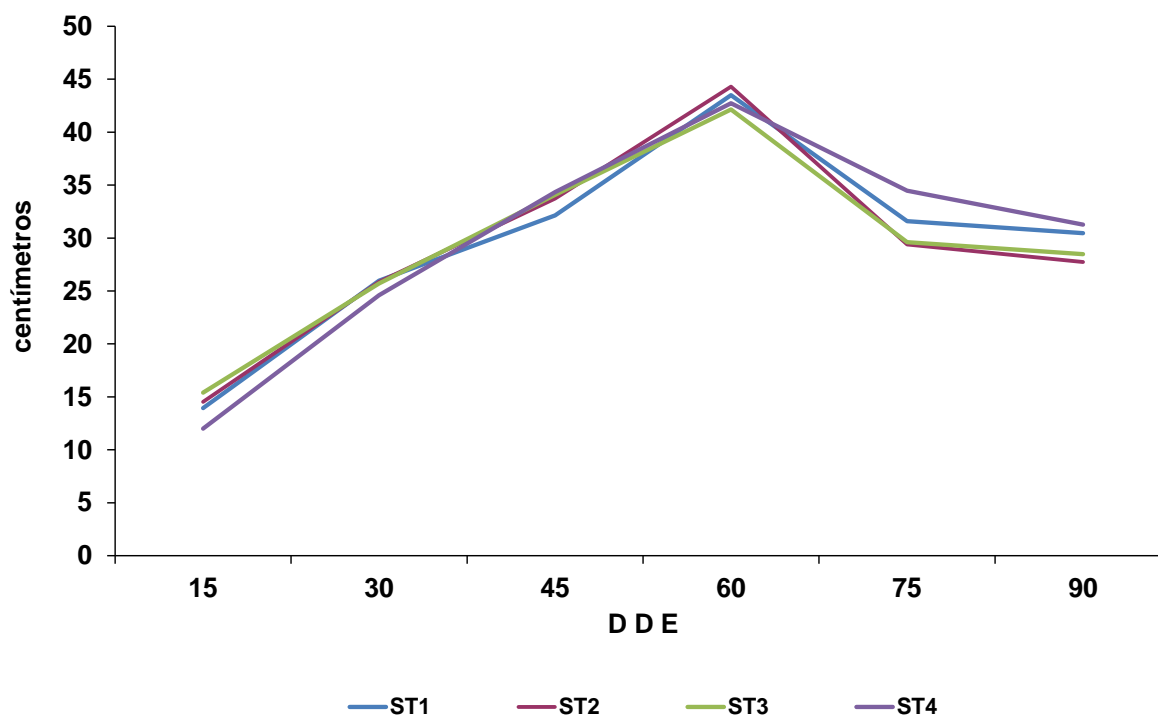


Figura 9. Altura de planta (cm) del frijol variedad Vaquita negro, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.

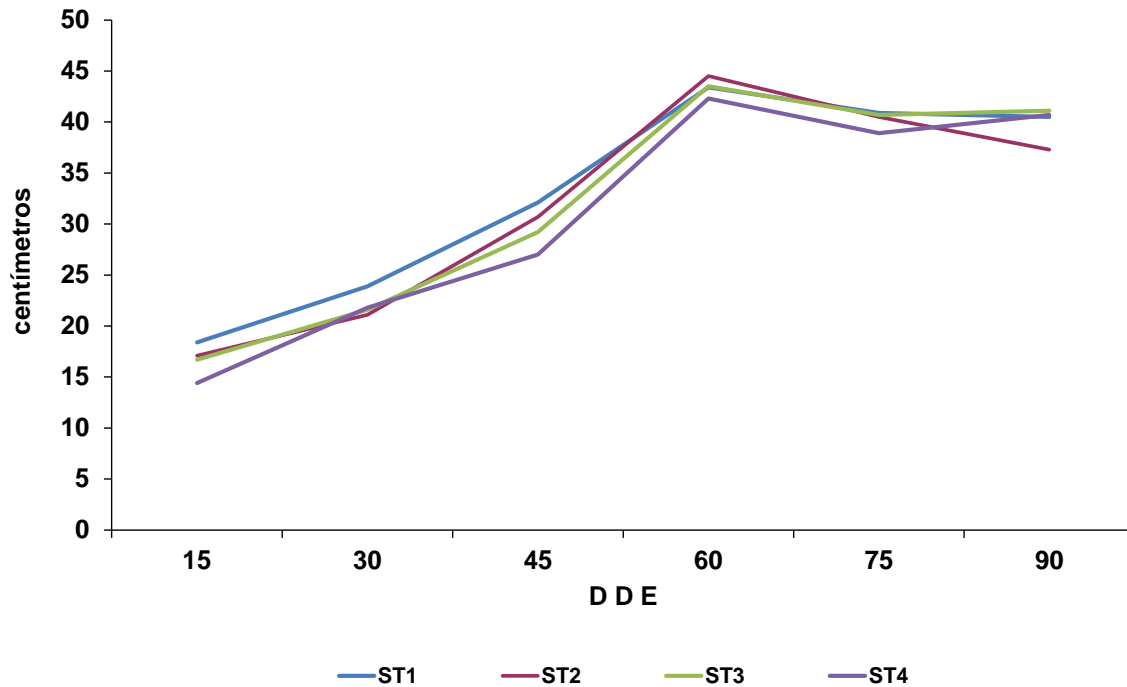


Figura 10. Altura de planta (cm) del frijol variedad Flor de durazno, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, México.

Es importante señalar que los hábitos de crecimiento de las dos variedades utilizadas son distintos, mientras el Vaquita negro es de porte erecto, la variedad Flor de durazno tiene crecimiento semi erecto, sin embargo, la máxima altura se presentó en estas variedades a los 60 días después de la emergencia (DDE), y posteriormente disminuyó debido al peso mismo de las vainas y a que se detuvo el crecimiento de las plantas por estar el cultivo en la etapa de fructificación. La variedad Vaquita negro alcanzó una altura promedio a los 90 DDE de 29.5 cm, mientras que la variedad Flor de durazno fue de 39.9 cm.

En función de la fuente nutrimental, la altura de planta en cada variedad presentó a simple vista una alta similitud; se destacó la aplicación de la fuente inorgánica, con una diferencia de 3 cm más que las otras fuentes nutrimentales aplicadas.

b) Fases fenológicas

En la Tabla 3 y 4 se presentan los datos observados para cada variedad de frijol evaluadas.

Tabla 3. Fenología del frijol variedad Vaquita negro, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fase fenológica	Porcentaje	Fecha
Siembra		10 de junio
Emergencia	inicio (15 %)	18 de junio
	Fin (100%)	21 de junio
Floración	15 % Inicio	01 de agosto
	80 % Plenitud:	14 de agosto
Fructificación	25 % Inicio:	8 de agosto
	80 % Plenitud:	24 de agosto
Madurez fisiológica		30 de agosto
Madurez comercial (cosecha)		12 de octubre

Tabla 4. Fenología del frijol variedad Flor de durazno, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fase fenológica	Porcentaje	Fecha
Siembra		10 de junio
Emergencia	inicio (15 %)	18 de junio
	Fin (100%)	21 de junio
Floración	15 % Inicio	11 de agosto
	80 % Plenitud:	24 de agosto
Fructificación	25 % Inicio:	30 de agosto
	80 % Plenitud:	10 de septiembre
Madurez fisiológica		15 de septiembre
Madurez comercial (cosecha)		18 de octubre

Si bien se observa que la etapa de germinación duró 11 días para las dos variedades, el tiempo de desarrollo de cada variedad fue diferente, mientras que el Vaquita negro duró 124 días, el Flor de durazno duró 6 días más de la siembra a la cosecha, y esto se relaciona con el hábito de crecimiento de cada variedad. En general fueron 10 días de diferencia entre las variedades a partir del inicio de floración y hasta la madurez comercial.

En el Anexo 1 se presentan imágenes del desarrollo fenológico del cultivo de frijol evaluado en este trabajo.

4.3. Componentes del rendimiento

Como se señaló anteriormente fueron considerado el rendimiento de grano, el número de vainas por planta, el número de semillas por vaina, el peso de 100 semillas y el peso hectolítrico. A continuación, se describen los resultados obtenidos.

a) Rendimiento

Los resultados del rendimiento y la significancia estadística obtenida en función de la variedad y la fuente nutrimental empleada se presentan en la Tabla 5, los datos fueron extrapolados a $t\ ha^{-1}$.

Tabla 5. Rendimiento de frijol por variedad-fuente nutrimental evaluadas, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fuente nutrimental	Vaquita negro	Flor de durazno ($t\ ha^{-1}$)
Lombricomposta	1.49 ^e	2.39 ^{ab}
Lixiviado de lombricomposta	1.27 ^e	2.52 ^a
Biofertilizante	1.47 ^e	2.23 ^{abc}
Fertilizante químico	1.77 ^{abcd}	2.20 ^{abcd}
Promedio	1.50	2.34

Nota: Letras iguales tienen igualdad estadística a $p=0.05$.

Existió diferencia estadística en la interacción Variedad vs Fuente nutrimental. En la variedad Flor de durazno se obtuvo el mayor rendimiento con cada una de las fuentes nutrimentales utilizadas,

mientras que la variedad Vaquita negro obtuvo menor rendimiento, esto está relacionado con el tamaño de la semilla que es mayor en la variedad Flor de durazno. Esta última variedad tuvo mayor rendimiento con la aplicación de lixiviado de lombricomposta (2.52 t ha⁻¹) y el menor valor fue con el fertilizante químico (2.20 t ha⁻¹). Mientras que en la variedad Vaquita negro el mayor rendimiento fue con la aplicación de fertilizante químico (1.77 t ha⁻¹) y el menor valor fue con lixiviado de lombricomposta el (1.27 t ha⁻¹). Estos valores son mayores a la media estatal reportada por el SIAP (2022) que fue de 0.96 t ha⁻¹ y de la media nacional que es de 0.71 t ha⁻¹ (CEDRSSA, 2020), lo cual permite recomendar la aplicación de alguna fuente nutrimental orgánica.

b) Componentes

En las Tablas 6 se presentan los datos de los componentes de rendimiento para la variedad Vaquita negro y Flor de durazno, que incluye el número de vainas por planta, el número de semillas, peso de 100 semillas y el peso hectolítrico, y su significancia estadística en función de la prueba de medias por el método de Tukey a una p=0.05.

Tabla 6. Componentes del rendimiento de frijol variedad Vaquita negro y Flor de durazno- fuente nutrimental evaluados, ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Variedad / Fuente nutrimental	Número de vainas por planta	Número de semillas por vaina	Peso de 100 semillas (g)	Peso hectolítrico
Vaquita negro				
Lombricomposta	52 ^b	5 ^{NS}	39 ^e	79 ^{ab}
Lixiviado de lombricomposta	42 ^b	5 ^{NS}	41 ^e	81 ^{ab}
Biofertilizante	40 ^b	5 ^{NS}	41 ^e	79 ^{ab}
Fertilizante químico	56 ^b	5 ^{NS}	45 ^{abcd}	81 ^{ab}
Flor de durazno				
Lombricomposta	54 ^b	5 ^{NS}	47 ^{abc}	82 ^a
Lixiviado de lombricomposta	51 ^b	5 ^{NS}	49 ^a	81 ^{ab}
Biofertilizante	52 ^b	5 ^{NS}	47 ^{abc}	81 ^{ab}
Fertilizante químico	83 ^a	5 ^{NS}	49 ^{ab}	80 ^{ab}

Nota: Letras iguales tienen igualdad estadística a p=0.05. NS = no significancia estadística a p=0.05.

En las dos variedades, se obtuvieron cinco semillas por vaina, esto para cada una de las fuentes nutrimentales aplicadas en el cultivo, se deduce que la fuente nutrimental no tiene ningún efecto en este componente de rendimiento, y es sólo una cualidad genética de las variedades empleadas.

En la variedad Vaquita negro, con la aplicación de una fuente nutricional química, se registró el mayor número de vainas por planta (56), mientras que el menor número se registró con la aplicación de lombricomposta (52). En la variedad Flor de durazno con la fertilización química, se obtuvieron 83 vainas por planta, que fue el mayor número registrado, la aplicación de lixiviados de lombricomposta dio como resultado 51 vainas por planta, que fue el menor número de vainas para esta variedad. La fertilización química influyó de manera positiva para ambas variedades.

La variedad Flor de durazno obtuvo los mayores resultados en el peso de 100 semillas, respecto a la variedad Vaquita negro, esto se relaciona con las características genéticas de ambas variedades. Existió diferencia significativa en el peso de 100 semillas en la interacción variedad-fuente nutrimental, asimismo, en el peso hectolítrico sobresalió la interacción Flor de durazno-aplicación de lombricomposta.

La producción de cultivos es un proceso directamente relacionado con la nutrición vegetal y la fertilización de los suelos, ésta consiste en proporcionar a la planta los fertilizantes (sólidos o líquidos) que se han seleccionado y preparado previamente. Existen dos fuentes principales de fertilizantes, la orgánica y la inorgánica.

En las variedades de frijol mencionadas en este trabajo se aplicaron fuentes orgánicas e inorgánicas, donde se obtuvieron diferentes resultados en la interacción de variedad y fuente nutrimental. Para el caso de Vaquita negro la aplicación de fertilizante químico con una dosis 40-60-00, resultó favorable; Flores *et al.* (2018) demostró que, en variedades nuevas de frijol, la aplicación de dosis altas de fertilizante químico aumenta los rendimientos en comparación con dosis bajas. Otros estudios realizados por Gómez *et al.* (2017), donde realizaron una comparación de dosis minerales con tratamientos de origen orgánico, concluyeron que la aplicación de fuentes minerales duplica el rendimiento y la calidad de diferentes genotipos de frijol.

Sin embargo, en la variedad Flor de durazno, el rendimiento obtenido con el fertilizante químico fue menor respecto a la aplicación de lombricomposta, aunque no existió diferencia significativa. Estos datos son semejantes a los reportados por Martínez (2017), en su trabajo con frijol ejotero.

A pesar de que la aplicación de biofertilizante en las variedades Vaquita negro y Flor de durazno, no sobresalió en el rendimiento de grano; Lara (2019) mencionó que la aplicación de biofertilizantes, combinados con pequeñas dosis de fertilizantes minerales, puede ser una alternativa viable para sustituir o al menos reducir el uso de fertilizantes inorgánicos y de esta manera, minimizar los costos a los productores agrícolas, tal como sucedió en la presente investigación.

La variabilidad del rendimiento de frijol en condiciones de temporal puede mitigarse con la aplicación de fuentes nutrimentales orgánicas, puesto que son materiales que pueden absorberse mejor si se aplican de forma foliar, tal es el caso de los lixiviados de lombricomposta, que en esta investigación sobresalió el rendimiento de grano en la variedad Flor de durazno.

V. CONCLUSIONES

Al final de esta investigación se llegó a las siguientes conclusiones.

1. Se cumplieron los objetivos de la investigación y la hipótesis planteada es aceptada, porque se observó que el medio ambiente y el manejo nutrimental sí impactan el rendimiento en general, en estas variedades de frijol.
2. La aplicación de fuentes nutrimentales de origen orgánico demostraron ser una alternativa para la fertilización en el cultivo de frijol, ya que mantienen los rendimientos en un rango similar a la fertilización química, y en la variedad Flor de durazno se superó el rendimiento con la utilización de lixiviado de lombricomposta respecto a la aplicación de fertilizante químico.
3. El empleo de la fertilización química representa una fuente nutrimental de mayor solubilidad para la planta, sin embargo, la aplicación de otras fuentes orgánicas nutrimentales puede representar una mayor utilidad debido al incremento de los costos de los fertilizantes químicos.
4. Se estimó que las condiciones meteorológicas presentes durante el ciclo P-V 2022 fueron adversas para el desarrollo y crecimiento de las plantas de frijol, lo que representó una merma del 20% en el rendimiento de grano, respecto a años anteriores donde se ha trabajado con estas variedades en el área de estudio.
5. Se observó una respuesta positiva del cultivo de frijol a la fertilización orgánica, lo cual trae beneficios al suelo y a la economía del productor, se recomienda evaluar la rentabilidad del cultivo para comparar el sistema orgánico vs sistema con uso de agroquímicos.
6. Es importante continuar con la evaluación de la aplicación de fuentes nutrimentales orgánicas en este cultivo, para definir las dosis y tiempos de aplicación más efectivas que redunden en mejores rendimientos en condiciones de temporal.

VI. LITERATURA CITADA

1. Aguado, S.A.G., Rascón, C.Q., Luna, B.A. 2012. Capítulo 1: Impacto económico y ambiental en el empleo de fertilizantes químicos. En Aguado, S.A.G. (Edit.). Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. CIRCE-INIFAP. Campo experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México. 1-22 pp.
2. Alcantar, G.G., Trejo, T.L. 2007. Nutrición de cultivos. Mundi-Prensa. Colegio de Postgraduados.
3. Anffe (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes). 2014. La importancia de los fertilizantes en una agricultura actual productiva y sostenible. Asociación nacional de fabricantes de fertilizantes. México. 4 pp.
4. Angeles, F.S.B. 2022. Determinación de la normal climática de 1987 a 2022 de la Estación Meteorológica Almaraz. Tesis de Licenciatura Ingeniería Agrícola. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México. 106 pp.
5. Apáez, B.P., Escalante, E.J.A.S., Ramírez, V.P., Douglas, K.S., Sosa, M.E., Olalde, G.V.M. 2013. Eficiencia agronómica de nitrógeno y fósforo en la producción de frijol chino en espaldera de maíz. 31(4). 285-293 pp.
6. Arellano, A.S., Osuna, C.E.S., Martínez, G.M.A., Reyes, M.L. 2015. Rendimiento de frijol fertilizado con estiércol bovino en condiciones de secano. Revista de Fitotecnia Mexicana, 38(3): 313-318.
7. Armenta, B.A.D., García, G.C., Camacho, B.R.J., Apodaca, S.M.A., Gerardo, M.L., Nava, P.E. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra Ximhai, 6(1): 51-56.
8. Asociación internacional de la industria de los fertilizantes. 2002. Los fertilizantes y su uso. Asociación internacional de la industria de los fertilizantes. Paris. 77 pp.
9. Ayala, G.A.V., Acosta, G.J.A., Reyes, M.L. 2021. El Cultivo del Frijol Presente y Futuro para México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío. Celaya Gto. México, Libro Técnico No. 1. 232 pp.
10. CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural y Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2020. Mercado del frijol, situación y prospectiva. CEDRSSA. Ciudad de México. 20 pp.
11. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1981. Morfología de plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). Guía de estudio. Segunda edición. CIAT. Cali Colombia. 50p.

12. Favela, C.E., Preciado, R.P., Benavides, M.A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad laguna. Torreón, Coahuila. 148p.
13. Fernández, A.J., García, S.J.M., María, M.J. 2008. Capítulo 7: Absorción y transporte de nutrientes minerales. En Azcón, B.J., Talón, M. (Eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. Segunda edición. Barcelona. España. 123-142pp.
14. FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2016. Panorama agroalimentario. Frijol 2016. FIRA. 37p.
15. Gallardo, H.F., Serna, R.R., Espinoza, S.S., Nieves, M.M.A. 2018. Dosis de fertilización y su relación con el rendimiento potencial de las nuevas variedades de frijol pinto cultivadas en durango, México. XXI congreso internacional en ciencias agrícolas. 726-731 pp.
16. García, S.J.P., Ruano, C.S., Lucena, M.J.J., Nogales, G.M., 2009. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. 14-18 pp.
17. Gómez, A.L.C., Graillet, J.E.M., Martínez, M.M., Fernández, F.J.A., Arieta, R.R. El uso de biofertilizantes en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris l.*). Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan, 5(2): 53-57.
18. Gonzales, R.C., Martínez, L.C., García, B.S. 2014. El modelo de la nutrición vegetal a través de la historia y su importancia para la enseñanza. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 11(1): 2-12.
19. Hernández, L.V.M., Vargas, V.M.L.P., Muruaga, M.J.S., Hernández, D.S., Mayek, P.N. 2013. Origen, domesticación y diversificación del frijol común, avances y perspectivas. Revista de Fitotecnia Mexicana, 36(2): 95-104.
20. Ifa (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes). 2002. Los fertilizantes y su uso. FAO. 83p.
21. Infoabe. 2022.Cuál es el origen de Cuautitlán Izcalli. En: <https://www.infobae.com/america/mexico/2022/01/27/cual-es-el-origen-de-cuautitlan-izcalli/>. Fecha de consulta el 25 de febrero de 2023.
22. Lara, C.L., Hernández, M.L.G., Reyes, P.J.J., Preciado, R.P., Zulueta, R.R. 2019. Respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* a la biofertilización en campo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(5): 1035-1046.
23. Lara, F.M. 2015. El cultivo del frijol en México. Revista digital universitaria, 16(2): 1-11.

24. Martínez, G.M.A., Jasso, C.C., Huerta, D.J. 2012. Efecto de fertilización con fertirriego y labranza de conservación en el rendimiento de frijol y propiedades del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8): 1551-1564.
25. Martínez, G.M.A., Osuna, C.E.S., Padilla, R.J.S., Acosta, G.J.A. 2008. Tecnología para la producción de frijol en el norte centro de México. Libro técnico número no.4. Campo Experimental San Luis. CIRNE-INIFAP. 206 pp.
26. Martínez, M.D., Reyes, M.J., Andrés, H.A.R., Morales, I.M. 2017. Evaluación de fertilizantes químicos y orgánicos en el rendimiento de frijol ejotero. *Revista Latinoamericana en el Ambiente y las Ciencias*, 8(17): 1-7.
27. Mengel, K., Kirkby, E.A. 2000. Principios de nutrición vegetal. Instituto internacional del potasio. Basilea, Suiza. pp. 527.
28. Mercado, M.G., Granados, M., Reyes, L.D., López, A.H., Canales, T.L, Severiano, L.J.H., Valencia, I.C.E. 2015. Variabilidad espacial de parámetros químicos de un suelo vertisol, con manejo convencional y orgánico. Memorias del XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. San Luis Potosí, S.L.P. México.
29. Montoya, G.L., Nava, P.E., Camacho, J.R., Armenta, B.A.D., Apodaca, S.M.A., García, G.C., 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1): 51-56.
30. Mora, G.M.2021. Capítulo 3: La nutrición del cultivo de frijol. En Ayala, G.V.A, Acosta, G.A.J, Reyes, M.L. (Eds.). *El cultivo del frijol presente y futuro para México*. Libro técnico N°1.Campo experimental Bajío, Celaya, Gto. INIFAP. 47-56pp.
31. Municipios.mx. 2023. Cuautitlán Izcalli. En: <http://www.municipios.mx/mexico/cuautitlan-izcalli/>. Fecha de consulta el 25 de febrero de 2023.
32. Muñoz. G.G.G., Fernández, J. 1993. Descriptores varietales de Arroz, Frijol, Maíz y Sorgo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 174p.
33. Orduño, C. A., Troyo, D.E. 2003.Morfología y desarrollo de frijol tepari *Phaseolus acutifolius* A. Grey. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Publicación de transferencia y divulgación No. 10. Programa de agricultura en zonas áridas. CIBNOR-Guerrero Negro. BCS, México.
34. Osuna, C.E.S., Padilla, R.J.S., Martínez, G.M.A., Acosta, G.J.A. 2008. Capítulo 8: La Fertilización Foliar del Frijol de Temporal en el Altiplano Semiárido de Aguascalientes. En Martínez, G.M.A.; Osuna, C.E.S., Padilla, R.J.S., Acosta, G.J.A., Loredó, O.C. (Eds.). *Tecnología para la Producción de Frijol en el Norte Centro de México*. Libro Técnico N° 4. Campo Experimental San Luis CIRNE-INIFAP. San Luis Potosí, Méx.112-130 pp.

35. Rico, A.I.A., Sanches, C.E., Soto, P.J.M., Antillón, L.R., Salas, S.N.A., Ojeda, B.D.L., Flores, C.M.A. 2020. Manejo de fertilización en frijol “pinto centauro” y su impacto en el rendimiento, calidad nutricional e índice de rentabilidad. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 26(3): 207-222.
36. Saburido, A.M., Herrera, E.A. 2015. El frijol en la era genómica. En: <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art11>. Fecha de consulta el 15 de julio de 2022.
37. SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2019. La importancia del frijol en México. En: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-importancia-del-frijol-en-mexico#:~:text=Los%20frijoles%20han%20formado%20parte,queso%2C%20epazote%2C%20entre%20otros>. Fecha de consulta el 15 de julio de 2022.
38. SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2019a. Frijol: regalo de México para el mundo. En: <https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/frijol-regalo-de-mexico-para-el-mundo-235432?idiom=es>. Fecha de consulta el 15 de julio de 2022.
39. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Frijol Mexicano. 20 pp.
40. Sánchez, Y.J.M., Barrientos, R.M.G., Balderas, L.I., Dasgupta, S.N., Márquez, B.L. 2014. Respuesta del frijol al endospor 33 a dosis 50% de fertilizante nitrogenado/fosfatado en agricultura protegida. *Scientia Agropecuaria*, 77-83.
41. Sangerman, J.M., Acosta, G.J.A., Shwenwtensius, D.R., Damián, H.M.A., Larque, S.B.S. 2010. Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3): 363-380.
42. SE (Secretaría de Economía). 2012. Análisis de la cadena de valor del frijol. SE. México. 39 pp.
43. Serrano-García, J.P., Lucena, M.J.J., Ruano, C.S., Nogales, G.M. 2009. Parte 1: El suelo, los nutrientes y la fertilización. En Serrano-García, J.P., Lucena, M.J.J., Ruano, C.S., Nogales, G.M., López, B.L., Betran, A.J., Ramos, M.A., López, C.H., López, F.P., Bermejo, C.J.L., Urbano, T.P., Piñeiro, A.J., Blázquez, R.R., Ramos, M.C., Pomares, G.F., Quiñones, O.A., Martínez, A. B., Espada, C.J.L.(Eds.). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. Ministro de medio ambiente y medio rural y marino.
44. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo Agrícola primavera verano. SIAP. México. 22 pp.
45. SIAP. 2022. Avance de siembras y cosechas. En: https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/. Fecha de consulta el 08 de febrero de 2023.

46. Ulloa, J.A., Ramírez, R.J.C., Ulloa, R.B.E. 2011. El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Revista Fuente, 5-9.

ANEXOS

Anexo 1. Fenología del cultivo de frijol. Ciclo P-V 2022. Cuautitlán Izcalli, Méx.



Donde:

a) Siembra

b) emergencia

c) y d) etapa vegetativa

e) floración

f) fructificación

g) madurez fisiológica

h) cosecha

i) y j) muestras de semilla cosechada variedad Flor de durazno

k) muestra de semilla cosechada variedad Vaquita negro.