



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

**Manejo orgánico de la fertilización del cultivo
de frijol**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

ERICK HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

ASESOR: Dr. GUSTAVO MERCADO MANCERA
COASESORA: Ing. ANA KAREN GRANADOS MAYORGA

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 EXÁMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORZA FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
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

Manejo orgánico de la fertilización del cultivo de frijol

Que presenta el pasante: ERICK HERNÁNDEZ SÁNCHEZ
Con número de cuenta: 41003448-4 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería 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 9 de mayo de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.C. Vicente Silva Carrillo	
VOCAL	Ing. Edgar Ornelas Díaz	
SECRETARIO	Dr. Gustavo Mercado Mancera	
1er. SUPLENTE	Dr. Julio César Corzo Sosa	
2do. SUPLENTE	Dra. Martha Yolanda Quezada Viay	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/ntm*

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, me siento orgulloso de formar parte de la máxima casa de estudio del país, y estoy sumamente agradecido con lo que me ha otorgado no solo como futuro ingeniero sino también como persona; con fuerza y espíritu levanto el puño y grito ¡Goya... Goya... *Cachun Cachun Ra Ra... Cachun cachun Ra Ra.. Goya.. Universidad!*

A la carrera de Ingeniería Agrícola, ¡la mejor carrera de todas!. Sin duda lo más hermoso que me ha pasado en la vida es haber estudiado Ingeniería Agrícola, aprender de la mano de profesores dedicados, cultos, con una extensa experiencia y sobretodo con el ímpetu de formar profesionistas no solo aptos para el campo laboral, sino también para atender las necesidades del país. Vivir las experiencias de las Prácticas de Campo, compartir con mis compañeros la vida universitaria no tiene precio, y sí mucho que agradecerles a todos.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Agrícola, ¡Maestros muchísimas gracias! Por sus enseñanzas, su paciencia y compartir su conocimiento fuera y dentro del salón.

A mis Sinodales y CoAsesora: M.C. Vicente Silva Carrillo, Ing. Edgar Ornelas Díaz, Dra. Martha Yolanda Quezada Viay, Dr. Julio César Corzo Sosa e Ing. Ana Karen Granados Mayorga; mil gracias, ustedes dejan huella en los estudiantes y en la sociedad, se merecen mi respeto y mi admiración.

Finalmente mi agradecimiento al Dr. Gustavo Mercado Mancera, sin usted no estaría en donde estoy hoy en día, usted más que mi asesor de tesis lo considero un gran amigo y un guía del cual pueda apoyarme en los caminos de la vida, un profesor comprometido con los alumnos y con la Universidad; desde la Práctica de Campo I pude conocer de primera mano al estupendo profesor que es usted ¡Muchas gracias!

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a las personas que más amo en este mundo.

A mi madre, que sin ti no podría haber cumplido esta meta, con tu apoyo, tu cariño y tu fortaleza para mantenernos como familia aún en los momentos más oscuros; eres la luz que me guía en la tormenta.

A mi hermano, mi mejor amigo, mi compañero universitario, quien ha hecho mi vida algo fantástico, con aventuras y experiencias únicas; no existen hermanos que se quieran más que nosotros.

A mi padre, que si bien ya no está en esta vida su recuerdo perdura en mi mente todos los días, y ese recuerdo tiene palabras que dicen que sea una buena persona para mi familia y para el mundo.

A mis amigos: Diego, Josué, Raúl, Christian, Cipactli, Atenea, Caro, David; solo diré, como siempre lo platicué con ustedes: *“ningún camino es largo cuando vas casa de un amigo”*.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>i</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>ii</i>
RESUMEN	<i>iv</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	4
1.1.1. Objetivos particulares	4
1.2. Hipótesis	4
II. ANTECEDENTES	5
2.1. Importancia del cultivo de frijol en México	5
2.1.1. Superficie y producción nacional	8
2.2. La fertilización en la agricultura	11
2.2.1. Fertilizantes inorgánicos	12
2.2.1.1. Fuente de macronutrientes	13
2.2.1.2. Fuente de micronutrientes	15
2.2.2. Fertilizantes orgánicos	18
2.2.2.1. Biofertilizantes	19
2.2.2.2. Lixiviados de lombricomposta	20
2.3. Investigaciones previas en manejo orgánico de fertilización en frijol	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. Localización y descripción de la zona de estudio	25
3.2. Metodología	26
3.2.1. Variables a evaluar	28
3.2.2. Análisis estadístico	29
3.3. Materiales	29

	Página
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Variables climáticas	31
4.2. Fenología del cultivo	33
4.3. Componentes del rendimiento	35
4.4. Características bioquímicas de las variedades	44
V. CONCLUSIONES	53
VI. LITERATURA CITADA	54
ANEXOS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Potencial producción de frijol en México (SIAP, 2016).	8
Figura 2. Consumo nacional, producción e importaciones de frijol (SAGARPA, 2017).	10
Figura 3. Proyección en consumo y producción de frijol nacional (SAGARPA, 2017).	10
Figura 4. Vías de entrada de los microelementos (Artal, 2013).	17
Figura 5. Localización geográfica del municipio de Cuautitlán Izcalli. México.	25
Figura 6. Parcela 14 del Centro de Enseñanza Agropecuaria (Google Earth, 2018).	26
Figura 7. Distribución de tratamientos y subtratamientos evaluados	27
Figura 8. Tendencia de la temperatura ambiental diaria (°C), de junio a octubre, 2018. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	31
Figura 9. Tendencia de la humedad ambiental diaria (%), de junio a octubre, 2018. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	32
Figura 10. Balance hídrico a nivel diario, de junio a octubre del 2018. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	33
Figura 11. Altura de planta de las tres variedades evaluadas (cm). Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.	34
Figura 12. Altura de planta de las tres variedades evaluadas (cm), en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.	34
Figura 13. Número de vainas por planta de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.	36
Figura 14. Número de semillas por vaina de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.	38
Figura 15. Peso de 100 semillas (g) de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.	39
Figura 16. Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹) de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.	41
Figura 17. Rendimiento (t ha ⁻¹) de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.	43
Figura 18. Porcentaje de albúmina de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 19. Porcentaje de globulina de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.	46
Figura 20. Porcentaje de almidón de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.	48
Figura 21. Tiempo de cocción promedio TC ₅₀ de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental.	51

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Estimación de la producción nacional de frijol vs el consumo nacional (SAGARPA, 2017).	7
Tabla 2. Avance de siembra y cosecha resumen nacional por estado (SIAP, 2018).	9
Tabla 3. Fertilizantes más utilizados en la agricultura (Villablanca y Villavicencio, 2017).	12
Tabla 4. Funciones de los macroelementos (Artal, 2013).	14
Tabla 5. Deficiencia de los macroelementos (Artal, 2013).	15
Tabla 6. Funciones de los microelementos (Artal, 2013).	16
Tabla 7. ANOVA del número de vainas por planta, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	37
Tabla 8. Prueba de separación de medias, del número de vainas por planta, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	37
Tabla 9. ANOVA del número de semillas por vaina, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	38
Tabla 10. Prueba de separación de medias, del número de semillas por vaina, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	39
Tabla 11. ANOVA del peso de 100 semillas, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	40
Tabla 12. Prueba de separación de medias, del peso de 100 semillas, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	40
Tabla 13. ANOVA del peso hectolítrico, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	42

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 14. Prueba de separación de medias, del peso hectolítrico, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	42
Tabla 15. ANOVA del rendimiento, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	43
Tabla 16. ANOVA del contenido de albumina (mg gr^{-1} de harina), en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	46
Tabla 17. ANOVA del contenido de globulina (mg gr^{-1}) de harina, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	47
Tabla 18. Prueba de separación de medias, del contenido de globulina, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	47
Tabla 19. ANOVA de cantidad de almidón en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	49
Tabla 20. Prueba de separación de medias, de la cantidad de almidón, en los tratamientos en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	49
Tabla 21. Prueba de separación de medias, de la cantidad de almidón, en los subtratamientos en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	50
Tabla 22. ANOVA del TC_{50} en minutos, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	51
Tabla 23. Prueba de separación de medias, del TC_{50} en minutos, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.	52

RESUMEN

El cultivo del frijol es fundamental en la economía rural de México, aporta el 1.93% del PIB agrícola, y su producción es principalmente de temporal y para autoconsumo. El mejoramiento de la nutrición del cultivo es muy importante, por lo que este trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta y rendimiento a partir del manejo orgánico de la fertilización, en el ciclo P-V 2018, en Cuautitlán Izcalli, México. Las variables evaluadas fueron: de índole climático (temperatura, balance hídrico a nivel diario y humedad ambiental); de índole fenológico (altura de planta, días a emergencia, floración fructificación, madurez fisiológica y días de cosecha); sus componentes de rendimiento (número de vainas, semillas por vaina, peso de 100 semillas, peso hectolítrico y rendimiento) y de índole bioquímico (contenido de proteínas, contenido de almidones y tiempo de cocción). Los factores experimentales tuvieron un arreglo en parcelas divididas, donde en la parcela grande se incluyeron las variedades de frijol, y en la parcela chica las fuentes nutrimentales, con tres repeticiones. Los resultados muestran que el comportamiento fenológico es distinto en cada variedad por el tipo de crecimiento y la duración en cada una de sus etapas; se observa una diferencia estadística entre variedades con rendimientos de 1.922, 1.575 y 1.439 t ha⁻¹, para Vaquita negro, Ojo de cabra y Flor de durazno, respectivamente. Existió también diferencia estadística significativa en el contenido de proteínas totales, globulinas, almidón, y en el tiempo de cocción donde el TC₅₀ de las variedades Vaquita negro, Ojo de cabra y Flor de durazno presentan tiempos de 100.4, 74.6 y 45.1 min, respectivamente, los cuales van ligados a la cantidad de proteína y almidón. Existió una respuesta del cultivo de frijol a la fertilización orgánica, y es una alternativa para la producción, puesto que cada una de las incorporaciones orgánicas superó al tratamiento sin aplicación. La incorporación de materia orgánica al suelo mejora las condiciones de fertilidad y no se contamina el medio en general.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol se originó y se domesticó en América Latina con dos orígenes geográficos (Mesoamérica y los Andes) derivados de un ancestro común que data de más de 10,000 años de antigüedad. En México y América del Sur, el frijol se domesticó de manera independiente hace aproximadamente 8,000 años, Se tiene registro de semillas cultivadas que datan de hasta 3,000 de antigüedad (Brown, 2006).

El frijol pertenece a la familia *Fabaceae*, subfamilia *Papilionoideae*, tribu *Phaseoleae*, y especie *Phaseolus vulgaris L.* Por su alto contenido de proteínas (20-25 %) es, entre las leguminosas, el segundo cultivo más importante del planeta, después de la soya. Como la mayoría de las leguminosas sus proteínas son deficientes en aminoácidos azufrados como la metionina y la cisteína; sin embargo, su ingesta ayuda a la reducción del colesterol en la sangre, prevención de cáncer y en México representa el 36 % de la proteína consumida a nivel nacional (Hernández *et al.*, 2013).

Como todas las leguminosas, el frijol tiene la capacidad de asociarse a bacterias del suelo llamadas rhizobia (singular *Rhizobium*). Dicha asociación entre leguminosas y rhizobium, comprende a la mayoría de las 18,000 especies de leguminosas y resulta en una simbiosis fijadora de nitrógeno de importancia ecológica que aporta, anualmente, una cuarta parte del nitrógeno fijado en la biósfera (Artal, 2013).

El frijol es el cuarto cultivo en importancia por la superficie sembrada en México, después del maíz grano, pastos y el sorgo grano; por el valor de la producción primaria que genera, ocupa la undécima posición, considerando cultivos cíclicos y perennes.

Por su amplia adaptación y por el número de variedades mejoradas disponibles, el cultivo de esta leguminosa se realiza prácticamente en todas las regiones, condiciones climáticas y tipos de suelos en el país. El clima y la disponibilidad de agua son los factores más importantes que determinan la productividad del cultivo, ya que las principales regiones productoras registran bajos niveles de precipitación pluvial y además con una distribución errática. Los más consumidos y producidos son: Negro en un 37.9%, Pinto 26.5%, Flor de Mayo 9.4%, Azufrados 9.2%, Flor de Junio 7.9%, Bayos 3.1%, Frijoles claros 2.2%, Mayocoba 2.1%, entre otros (FIRA, 2016).

La clasificación comercial del frijol en México la realizó la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO) en el año de 1995, con base a 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) (*Idem*).

Pese a que es la leguminosa más consumida en el país, del año 2016 a 2017 se redujo el consumo un 25 %, debido a la reducción del área de siembra y al incremento de los costos por kg al consumidor, con un precio al consumidor mayor de 25 pesos el kg. La llegada del producto importado genera la saturación del mercado y el precio no se regula. Mientras que en México el rendimiento promedio es de 1.2 t ha⁻¹, en los Estados Unidos es de 1.8 t ha⁻¹ lo que pone en desventaja al productor nacional (SAGARPA, 2017).

El consumo per cápita de frijol en México muestra una tendencia a la baja durante los últimos 30 años, al pasar de un promedio de 16 kg en la década de 1980 a 8.4 kg en los últimos años. Lo anterior se puede atribuir a diversos factores, entre los que se pueden mencionar: la migración, el urbanismo, cambios en el poder adquisitivo de la población en general y la incorporación de la mujer a la actividad laboral. Asimismo, se ha presentado la sustitución del consumo de frijol en grano por frijol industrializado, debido a la facilidad que representa su uso con respecto al frijol en grano (FIRA, 2016).

El consumo mundial de frijol se estima en alrededor de 17 millones de toneladas, y al igual que la producción, muestra una alta concentración. Los primeros cinco países consumidores participan en conjunto con el 57.7 % del consumo mundial: India (24.7 %), Brasil (19.0 %), Estados Unidos (5.5 %), México (5.3 %) y Tanzania (3.3 %). Por otra parte, los cuatro principales países importadores de frijol son también importantes productores. Lo anterior, debido a que estos países realizan compras en el exterior con el fin de complementar su demanda. Este es el caso de India, Brasil, México y Estados Unidos, que en conjunto participan con el 41.9 % del volumen importado a nivel mundial (FIRA, 2016).

Esta demanda de frijol va ligada a la necesidad de la leguminosa como fuente de proteína fundamental de la canasta básica del mexicano, es por ende, que tiene que ser un producto con mejores precios para el consumidor y mejor desarrollo en su producción.

Cuando se refiere al desarrollo es imprescindible hablar de técnicas agrícolas que generen la producción necesaria para satisfacer la demanda, también implica la preservación del medio para que ésta perdure mucho más tiempo. El manejo orgánico de acuerdo a la FAO (2003), es el sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos naturales, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y a la actividad biológica, al mismo tiempo a minimizar el uso de los recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos, con el afán de proteger el medio ambiente y la salud humana esto a través del cumplimiento de los requisitos de certificación y el uso correcto de las características en monocultivo y cultivo rotatorio (*Ídem*).

Con la llegada del nuevo gobierno y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) se busca fomentar un programa que ofrecerá a los productores de frijol un pago de 14 mil 500 pesos por tonelada del grano, con un límite de hasta 20 hectáreas para pequeños productores, lo que beneficiará a 300 mil agricultores de todos los estados productores (SADER, 2019).

Ante la necesidad de incrementar la producción del cultivo de frijol en el país, se motiva la generación de paquetes tecnológicos más productivos, asimismo, el cuidado al medio ambiente permite implementar técnicas de incorporación de fertilización orgánica, proveniente de varias fuentes como son los desechos de cosecha, compostas, lombricompostas, caldos minerales, entre otros. Esta fertilización puede acompañarse con la aplicación de biofertilizantes (Michael, 2014).

Es importante evaluar el efecto de la aplicación de los fertilizantes orgánicos en el rendimiento de diversas variedades de frijol, y en este trabajo se busca contribuir a este estudio, por lo cual se plantearon los siguientes objetivos.

1.1. Objetivo general

- Evaluar el manejo orgánico de la fertilización en el cultivo de frijol, en Cuautitlán Izcalli, México.

1.1.1. Objetivos particulares

- Incorporar dos fuentes de fertilización orgánica en el cultivo de frijol en condiciones de temporal en Cuautitlán Izcalli, México.
- Analizar el efecto de diversas fuentes de nutrición orgánica sobre los componentes del rendimiento en tres variedades de frijol.
- Evaluar la respuesta fenológica, agronómica, bioquímica y el rendimiento de las tres variedades de frijol con un manejo orgánico.

1.2. Hipótesis

- Ht: Existe una respuesta diferencial de las variedades de frijol a las fuentes de nutrición orgánica empleadas.

II. ANTECEDENTES

2.1. Importancia del cultivo de frijol en México

El frijol se originó y domesticó en América Latina con dos orígenes geográficos (Mesoamérica y los Andes) genéticamente diferenciables que derivan de un ancestro común de 10,000 años de antigüedad. En México y América del Sur, el frijol se domesticó de manera independiente hace aproximadamente 8,000 años. Se tienen registros de semillas cultivadas de *Phaseolus vulgaris* de 3,000 años de antigüedad (Brown, 2006).

Como todas las leguminosas, el frijol tiene la capacidad de asociarse a bacterias del suelo llamadas rhizobia (singular *Rhizobium*). Dicha asociación entre leguminosas y *Rhizobium*, comprende a la mayoría de las 18,000 especies de leguminosas y resulta en una simbiosis fijadora de nitrógeno de importancia ecológica que aporta anualmente una cuarta parte del nitrógeno fijado en la biósfera. En las raíces de la planta, la bacteria induce la formación de un órgano denominado nódulo, dentro del cual ésta se establece de forma intracelular. En estas condiciones, la bacteria es capaz de convertir el N₂ atmosférico en amonio NH₄⁺, el cual constituye la fuente de nitrógeno que permite el crecimiento de la planta. Estas asociaciones simbióticas fijadoras de nitrógeno entre leguminosas y rhizobium, fertilizan el suelo y se calcula que incorporan de 60 a 120 kg de nitrógeno por hectárea. Tradicionalmente y desde hace cientos de años, el agricultor mexicano ha sembrado en sus chinampas y milpas, de forma combinada, frijol y maíz, en el que el tallo del maíz sirve de sostén a la enredadera del frijol y éste, a su vez, fertiliza el suelo favoreciendo una mayor producción del cereal. Este ecosistema (la milpa), en donde tradicionalmente se siembra maíz, frijol y calabaza, además de chile y tomate, constituye un modelo de agricultura ecológica el cual favorece un control biológico de insectos, además de la ya referida fijación biológica de nitrógeno. Las características nutricionales de cada uno de estos cultivos, sumados, producen una dieta equilibrada (Lara, 2015), esto propiamente vinculado a la interacción de las culturas antiguas, de mezclar leguminosas con gramíneas en sus cultivos principales.

En México, el grano de frijol por su alto contenido de proteína es básico para la alimentación de la población; ocupa el segundo lugar en importancia nacional después del maíz. Constituye una fuente de proteínas, de cada 100 g de alimento crudo en peso neto 5 g son de fibra, 21 g de

proteína, 200 mg de calcio, 5.5 mg de hierro, 0.6 mg de tiamina, 0.14 mg de riboflavina y 1.5 mg de niacina, no conteniendo colesterol e hidratos de carbono natural; además es abundante en vitamina B como: niacina, ácido fólico y tiamina; también proporciona hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio, contiene un alto contenido de fibra. Existen múltiples variedades de frijol que se caracterizan por su tamaño, color, forma y tipo de crecimiento. Se considera que en total existen 70 especies; en México éstas ascienden a 50, de las cuales 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). En México se cultivan cerca de 70 variedades, de acuerdo a la norma (NMX-FF-038-SCFI-2013), el color puede ser: negro, pinto, claro, otro. El cultivo del frijol presenta características propias y definidas en el marco de la soberanía alimentaria, en virtud de que representa un alimento principal para la población rural y urbana. Pues aporta más del 32 % de proteína a la población mexicana (Sangerman *et al.*, 2010).

El frijol en México se produce en dos épocas: primavera-verano y otoño-invierno. En otoño-invierno se siembra menos superficie, pero se obtiene un mayor rendimiento unitario. El frijol se cultiva principalmente con el fin de cosechar semilla seca, y como vaina en fresco se consume en menor proporción. Además de lo anterior, el cultivo de frijol es una fuente importante de mano de obra y de ingreso, así como una garantía de seguridad alimentaria vía autoconsumo (Sangerman *et al.*, 2010). Asimismo, aporta el 1.93 % del producto interno bruto (PIB) agrícola nacional. Las plantaciones nacionales del cultivo cubren en un 86.93 % las necesidades del país, el resto es importado de Estados Unidos, Canadá y China. Aún con estas importaciones, México es el cuarto productor mundial pues se estima que aporta el 5.5 % de la producción mundial (SAGARPA, 2017). Su consumo anual per capita ronda entre los 10.2 kg anuales (SIAP, 2018).

Antes del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1991, todo el frijol que se producía en México era adquirido por la CONASUPO a un precio de garantía previamente fijado. Con ello se aseguraba dar certidumbre y un buen ingreso al productor; suministrar al consumidor un producto a precio accesible, evitar la especulación, al mantener una reserva mínima del alimento (Sangerman *et al.*, 2010).

Todo cambió con el ajuste estructural de la economía y la apertura comercial. Desaparecieron los precios de garantía y la CONASUPO, instrumento de Estado para garantizar el abasto popular. A

partir de 2008 se abrió totalmente la frontera al frijol importado de Estados Unidos de América y Canadá, dándole entrada al grano, ya sea porque viene a precio 'dumping' o de contrabando; esto derrumba el precio del frijol mexicano. Sin embargo, el país tiene capacidad de producir un millón cien mil toneladas de las diversas variedades de frijol que consume. Si se importa la leguminosa es por conveniencia de los grandes importadores-comercializadores para lucrar más y por deficiencia de SAGARPA (ahora SADER), que no ha promovido la elevación de la productividad mediante el desarrollo y transmisión de tecnología (*Ídem*).

En los últimos años, SAGARPA a través de ASERCA, ha intentado regular el mercado para ofrecer un mejor precio a los productores y un precio más accesible a los consumidores. Establece un precio de referencia y apoyos a la comercialización, pero la visión de la política agroalimentaria federal es muy restringida, ya que tiene demasiada confianza en los ajustes automáticos del mercado y su óptica es de comercialización, no de seguridad y soberanía alimentaria. Pone énfasis en los comercializadores, sobre todo en los grandes y descuida los dos polos del proceso: los productores campesinos y los consumidores (*Op Cit*).

La proyección en cuestión de las necesidades del cultivo de frijol se muestra en la Tabla 1, con la representación del valor de la producción en 2016 con respecto al PIB agrícola de ese mismo año; estimada con base en la capacidad instalada actual, rendimientos de referencia histórica y su consideración para futuros años (SAGARPA, 2017). Esta proyección donde engloba expectativas del mercado, demuestra que no se cumple la producción para la demanda nacional, a pesar de ser un cultivo necesario por su valor nutrimental, ecológico, cultural y social.

Tabla 1. Estimación de la producción nacional de frijol vs el consumo nacional (SAGARPA, 2017).

Año/Periodo	Estimaciones (miles de toneladas)				Crecimiento acumulado (%)			Crecimiento promedio anual (%)		
	2016	2018	2024	2030	2003-2016	2016-2018	2016-2024	2016-2030	2003-2016	2016-2030
Producción nacional	1,089.71	1,274.23	1,827.77	2,381.32	-22.98	16.93	43.44	118.53	-1.99	5.74
Producción deseable	1,089.71	1,134.65	1,280.89	1,455.98	-17.63	4.12	12.89	32.69	-1.48	2.04
Consumo nacional	1,220.97	1,250.83	1,344.87	1,445.98	-17.63	2.45	7.52	18.43	-1.48	1.22

2.1.1. Superficie y producción nacional

En México, el frijol se cultiva en casi todo el territorio nacional, esto debido a que se encuentran condiciones climáticas y edafológicas favorables para el cultivo (Figura 1) (SIAP, 2016).



Figura 1. Potencial producción de frijol en México (SIAP, 2016).

El frijol es producido en las 32 entidades del país, sin embargo, las que aportan el mayor volumen son Zacatecas, con el 35.9 % de la producción nacional; Durango, 11.6 %; Chihuahua, 9.5 %; Sinaloa, 8.9 % y Chiapas 5.5 %, que en conjunto estos cinco estados generan el 71.4 % de la producción de frijol en México (SAGARPA, 2017a).

En 2018 se publicó en el Atlas Agroalimentario los datos de producción entre 2012 y 2017 de este cultivo en México (Tabla 2).

Tabla 2. Volumen de producción de las 10 principales entidades productoras en México (SIAP, 2018).

Lugar	Entidad federativa	Volumen (toneladas)		Variación (%)
		2012	2017	2012-2017
	Total nacional	1'080,857	1'183,868	9.5
1	Zacatecas	305,274	400,356	31.1
2	Sinaloa	113,689	158,227	39.2
3	Durango	110,285	129,492	17.4
4	Chihuahua	104,357	87,166	-16.5
5	Chiapas	68,862	63,983	-7.1
6	Nayarit	72,995	60,341	-17.3
7	Guanajuato	52,499	48,238	-8.1
8	San Luis Potosí	32,281	42,405	31.4
9	Puebla	52,531	41,199	-21.6
10	Oaxaca	29,608	27,215	-8.1
	Resto	138,476	125,247	-9.6

Este cultivo se siembra en una superficie de un millón 553 mil hectáreas a nivel nacional; Zacatecas registra el mayor territorio destinado a este cultivo con 611 mil hectáreas, seguido de Durango con 240.5 mil hectáreas. Ambas entidades ocupan el 54.8 % de la superficie cultivada de frijol en el país. La mayor parte es cosechada entre los meses de octubre a diciembre, así como en febrero, cuando se obtiene el 75 % de la producción (SAGARPA, 2017a).

Actualmente se satisface el 89.24 % de los requerimientos nacionales con producción interna, mientras que las importaciones provienen principalmente de Estados Unidos, Canadá y China (Figura 2). La producción de frijol en México se destina principalmente al consumo y al autoconsumo, así como a la siembra, y exportación (SAGARPA, 2017). En México, el consumo per cápita de este producto es de 10.2 kg al año, y el valor de la producción se estima en 16,376 mil millones de pesos (SIAP, 2018).

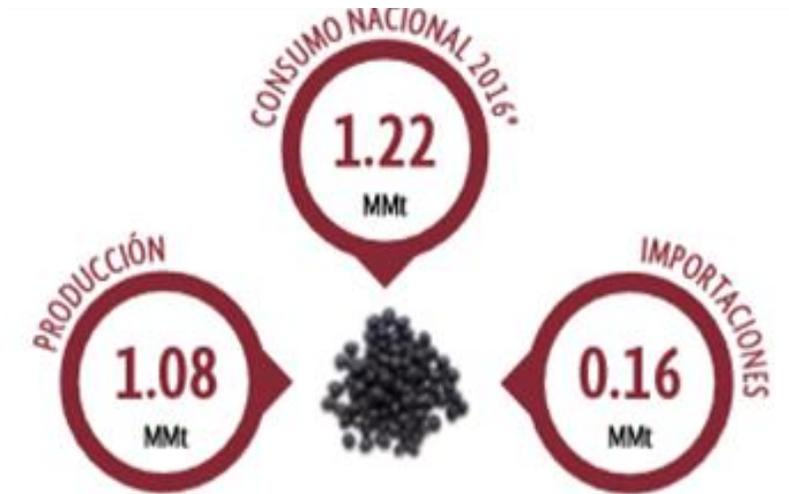


Figura 2. Consumo nacional, producción e importaciones de frijol (SAGARPA, 2017).

SAGARPA (2017) estima que para el año de 2030 ocurra un aumento en el consumo nacional de 1.22 a 1.44 millones de toneladas (MMt), y que la producción potencial se incremente de 1.08 a 2.38 MMt, lo cual representa un crecimiento acumulado de 18.42 y 118.5 %, respectivamente (Figura 3).

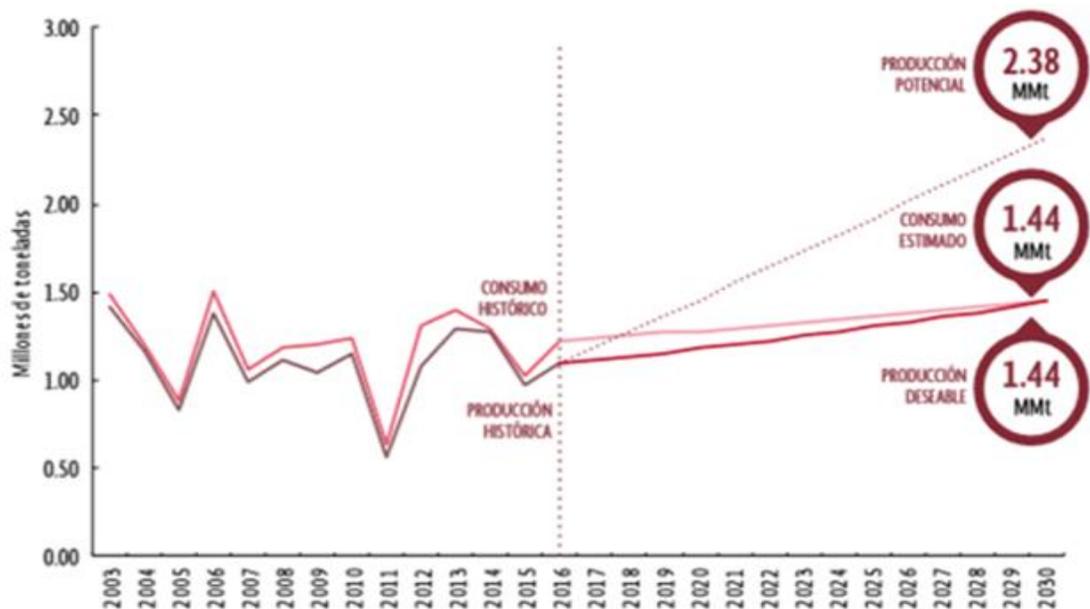


Figura 3. Proyección en consumo y producción de frijol nacional (SAGARPA, 2017).

2.2. La fertilización en la agricultura

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. El origen de la industria mundial de fertilizantes se inició a mediados del siglo XIX, periodo en el que se empezaron a comercializar diversos tipos de fertilizantes. De acuerdo con la ANFFE (2008) los fertilizantes han aportado los siguientes beneficios:

- Asegurar la productividad y calidad nutricional de los cultivos, al alcanzar la seguridad alimentaria e incrementar el contenido de nutrientes de las cosechas.
- Evitar la necesidad de incrementar la superficie agrícola mundial, ya que sin los fertilizantes habría que destinar millones de hectáreas adicionales a la agricultura.
- Conservar el suelo y evitar su degradación y, en definitiva, mejorar la calidad de vida del agricultor y de su entorno.
- Contribuir a la mayor producción de materia prima para la obtención de energías alternativas.

Con estas expectativas, el medio agrícola requiere un plan de fertilización el cual tiene que cumplir los siguientes puntos (Villablanca y Villavicencio, 2017):

- Dosis de nutrimentos que demanda el cultivo, según la etapa de desarrollo (kg ha^{-1}).
- Fertilizante apropiado (kg ha^{-1}).
- Momento de fertilización.
- Forma de incorporación.

La dosis de fertilización se calcula con un balance nutrimental, el cual depende de los antecedentes culturales: fertilización del cultivo anterior, tipo de manejo que se le dio a la fertilización anterior (orgánico o sintético); tipo de cultivo anterior, captación del suelo, residuos de fertilización anterior, entre otros. Cuando los fertilizantes se utilizan de forma racional, sus efectos son favorables y esenciales para la fertilidad del suelo, para el rendimiento y la calidad de las cosechas.

En la Tabla 3 se enlistan los fertilizantes más utilizados en la agricultura (*Ídem*).

Tabla 3. Fertilizantes más utilizados en la agricultura (Villablanca y Villavicencio, 2017).

Tipo de fertilizante	Composición (%)				Solubilidad
	N	P	K	Otro	
Nitrogenados					
Nitrato de Amonio	34	0	0	0	Solubilidad media
Sulfato de amonio	21	0	0	0	Muy soluble
Nitrato de calcio	15.5	0	0	Ca (26)	Muy soluble
Urea perlada	46	0	0	0	Muy soluble
Nitrato de magnesio	27	0	0	Mg (4)	Solubilidad media
Fosfatados					
Ácido fosfórico	0	52	0	0	Muy soluble
Fosfato monoamónico	10	50	0	0	Solubilidad media
Fosfato diamónico	18	46	0	0	Solubilidad media
Superfosfato triple	0	46	0	0	Poco soluble
Potásicos					
Cloruro de potasio	0	0	60	0	Solubilidad media
Nitrato de potasio	13	0	44	0	Muy soluble
Sulfato de potasio	0	0	50	0	Solubilidad media

2.2.1. Fertilizantes inorgánicos

Los fertilizantes inorgánicos son sustancias químicas sintetizadas, ricas en fósforo, calcio, potasio y nitrógeno, que son nutrimentos que favorecen el crecimiento de las plantas. Son absorbidos más rápidamente que los fertilizantes orgánicos. La característica más sobresaliente de los fertilizantes inorgánicos es que deben ser solubles en agua, para poder disolverlos en el agua de riego (ECURED, 2018).

Estos pueden ser simples o compuestos. Los fertilizantes simples son los que contienen un solo elemento químico y los compuestos tienen más de un elemento (binario, terciario y cuaternario). Los fertilizantes simples se utilizan directamente en el suelo o para la fabricación de los compuestos, pueden ser nitrogenados, fosfatados o potásicos. Además, por su estado se clasifican en sólidos (presentación de polvo o granulados), líquidos (solución de nutrimentos) y gaseosos (inyección de gas o amonio). Todos los fertilizantes compuestos inorgánicos, vienen formulados, lo cual facilita su manipulación; esta formulación está representada por medio de tres números que expresan el porcentaje de Nitrógeno (N), Fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O), respectivamente.

Por ejemplo, si se encuentra un fertilizante con la fórmula 14-8-18, significa que el contenido en 100 kg es de 14 kg de nitrógeno, 8 kg de fósforo, y 18 kg de potasio (*Ídem*).

Los distintos tipos de fertilizantes inorgánicos tienen ventajas y desventajas, según su tipo. Los simples permiten aproximar las dosis de cada nutrimento a los requerimientos del terreno, lo cual no se consigue fácilmente con un fertilizante compuesto. Los granulados absorben menos agua que los que vienen en polvo, y no se compactan tanto en los envases, tampoco son arrastrados por el viento; demoran más tiempo en disolverse, lo cual prolonga el efecto. Los fertilizantes inorgánicos complejos, permiten una fertilización más uniforme que los simples. La principal desventaja es la mala aplicación del mismo, lo cual puede afectar al rendimiento ecológico del suelo al ocasionar un daño irreparable; todo esto siempre tiene que estar equilibrado con la aplicación correcta tanto de macro como de micronutrientes (*Op Cit*).

2.2.1.1. Fuente de macroelementos

Las plantas mediante el proceso de fotosíntesis se nutren de elementos químicos. A los que consumen en mayor cantidad se les denomina macroelementos, los cuales son nitrógeno, fósforo, potasio. Estos elementos en su mayoría ayudan al crecimiento de la planta, nutrición, intercambio calórico entre otras funciones vitales para la planta. La absorción de carbono y oxígeno, fundamentalmente es atribuida al medio ambiente, mientras que la generación de nitrógeno, fósforo y potasio, son inducidos por fertilización. Las funciones de estos macroelementos son (Tabla 4) (Artal, 2013):

Tabla 4. Funciones de los macroelementos (Artal, 2013).

Elemento	Función
Nitrógeno	Favorece a la multiplicación celular para el crecimiento de las plantas Formación de clorofila y actividad fotosintética Componente de aminoácidos y proteínas Forma parte de enzimas y sustancias complejas Alarga las fases del ciclo del cultivo.
Fósforo	Estimula el desarrollo del sistema radicular Favorece la floración y el cuajado de frutos Esencial en la fotosíntesis y en la formación de compuestos orgánicos Interviene en el transporte, almacenamiento y transferencia de energía Aumenta la resistencia a condiciones ambientales adversas Acorta el ciclo del cultivo y adelanta la maduración.
Potasio	Regula las funciones de la planta Aumenta la resistencia a enfermedades Aumenta la actividad fotosintética Regula el agua y la transpiración Mayor resistencia al marchitamiento y heladas, al aumentar la concentración salina en las células Activa la absorción de nitratos.

Algunas deficiencias de los macroelementos en una planta en general, se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Deficiencia de los macroelementos (Artal, 2013).

Elemento	Síntomas
Nitrógeno	Amarillamiento general Desarrollo raquítrico Adelantamiento de floración y maduración Pérdida de la calidad.
Fósforo	Coloraciones moradas Hojas onduladas Floración tardía y deficiente Fallo en la fecundación Retraso en la maduración Escaso vigor.
Potasio	Hojas con tonalidad verde azulada y pardeamiento Menor resistencia a heladas y sequía Menor resistencia al ataque de hongos Menor contenido de carbohidratos.

Estos macroelementos son la base para la formulación de fertilizantes, pues con su debida distribución se crean los productos adecuados que puedan satisfacer las necesidades tanto por cultivo como por tipo de suelo.

2.2.1.2. Fuente de microelementos

Los microelementos son elementos químicos requeridos para el metabolismo de las plantas en cantidades muy reducidas. Son encontrados en las plantas en proporciones 5-200 ppm, hasta el 0.02 % del peso seco en las plantas. Dichos microelementos son los siguientes: Cloro (Cl), Hierro (Fe), Boro (B), Manganeseo (Mn), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo) y Níquel (Ni) (Artal, 2013).

Las funciones de los microelementos se dividen por un lado, como cofactor enzimático, unidos a la estructura de una proteína le ayudan a realizar su función. Suelen ser el centro catalítico, el lugar donde se produce la reacción metabólica. Como regulador de homeostasis, permiten adaptar a las plantas al medio; entre los procesos se encuentran: osmorregulación, transpiración, entre otros (*Ídem*). En la Tabla 6 se enlistan algunas de las funciones de los microelementos.

Tabla 6. Funciones de los microelementos (Artal, 2013).

Elemento	Función
Hierro	Esencial para la producción de clorofila.
Manganeso	Ayuda a la respiración celular
Zinc	Ayuda a la producción de clorofila, e interviene en la conservación de las hormonas de crecimiento vegetal.
Cobre	Interviene en la fotosíntesis y es esencial para que la planta tenga un balance adecuado de los bioelementos que regulan la transpiración.
Boro	Estimula el crecimiento al promover la división celular, floración y la producción de semillas.
Molibdeno	Vital para fijar nitrógeno de la atmósfera.
Cloro	Favorece al crecimiento y fortalece el sistema de defensas de la planta.
Níquel	Ayuda a la formación de urea.

Los microelementos se pueden absorber de manera natural de forma libre en forma inorgánica, esto depende del pH del suelo, quien puede limitar la absorción de algunos elementos. Otra manera de absorción es cuando son secuestrados, es decir, que los microelementos se pueden combinar con un agente quelante que permite mejorar la capacidad de absorción de los elementos por las plantas (Artal, 2013).

Una vez asimilados entran en el tejido conductivo de la planta de dos maneras (Figura 4) (*Ídem*):

- Vía simplificada: El transporte del elemento se produce por dentro de las células del tejido de absorción (raíz u hoja) hasta el tejido conductivo.
- Vía apoplástica: El transporte se produce por las aberturas de la matriz extracelular, sin entrar a la célula.

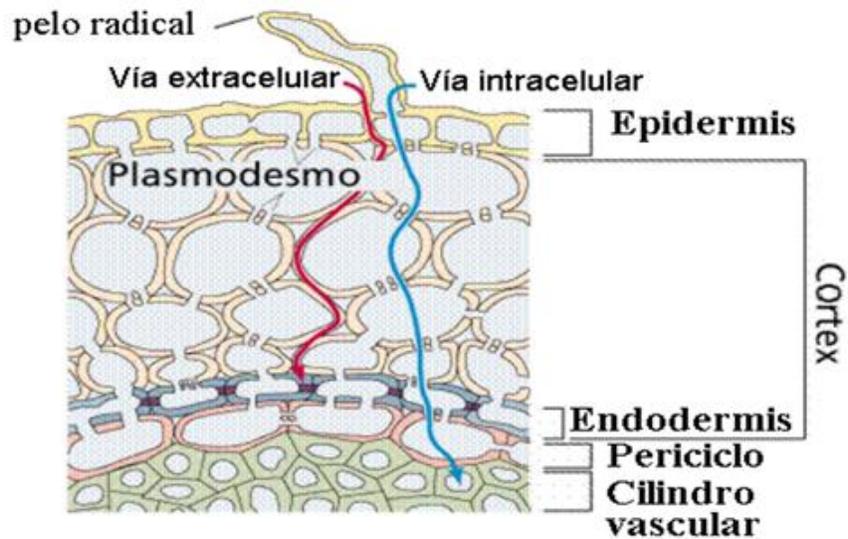


Figura 4. Vías de entrada de los microelementos (Artal, 2013).

Posteriormente pasa al xilema donde se transporta en la estructura de la planta. De ahí tiene tres acciones: almacenamiento, translocación y consumo. Los factores que influyen sobre la asimilación de los microelementos son (Infoagro, 2017):

- pH: Tiene un gran efecto sobre la asimilación de los microelementos aportados por la fertilización, de forma que un aumento de pH reduce la solubilidad y absorción de microelementos tales como el Cu, Fe, Zn y muy marcadamente del Mn, sin embargo, aumenta la solubilidad y absorción del Mo.
- Materia orgánica: Está dotada de propiedades complejas para cationes y forma combinaciones con iones metálicos, como los quelatos, pudiendo estos ser mantenidos en estado asimilable. Los compuestos orgánicos del suelo con poder quelante son numerosos, como las sustancias bioquímicas provenientes de organismos vivos tales como ácidos orgánicos, polifenoles, aminoácidos, proteínas y polisacáridos, así como polímeros complejos como ácidos húmicos y fúlvicos. Los complejos solubles corresponden sobre todo a combinaciones con moléculas bioquímicas, tales como los ácidos orgánicos y ácidos fúlvicos. Los complejos insolubles intercambiables corresponden sobre todo a los ácidos húmicos.
- Textura: Está estrechamente ligada con el contenido de microelementos asimilables del suelo. El valor del cociente entre microelementos solubles y microelementos totales

disminuye a medida que aumenta el contenido de elementos gruesos en la textura del suelo.

- **Actividad microbiana:** Depende de numerosos factores del suelo tales como el pH, materia orgánica, entre otros. Los microorganismos actúan sobre la asimilación de los microelementos, concretamente controlan las reacciones de óxido reducción del Fe y Mn en el suelo. En ocasiones, los microorganismos del suelo compiten con el cultivo para la absorción de ciertos microelementos, un ejemplo de ello, es el caso del Zn en los frutales.
- **Condiciones climáticas:** El contenido de microelementos en los tejidos de las plantas presenta importantes cambios estacionales causados por los efectos climáticos sobre la actividad de los microorganismos. El Mn es el elemento que presenta las variaciones estacionales más pronunciadas debido a la variación de las condiciones de óxido reducción inducidas por la actividad microbiana.
- **Condiciones redox:** Intervienen principalmente en la asimilación de Fe y Mn. La pobre asimilación de estos elementos en medios con propiedades oxidantes se explica debido a la menor solubilidad de las formas trivalentes en comparación con las formas divalentes reducidas.

2.2.2. Fertilizantes orgánicos

Un fertilizante orgánico proviene de animales, humanos, restos vegetales, restos de alimentos u otra fuente orgánica y natural, los cuales mediante procesos de transformación y purificación (si es que lo requieren) se incorporan al suelo, a la planta, al medio hídrico o al sustrato de retención (Michael, 2014).

Los fertilizantes orgánicos actúan en el suelo bajo tres tipos de propiedades:

- **Físicas:** Su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrimentos. Mejora la permeabilidad, textura y estructura del suelo haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los suelos arenosos. Disminuye la erosión, retiene mejor los líquidos, ayuda al control de pH y aumenta la capacidad de intercambio catiónico.
- **Biológicas:** Favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios. Constituye una

fuerza de energía para los microorganismos; ayudándolos a reproducirse. Fomenta el desarrollo radicular.

- Químicas: El desarrollo radicular, de la planta con aporte de enmiendas húmicas es enorme, y esto hace que el desarrollo de la misma sea mucho más rápido, debido a que absorbe mayor cantidad de elementos nutritivos, y esto se traduce en mayor producción.

Los residuos orgánicos también permiten la fijación de carbono al suelo y son fáciles de conseguir, sin embargo, presentan la desventaja de poder ser fuente de patógenos si no están adecuadamente tratados y costos de transporte más elevado por la cantidad a utilizar. Los fertilizantes orgánicos son fabricados a partir de excreciones animales, orines, composta vegetal, humus, cenizas, abono verde, entre otros, teniendo en cuenta que estos se pueden mezclar entre sí haciéndolos más eficientes (Michael, 2014).

2.2.2.1. Biofertilizantes

Los biofertilizantes son insumos formulados con uno o varios microorganismos, los cuales, de una forma u otra, proveen o mejoran la disponibilidad de nutrimentos en el medio de plantación. Estos ayudan a la conservación de los suelos y permiten una producción a bajo costo (Acuña, 2016).

Los biofertilizantes se clasifican en (Acuña, s/f):

a) Fijadores de nitrógeno. Compuestos de microorganismos que tienen la capacidad de transformar el nitrógeno atmosférico a amonio, por ejemplo la relación entre las leguminosas y el *Rhizobium*.

Dentro de los fijadores de Nitrógeno se tiene:

- Fijación simbiótica de nitrógeno. Se presenta una relación mutualista entre el microorganismo (huésped) y la planta (hospedero). Este proceso se realiza en estructuras especializadas como nódulos y raíces.

- Fijación no simbiótica de nitrógeno. Proceso sin necesidad de una relación mutualista, es decir, bacterias de vida libre o algas que fijan el nitrógeno.

b) Solubilizadores de fósforo. Es el paso de formas orgánicas a inorgánicas, insolubles o solubles mediado por microorganismos. Esta liberación de fosfatos insolubles a formas disponibles para las plantas, se obtiene mediante los siguientes procesos:

- Quelación. Quelatos (secuestrante de metales pesados, es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados) de Ca, Mg y Fe, hechos por microorganismos que logran desestabilizar el fósforo mineral y lo hacen soluble.

- Reducción de hierro. El fosfato de hierro se desestabiliza y se libera el difosfato de hierro.
- Producción de ácidos orgánicos. Los microorganismos producen y liberan algunos ácidos orgánicos que reaccionan con aniones fosfato fijados, lo que permite su solubilización.

a) Captación de fósforo. Microorganismos con la capacidad de aumentar el área de captación y absorción de nutrientes, principalmente fósforo a través de las raíces, como las micorrizas.

b) Promotores de crecimiento. Estos son microorganismos que, durante su actividad metabólica, son capaces de producir y liberar sustancias reguladoras de crecimiento para las plantas, como las giberelinas, ácido indolacético, auxinas, entre otras.

Las principales ventajas del biofertilizante se reflejan en el costo y en la incorporación de materia orgánica que aporta un sustento a la mejora de rendimiento de un suelo agrícola.

2.2.2.2. Lixiviados de lombricomposta

El proceso de transformación de los restos de composta y de materia orgánica, se degrada y forma un fertilizante líquido orgánico denominado lixiviado. La humedad de la materia orgánica es el principal factor que acelera la generación de lixiviados.

Los lixiviados de lombricomposta también conocidos como Humus líquido, es una concentración líquida de nutrientes que se obtienen durante el proceso de descomposición que llevan a cabo las lombrices para descomponer y transformar la materia orgánica en composta. Este tipo de lixiviado se caracteriza por presentar una coloración café intensa y un aroma frutal. El uso de este

fertilizante aporta una gran cantidad de beneficios a la hora de cultivar, ya que ayuda a mejorar la estructura del suelo, debido a que permite aumentar la retención de líquidos y la aireación, además aporta una gran cantidad de nutrimentos y favorece su asimilación, por lo tanto, enriquece al medio de cultivo con microorganismos benéficos que permiten obtener un mayor rendimiento en la producción, plantas más fuertes y frutos con mayor uniformidad (Hydro, 2016).

El lixiviado de lombriz está compuesto por una cantidad importante de minerales como el S, Bo, Ca, P, N, Mn, Mg, K, Na y Zn, algunos en menores cantidades que otros, lo cual ayuda cubrir cualquier tipo de carencia que tengan las plantas, a complementar los nutrimentos que ya existen y/o evitar la concentración de las sales (*Ídem*).

2.3. Investigaciones previas en manejo orgánico de la fertilización en frijol

Mejorar y mantener la fertilidad del suelo es tema central en la agricultura orgánica; para el agricultor orgánico alimentar el cultivo significa alimentar el suelo. Solo un suelo fértil puede producir cultivos saludables. Es por eso que el estudio de los fertilizantes orgánicos es valioso en el recabo de información para comprender el desarrollo no solo biológico, si no, también económico y comercial en el cultivo de frijol. A continuación se mencionan algunas investigaciones previas sobre la utilización de fertilizantes orgánicos en el cultivo de frijol.

Jacome *et al.* (2013) evaluaron la aplicación de lombricomposta en frijol rojo, a una dosis de 5 t ha⁻¹, combinado con fertilizante inorgánico (10-30-10) en dosis de 300 kg ha⁻¹, en la cual obtuvieron diferencia estadística significativa en altura de planta con la combinación de fertilizantes a diferencia de la aplicación del mismo por separado; pero no existió diferencia significativa en el número de flores y rendimiento.

Por su parte, Pupiales (2009) trabajó con frijol negro para evaluar los tratamientos con urea en dosis de 180 kg ha⁻¹, fertilización química 13-26-6 en dosis de 300 kg ha⁻¹, fertilización con residuos de cosecha incorporados al suelo y estiércol seco de vaca en porción de 1.5 t ha⁻¹; observó en la variable altura de planta diferencia estadística significativa con la aplicación de una combinación mixta entre estiércol, urea e incorporación de materia verde, a diferencia de la

aplicación de fertilizantes por separados. En la cantidad de vainas por planta no encontró diferencia estadística significativa al igual que en número de granos por vaina.

Mejía (2017) encontró al evaluar la aplicación de fertilización mineral, orgánica y biológica en frijol común, esto es, urea, lombricomposta y hongo micorriza, la altura de planta no presentó diferencia significativa en el desarrollo final; mientras que si hubo diferencia en el número de vainas por planta con la combinación de micorriza y composta vegetal, asimismo, para el número de granos por vaina en la combinación de micorrizas, composta y urea. Por último en el peso de 100 semillas observó que la aplicación de composta sobresalió sobre los otros tratamientos que analizó.

Comparando las respuestas con y sin aplicación de 9.5 t ha^{-1} de vermicomposta, en tres variedades de frijol, Negro Chapingo, Flor de Mayo y Pinto Saltillo, se tuvo una diferencia estadística significativa, con la aplicación de vermicomposta donde sobresalió el frijol Negro Chapingo, en el peso de 100 semillas (Sánchez, 2015).

En Cuba la necesidad del suministro nacional de frijol así como en México ha impulsado las pruebas de distintas fertilizaciones, como la utilización del Biobras-16, el cual es un producto de fabricación cubana cuyo ingrediente activo es un análogo espirostánico de basinoesteroides. Rosabal (2013) evaluó este producto de dos formas: una en la cual asperjó las semillas justo antes de la siembra en dosis de 15 kg de semilla con 150 ml en solución de 0.5 mg l^{-1} y la otra, en dosis foliar de 20 mg ha^{-1} . Las pruebas no arrojaron una diferencia estadística en longitud de vainas, número de vainas por planta y el peso de 100 semillas. En cuestión de la longitud de tallo no se determinó incremento conforme a la ficha técnica del frijol utilizado (frijol negro) e incluso se detectó una disminución en longitud en los tallos con aplicación foliar. Para el caso de granos por vainas se detectó una diferencia estadística con un incremento de 37.7 % a 61.3 %.

Escobar (2013) trabajó con un cultivo asociado de frijol y maíz, para realizar la comparación del rendimiento de las plantas al momento de introducir composta orgánica formada por una mezcla de pulpa de café, bovinaza y hojarasca, en comparación con la aplicación de Triple 15 al suelo. Registró los datos del rendimiento, porcentaje de germinación, altura de planta, número de vainas por planta y peso de 100 semillas. En el caso del frijol, no presentó diferencia estadística con respecto a la aplicación de los abonos. No obstante el resultado más notorio de la investigación

fue el aporte de nutrimentos al suelo por parte de la composta orgánica, incrementando en más de un 20 % los componentes de N, P, K. en relación a la aplicación del Triple 15.

Pupiro (2004) investigó el efecto del humus de lombriz reflejadas en el rendimiento de frijol negro con aplicación de dosis de 4, 6 y 8 t ha⁻¹; con aplicación directa al suelo justo antes de la siembra; el cual estaba compuesto de un 50 % de estiércol vacuno y un 50 % de *Leucaena leucocephala*. No existió diferencia estadística significativa en el número de granos y en el peso de 100 semillas; mientras que, en el número de vainas por planta si hubo diferencia estadística significativa en donde el tratamiento con aplicación de 8 t ha⁻¹ generó mejores resultados en comparación con los demás.

En una plantación de frijol y de rábano, asociados, se aplicaron 5 t ha⁻¹ de biocomposta para evaluar el rendimiento con y sin tratamiento; se obtuvo significancia estadística significativa a la incorporación de Ca, K, P y Mg, al suelo. Asimismo, en la altura de planta se tuvo un 23 % más de largo y un 21 % más de ancho, con respecto a las plantas no fertilizadas. El número de vainas también presentó diferencia estadística significativa al acumular 38 % más vainas que las plantas sin fertilizar (Álvarez 2007).

En una investigación con ambiente controlado bajo invernadero, se evaluaron los componentes de rendimiento en dos variedades de frijol negro con resistencia a las sequías mediante un control de humedad óptimo y otro con bajo índice de humedad, acompañados de la aplicación de vermicomposta. Los resultados demostraron un incremento significativo de 19 a 31 % de inflorescencias en las plantas que tenían un nivel óptimo de humedad y con aplicación de vermicomposta, también un incremento de 29 % a 57 % en la producción de vainas con ese tratamiento; no obstante también se registró una disminución en la producción de vainas por parte del tratamiento con bajo índice de humedad; finalmente los rendimientos por hectárea fueron similares (Aguilar, 2012).

Martínez (2016) realizó pruebas con Azofert, Biobras-16 y Quitomax en plantas de frijol, con cantidades de 100 mg l⁻¹ y 500 mg l⁻¹ para la mezcla de Azofert con Quitomax y 0.005 mg l⁻¹ y 0.05 mg l⁻¹ para la mezcla de Azofert con Biobras-16. Estos no generaron una diferencia estadística significativa en los parámetros de altura de planta, formación de vainas y número de

semillas por vaina; sin embargo, existió diferencia estadística significativa para la longitud de raíz con respecto al tratamiento control.

La evaluación del rendimiento con la aplicación foliar de Biofertilizantes a base de vermicomposta de estiércol vacuno, en dosis aplicadas de $1:60 \text{ l}^{-1}$ y $1:70 \text{ l}^{-1}$ con respecto al tratamiento sin aplicación, determinó una diferencia estadística significativa en altura de planta con un incremento del 22.26 % con respecto al tratamiento sin aplicación, también con un incremento del 27 % y el 32 % en cuanto a superficie foliar y finalmente una diferencia significativa en el peso de 100 semillas con respecto al tratamiento control (Hernández, 2012).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y descripción de la zona de estudio

El área de estudio se encuentra en el Municipio de Cuautitlán Izcalli en el Estado de México, en la longitud Oeste $99^{\circ} 11'42''$ y en la latitud norte $19^{\circ}41'35''$ a 2,256 msnm (Figura 5). La parcela experimental se ubicó en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C), en la parcela 14 del Centro de Enseñanza Agropecuaria (CEA), durante el ciclo primavera-verano (P-V) 2018 (Figura 6).

Esta zona de estudio se caracteriza por tener un clima templado subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con lluvias de verano, una temperatura promedio de 15.2°C ; una precipitación promedio de 637.6 mm y la presencia de heladas principalmente en la época de invierno¹.

El suelo es de textura arcillosa, con un porcentaje de materia orgánica de 3.4 %; pH de 6.7; conductividad eléctrica de 0.619 dS m^{-1} ; y fertilidad mediana a alta².

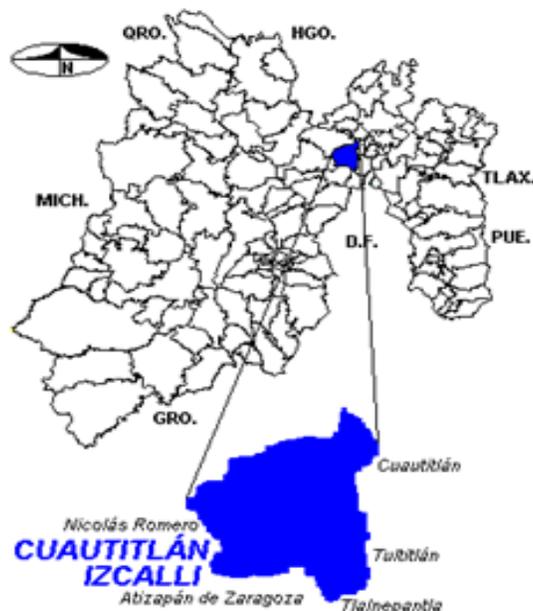


Figura 5. Localización geográfica del Municipio de Cuautitlán Izcalli. México.

¹ Mercado, M.G. 2018. Comunicación personal. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

² *Idem.*



Figura 6. Parcela 14 del Centro de Enseñanza Agropecuaria (Google Earth, 2018).

3.2. Metodología

La investigación se desarrolló bajo un modelo factorial con arreglo en parcelas divididas, donde en la parcela grande se evaluaron las variedades de frijol (tratamientos), y en la parcela chica las fuentes nutrimentales (subtratamiento), con tres repeticiones. Cada unidad experimental (UE) constó de 3 surcos, separados entre sí a 0.8 m, de 2 m de largo, en un área de 4.8 m². El total de UE fueron 27 en un área de 360 m². La parcela útil fue la misma área de 4.8 m² de la UE.

Las variedades (tratamientos) utilizadas fueron:

- Vaquita Negro.
- Ojo de Cabra.
- Flor de Durazno.

Las fuentes nutrimentales (subtratamientos) evaluadas fueron:

- ST1: Sin aplicación de fertilizante.
- ST2: Lixiviados de lombricomposta. A una dosis de 260 l ha⁻¹, en dos aplicaciones: la primera a los 43 días y la segunda a los 65 días, después de la emergencia. Estas aplicaciones fueron en forma foliar y el producto inicial fue diluido a razón de 1:5 en agua.
- ST3: 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 directamente a la base del cultivo, previo a la escarda (Anexo 1).

En la Figura 7, se presenta el arreglo de los tratamientos y subtratamientos en campo.

Vaquita Negro									
ST1				ST2				ST3	
ST2				ST3				ST1	
ST3				ST1				ST2	
Ojo de Cabra									
ST1				ST2				ST3	
ST2				ST3				ST1	
ST3				ST1				ST2	
Flor de Durazno									
ST1				ST2				ST3	
ST2				ST3				ST1	
ST3				ST1				ST2	

Figura 7. Distribución de tratamientos y subtratamientos evaluados.

3.2.1. Variables a evaluar

a) Variables climáticas: Se registraron las condiciones de temperatura y humedad ambiental, a nivel diario, durante el desarrollo de la investigación.

b) Fenología del cultivo: Se tomaron los datos en cinco plantas de cada UE para el registro de lo siguiente:

- Altura de planta: Se determinó antes de aplicar las fuentes nutrimentales, y posteriormente cada 15 días después de la aplicación (DDA), hasta el momento de madurez.
- Días a emergencia. Se consideró esta fase cuando el 75 % de las plantas habían emergido.
- Días a floración: Se consideró esta fase cuando el 75 % de las plantas habían florecido.
- Días a fructificación: Se consideró esta fase cuando el 75 % de las plantas habían fructificado.
- Días a madurez fisiológica: Se consideró esta fase cuando el 75 % de las plantas alcanzaron el grado de madurez.
- Días a cosecha: Que correspondió al momento de la cosecha.

En los Anexos 2 y 3 se presentan imágenes del trabajo en campo.

c) Componentes del rendimiento: Al momento de la cosecha, se tomaron cinco plantas por UE, de las cuales se registró:

- Número de vainas por planta.
- Número de semillas por vaina.
- Peso de 100 semillas.
- Peso hectolítrico.
- Rendimiento. Se consideró el rendimiento total de los tres surcos de cada UE, y luego fue extrapolado el dato a $t \text{ ha}^{-1}$.

En el Anexo 4 se presentan imágenes de esta parte del trabajo.

d) Características bioquímicas de las variedades: Se tomó una muestra de grano de cada variedad, en función del tratamiento aplicado, para realizar las siguientes cuantificaciones:

- Contenido de proteína: las proteínas se extrajeron de harina de cotiledón de frijol (sin testa ni embrión) de acuerdo a sus propiedades de solubilidad como lo describe Raya *et al.* (2014). Mediante una extracción secuenciada se obtuvieron fracciones de proteínas principales que contiene el frijol: albúminas y globulinas; de acuerdo a la metodología de Montoya *et al.* (2008). La cuantificación de cada fracción de proteína se realizó por el método de Bradford, midiendo la absorbancia de cada fracción en un espectrofotómetro.

- Contenido de almidón: se determinó éste por el método descrito por Paredes *et al.* (1989), el cual consistió en lavar la harina de la semilla con etanol al 95 % y filtrar en una malla No. para contener las moléculas del almidón en el fondo de un frasco; esta se dejó a temperatura ambiente por 24 hr, posteriormente se recuperó la harina que se obtuvo en el fondo del frasco y se colocó en una báscula para su pesaje y obtener el valor de almidón en gramos.

- Tiempo de cocción: Se determinó en una muestra de 25 semillas, por cada variedad de frijol y por fuente nutrimental, las cuales se remojaron durante 24 horas para posteriormente con el uso de un cocinador tipo Mattson, se pusieron a cocer las muestras por triplicado, y se registró el periodo de cocción en cuestión de minutos.

En el Anexo 5 se presentan imágenes del trabajo en laboratorio de este segmento.

3.2.2. 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 del 0.05. Los procedimientos se realizaron con el software Statgraphics® (Statgraphics Inc., USA).

3.3. Materiales

- Semilla de frijol, de las variedades Vaquita Negro, Ojo de Cabra y Flor de Durazno.
- Fuentes nutrimentales: Lixiviados de lombricomposta; Biofertilizante (Azofer + Micorrizafer).
- Regla de 2 m de largo.
- Libreta de campo, pluma.
- Báscula.

- Máquina de extracción de humedad GAC 2100-DICKEY-john, para peso hectolítrico.
- Bolsas.
- Vasos de precipitado de 50 y 250 ml.
- Ligas.
- Malla acrílica y Tamices de 110 mm.
- Vortex.
- Etanol.
- Matraz Erlenmeyer.
- Espectrofotómetro.
- Celdas espectrofotónicas.
- Centrífuga.
- Albúmina de suero bovino (BSA).
- Gradillas.
- Tubos de plástico de 2 ml.
- Báscula granataria.
- Tubos de ensayo.
- Buretas de 50 ml.
- Espátulas.
- Agitador magnético.
- Pipeta de 1, 5 y 10 ml.
- Reactivo de Bradford.
- Sulfato sódico.
- Cloruro de sodio.
- Ácido clorhídrico a 0.1 %.
- Cloroformo.
- Licuadora de granos.
- Mortero.
- Cocinador tipo Mattson.
- Solución Buffer.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados de esta investigación, que fueron agrupados de la siguiente manera.

4.1. Variables climáticas

La Temperatura registrada a nivel diario en la estación meteorológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, se utilizó para relacionarla con la fenología del frijol, durante el ciclo del cultivo (Figura 8).

Esta variable climática no fue limitante para el crecimiento y desarrollo del cultivo, pues se encontró dentro del rango óptimo para el cultivo, esto es, entre los 15 y 20 °C de temperatura media.

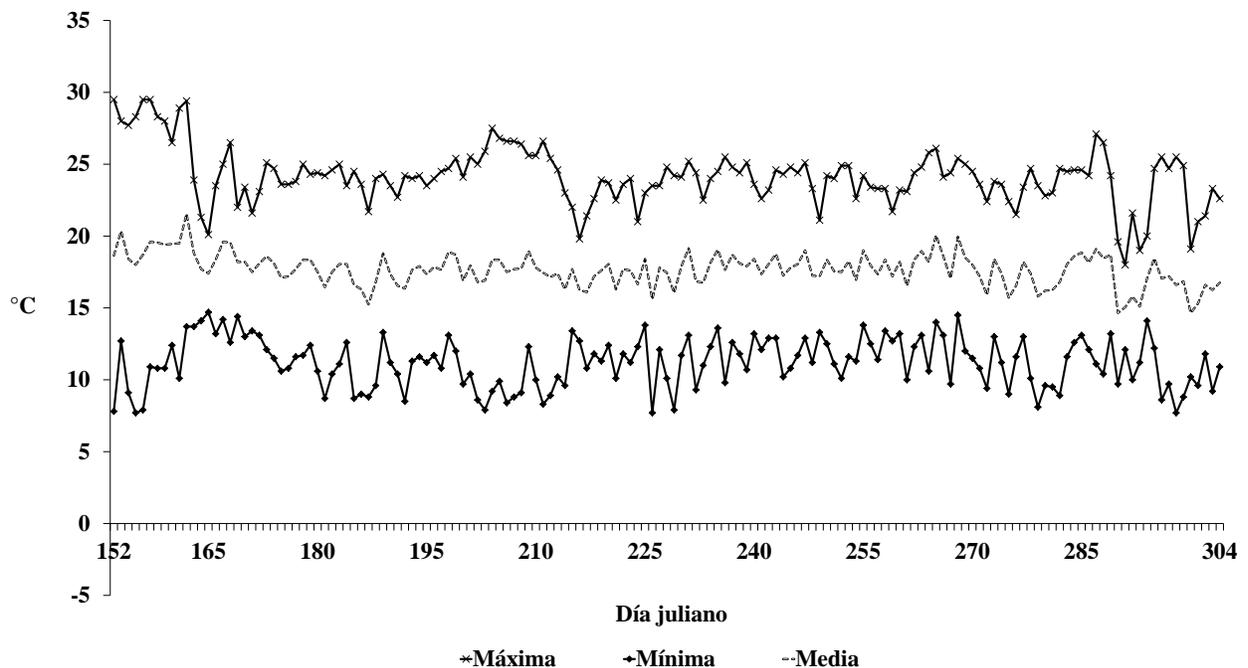


Figura 8. Tendencia de la temperatura ambiental diaria (°C), de junio a octubre del 2018. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

De igual forma se reportan los datos de humedad ambiental diaria, en porcentaje, durante el ciclo de cultivo (Figura 9).

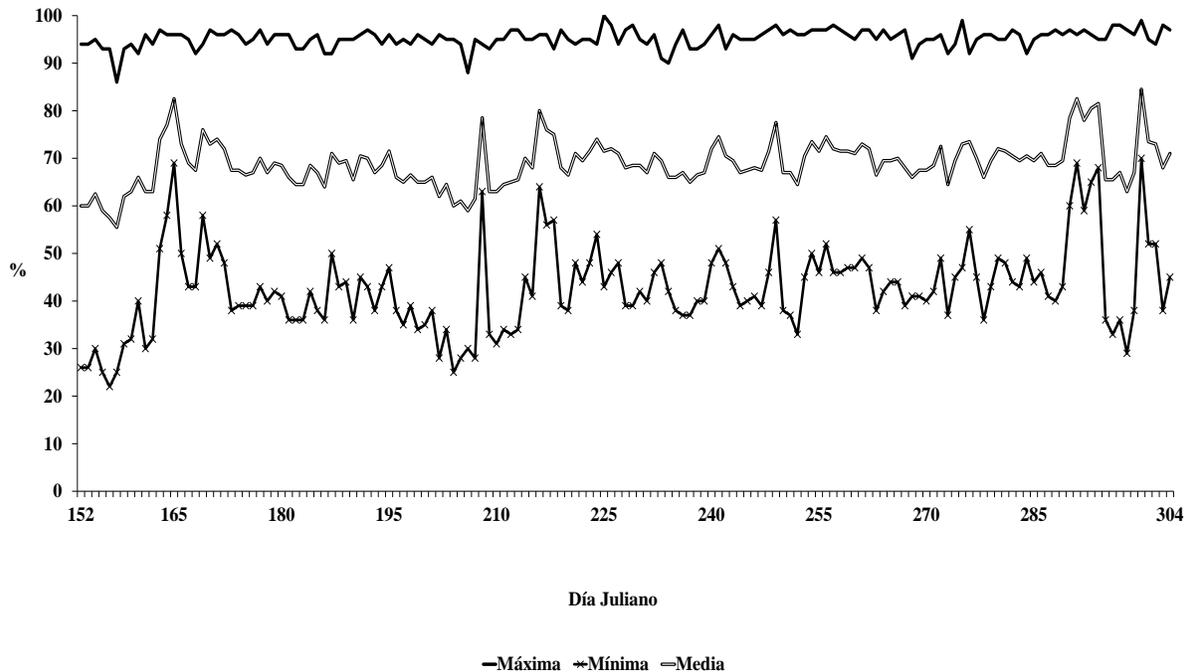


Figura 9. Tendencia de la humedad ambiental diaria (%), de junio a octubre del 2018. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

La humedad ambiental se mantuvo en valores promedio de 60-65 % de humedad media, entre los 30 y 40 % de humedad mínima y la máxima entre 90-95 %, debido a que es la época de lluvias en la zona de estudio, lo cual a su vez favoreció el desarrollo del frijol de temporal.

En la Figura 10 se presenta el registro diario del balance hídrico, esto es, la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración, que permite observar que no existió déficit de humedad durante el ciclo de cultivo, que expusiera a estrés hídrico a las variedades de frijol evaluadas en este trabajo.

La precipitación acumulada en el ciclo de cultivo fue de 625.2 mm, mientras que la evapotranspiración acumulada en este periodo fue de 408.0 mm lo que evidencia que no hubo falta de agua para el desarrollo de las variedades de frijol, en el ciclo P-V 2018, en Cuautitlán Izcalli, México.

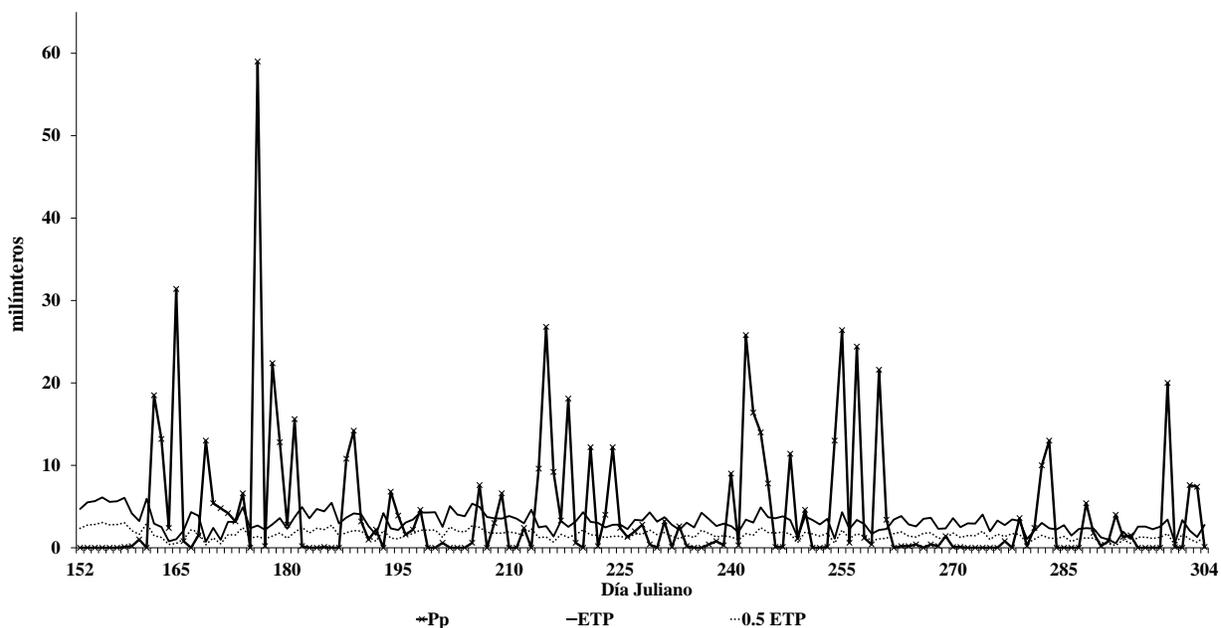


Figura 10. Balance hídrico a nivel diario, de junio a octubre del 2018. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

4.2. Fenología del cultivo

Se llevó a cabo el monitoreo del cultivo, de tal forma que se tomaron en cuenta las siguientes variables.

- **Altura de planta:** esta se registró un día antes de aplicar las fuentes nutrimentales, para continuar posteriormente cada 15 días después de la aplicación de estas fuentes (DDA). Cabe señalar que en la variedad vaquita negro se registró la última lectura a los 45 DDA, mientras que la variedad ojo de cabra y flor de durazno fue a los 60 DDA, momento que llegaron a la etapa de llenado de grano (madurez fisiológica) cada una de las variedades.

La tendencia de la altura de las plantas de las variedades evaluadas se presenta en la Figura 11.

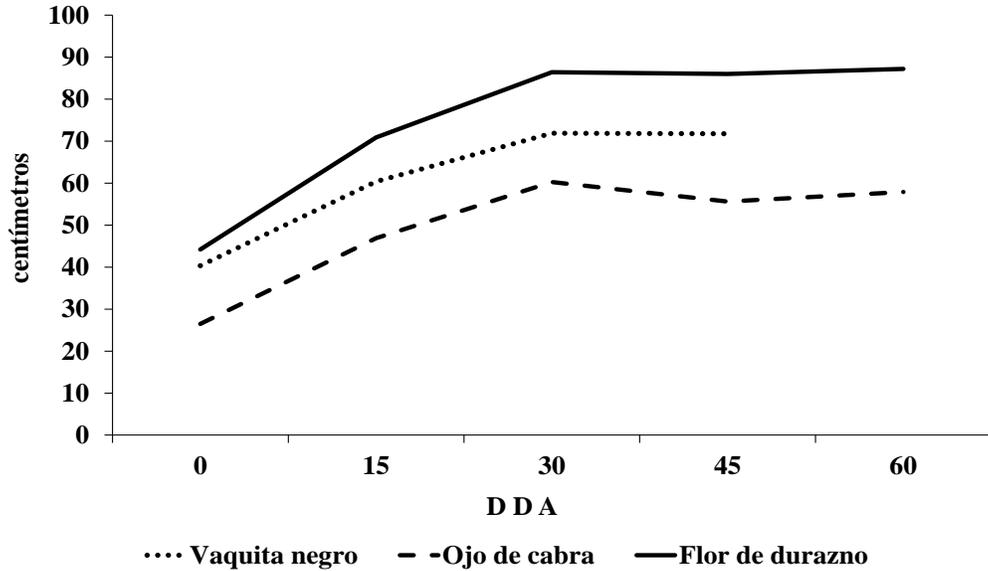


Figura 11. Altura de planta de las tres variedades evaluadas (cm). Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Se observa que la variedad flor de durazno sobresalió en la altura de planta (87.2 cm), mientras que la ojo de cabra fue la de menor porte con 57.9 cm. Vaquita negro tuvo al final 71.8 cm.

Para visualizar el efecto de las fuentes nutrimentales en cada variedad, se presenta en la Figura 12 los valores de altura de planta para cada variedad-fuente nutrimental empleada.

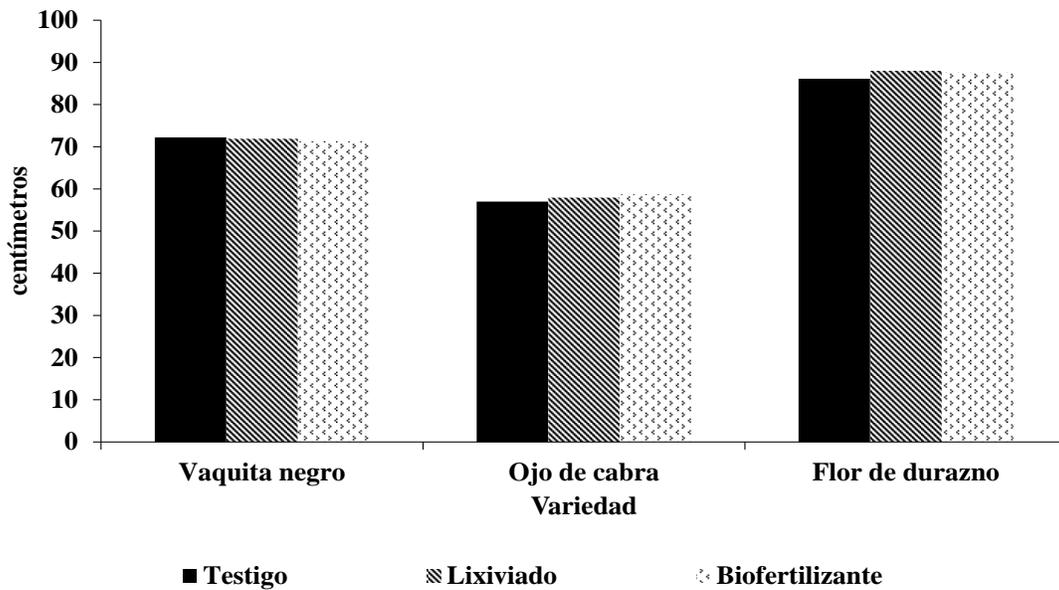


Figura 12. Altura de planta de las tres variedades evaluadas (cm), en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Se observa que la altura de planta no estuvo influenciada por la fuente nutrimental en las tres variedades, y que esta se debe a la variedad, como se presenta en la Figura 11. Asimismo, la fertilidad de suelo donde se llevó a cabo la investigación no fue limitante para el crecimiento de las plantas de frijol, puesto que no presentaron diferencias significativas con respecto a las dos fuentes nutrimentales empleadas.

- Días a emergencia: la siembra del material genético empleado fue el día 8 de Junio de 2018 en condiciones de temporal. Las tres variedades iniciaron la emergencia a los ocho días después de la siembra (DDS) y alcanzaron el 100 % a los 12 días DDS. En este sentido, la semilla empleada presentó buenas características para la germinación.

- Días a floración: se observó diferencia de 25 días entre las variedades para el 80 % de la floración, lo cual muestra el comportamiento de cada variedad, que presentan buena adaptación a las condiciones ambientales de la zona de estudio. La variedad Vaquita negro, Ojo de cabra y Flor de durazno florecieron a los 68, 73 y 83 DDS, respectivamente.

- Días a fructificación: se registró al 80 % a los 80, 83 y 98 DDS, para el Vaquita negro, Ojo de cabra y Flor de durazno, respectivamente. Se observa que la variedad Flor de durazno es más tardío que las otras variedades evaluadas.

- Días a madurez fisiológica-cosecha: para la madurez fisiológica se presentó a los 89, 99, 112 DDS, para el Vaquita negro, Ojo de cabra y Flor de durazno, respectivamente. Por lo tanto, los días a cosecha tuvieron 23 días de diferencia entre el más precoz (Vaquita negro) y el más tardío (Flor de durazno), debido en gran medida por el porte de cada variedad. La cosecha fue a los 109, 124 y 132 DDS, para el Vaquita negro, Ojo de cabra y Flor de durazno, respectivamente.

4.3. Componentes de rendimiento

Los componentes de rendimiento evaluados tuvieron respuestas diferenciales respecto a la aplicación de las fuentes nutrimentales y al tratamiento sin aplicación, y se tuvieron los siguientes resultados.

- Número de vainas por planta: en la Figura 13 se presentan los valores promedio de este componente, donde se observó una mayor respuesta con respecto al tratamiento sin aplicación en

las variedades Vaquita negro y Flor de durazno. Se evidencia que la fertilidad del suelo puede ser la causa de haber obtenido valores semejantes entre las fuentes nutrimentales y sin aplicarlas.

•

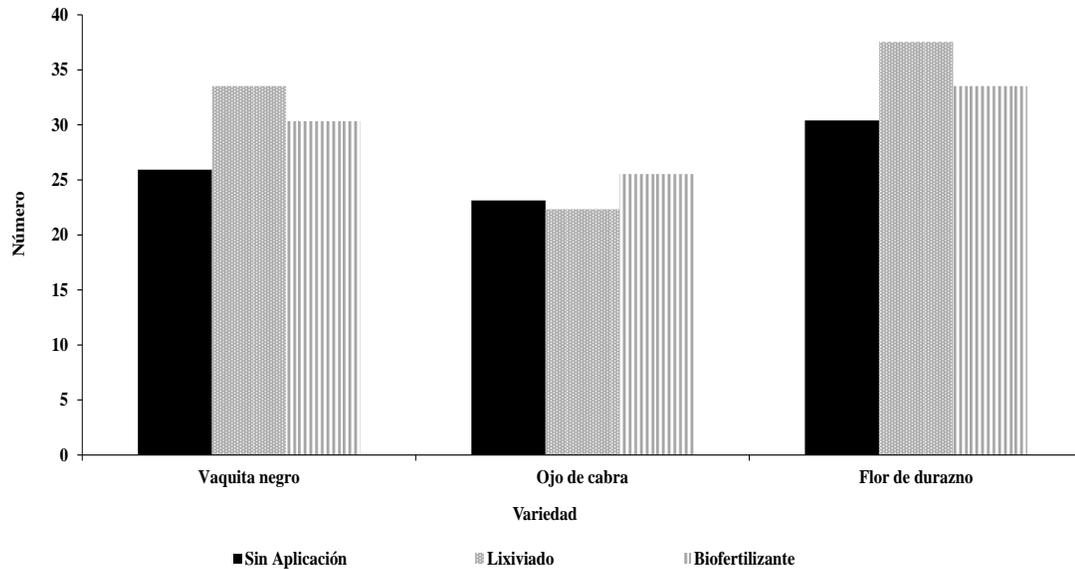


Figura 13. Número de vainas por planta de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Se observa que la variedad Flor de durazno sobresalió con un promedio de 34 vainas planta⁻¹, seguida de la variedad Vaquita negro con 30 vainas y al final el Ojo de cabra con 24 vainas planta⁻¹.

En la Tabla 7 se presenta el análisis de varianza (ANOVA), que muestra la diferencia estadística altamente significativa a una $p= 0.01$ entre las variedades de frijol (tratamientos), y sin significancia estadística entre las fuentes nutrimentales (subtratamientos) al $p= 0.05$.

Tabla 7. ANOVA del número de vainas por planta, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fcalculada	Ftablas	
					0.05	0.01
Bloque	2	159.185	79.5926	6.7685	6.94 ^{NS}	18.00 ^{NS}
Tratamiento	2	469.852	234.9260	19.9780	6.94*	18.00**
Error (A)	4	47.037	11.7593			
Subtotal	8	676.074				
Subtrat (TxS)	2	105.407	52.7037	1.2590	3.63 ^{NS}	6.23 ^{NS}
	4	80.148	20.0370	0.4787	3.01 ^{NS}	4.77 ^{NS}
Error (B)	16	669.778	41.8611			
Total	26	1531.407				

Con la prueba de medias por el método de Tukey para variedades se obtuvo lo siguiente (Tabla 8).

Tabla 8. Prueba de separación de medias, del número de vainas por planta, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Variedad	Número de vainas planta ⁻¹
Flor de durazno	34 ^a
Vaquita negro	30 ^{ab}
Ojo de cabra	24 ^{bc}

Las variedades Flor de durazno y Vaquita negro al presentar un crecimiento indeterminado, se observó una mayor extensión de su follaje y altura, asimismo, tuvieron mayor número de vainas con respecto a la variedad Ojo de cabra. Esta última presenta un crecimiento determinado, con menor altura de planta y que asoció menor número de vainas por planta.

- Número de semillas por vaina: en la Figura 14 se presentan los valores promedio del número de semillas por vaina de cada variedad y fuente nutrimental empleada, se observó una respuesta positiva a la aplicación de lixiviados y al biofertilizante, en las tres variedades, aunque no tuvo diferencia estadística significativa con respecto a la no aplicación de las fuentes nutrimentales (Tabla 9).

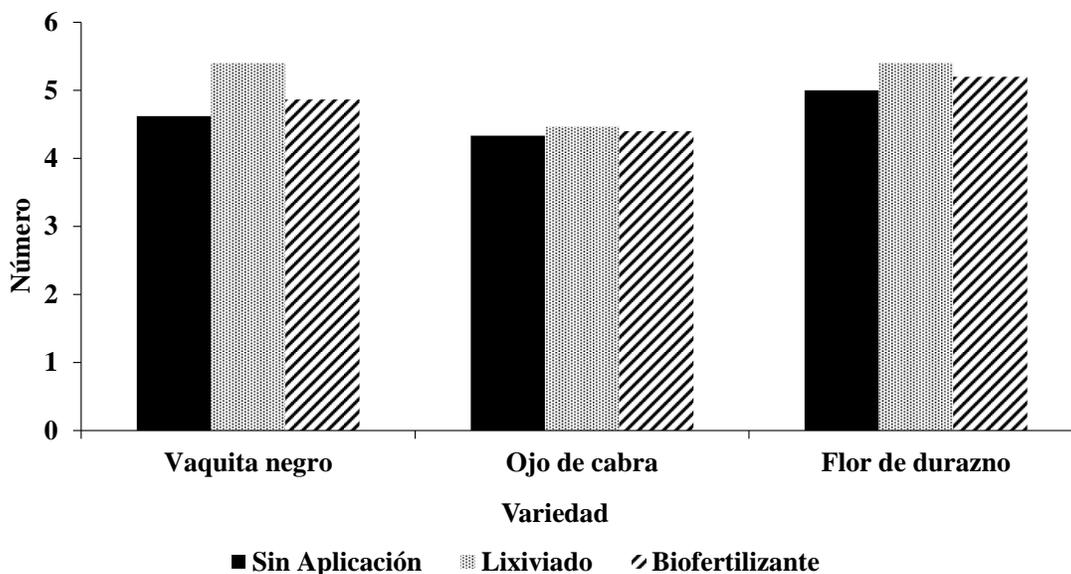


Figura 14. Número de semillas por vaina de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.

La variedad Flor de durazno y Vaquita negro tuvieron un promedio de cinco semillas por vaina mientras que la variedad Ojo de cabra presentó cuatro semillas por vaina.

Sólo se obtuvo diferencia altamente significativa a un $p= 0.01$ entre las variedades de frijol.

Tabla 9. ANOVA del número de semillas por vaina, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fcalculada	Ftablas	
					0.05	0.01
Bloque	2	0.0741	0.0370	0.4000	6.94 ^{NS}	18.00 ^{NS}
Tratamiento	2	2.2963	1.1481	12.4000	6.94*	18.00**
Error (A)	4	0.3704	0.0926			
Subtotal	8	2.7407				
Subtrat (TxS)	2	0.0741	0.0370	0.0721	3.63 ^{NS}	6.23 ^{NS}
	4	0.3704	0.0926	0.1802	3.01 ^{NS}	4.77 ^{NS}
Error (B)	16	8.2222	0.5139			
Total	26	11.4074				

La prueba de medias por el método de Tukey reportó para variedades lo siguiente (Tabla 10).

Tabla 10. Prueba de separación de medias, del número de semillas por vaina, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Variedad	Número de semillas por vaina ⁻¹
Flor de durazno	5 ^a
Vaquita negro	5 ^{ab}
Ojo de cabra	4 ^c

Ojo de cabra tuvo el menor número promedio de semillas por vaina, con cuatro, y si se considera que el tamaño de la semilla y la cantidad de semillas están relacionados con la eficiencia en la acumulación de biomasa en el grano, almacenamiento de proteínas durante la formación de la vaina y factores externos como temperatura, agua y luz (Morales, 2017), por lo tanto, se deduce que esta variedad de frijol presentó una mayor acumulación, aunque en menor número que las otras dos variedades evaluadas, reflejado en el peso del grano (Figura 15).

- **Peso de 100 semillas:** En la Figura 15 se representan los valores promedio de este componente, donde se obtuvo una mayor respuesta con respecto al tratamiento sin aplicación en las variedades Ojo de cabra y Flor de durazno.

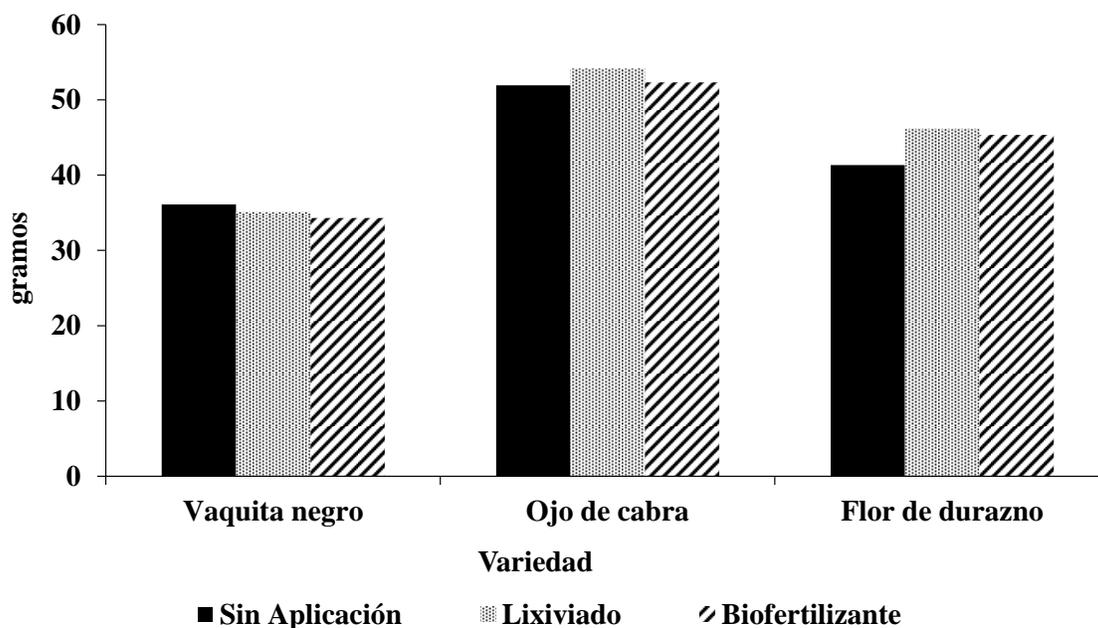


Figura 15. Peso de 100 semillas (g) de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.

En la Tabla 11 se presenta el análisis de varianza donde se obtuvo diferencia altamente significativa a un $p= 0.01$ entre las variedades de frijol (tratamiento), y sin significancia estadística entre las fuentes nutrimentales (subtratamientos) al $p= 0.05$.

Tabla 11. ANOVA del peso de 100 semillas, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fcalculada	Ftablas	
					0.05	0.01
Bloque	2	23.216	11.608	2.038	6.94 ^{NS}	18.00 ^{NS}
Tratamiento	2	1396.282	698.141	122.576	6.94*	18.00**
Error (A)	4	22.782	5.696			
Subtotal	8	1442.280				
Subtrat	2	19.509	9.754	1.937	3.63 ^{NS}	6.23 ^{NS}
(TxS)	4	35.182	8.796	1.747	3.01 ^{NS}	4.77 ^{NS}
Error (B)	16	80.556	5.035			
Total	26	1577.527				

Con la prueba de medias por el método de Tukey se tuvo lo siguiente, para variedades (Tabla 12).

Tabla 12. Prueba de separación de medias, del peso de 100 semillas, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Variedad	Peso de 100 semillas (g)
Ojo de cabra	52.8 ^a
Flor de durazno	44.3 ^b
Vaquita negro	35.2 ^c

Hasta el momento las fuentes nutrimentales no tuvieron efecto estadístico significativo, y las diferencias han sido producto de las características de cada variedad evaluada.

Campos *et al.* (1998) señalaron que la variedad Flor de durazno, tuvo un peso promedio de 41 g, y en este trabajo se obtuvo 44.3 g más que permite ver el efecto de la aplicación de fuentes orgánicas en su nutrición (Tabla 12).

- Peso hectolítrico: en la Figura 16 se presentan los valores obtenidos de cada variedad-fuente nutricional empleada, donde se observan los mayores pesos en la variedad Flor de durazno.

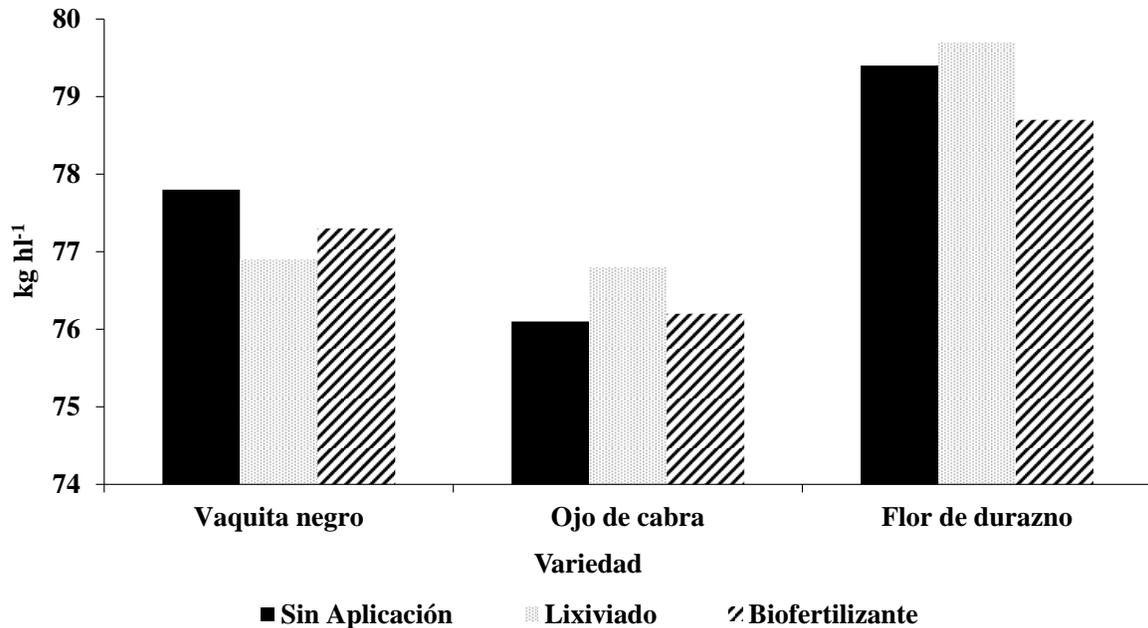


Figura 16. Peso hectolítrico (kg hl^{-1}) de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutricional. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.

La variedad Flor de durazno presentó el valor promedio de 79 kg hl^{-1} , mayor que los promedios de la variedad Vaquita negro y de la variedad Ojo de cabra, con 77 y 76 kg hl^{-1} , respectivamente.

En el análisis de varianza se tuvo diferencia estadística significativa a un $p= 0.05$ entre las variedades de frijol (tratamiento) y no hubo significancia estadística entre las fuentes nutricionales (Tabla 13).

Tabla 13. ANOVA del peso hectolítrico, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fcalculada	Ftablas	
					0.05	0.01
Bloque	2	2.2689	1.1344	1.046	6.94 ^{NS}	18.00 ^{NS}
Tratamiento	2	39.2467	19.6233	18.095	6.94*	18.00 ^{NS}
Error (A)	4	4.3378	1.0844			
Subtotal	8	45.8533				
Subtratamiento (TxS)	2	0.9622	0.4811	0.253	3.63 ^{NS}	6.23 ^{NS}
	4	2.5244	0.6311	0.332	3.01 ^{NS}	4.77 ^{NS}
Error (B)	16	30.4600	1.9038			
Total	26	79.8000				

En la Tabla 14 se presentan los valores obtenidos en la prueba de medias por el método de Tukey.

Tabla 14. Prueba de separación de medias, del peso hectolítrico, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Variedad	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)
Flor de durazno	79.28 ^a
Vaquita negro	77.34 ^{ab}
Ojo de cabra	76.38 ^b

La variedad Flor de durazno sobresalió con un mayor peso hectolítrico, seguido por la variedad Vaquita negro y Ojo de cabra, que si bien presentó el menor peso hectolítrico también reportó el menor número de semillas por vaina, menor altura y número de vainas por planta. Sí se toma en cuenta que el valor hectolítrico refleja que tan sana es una semilla en cuestión de impurezas como daños físicos, heridas por insecto (Picudo) o bien la presencia de enfermedades. Cabe mencionar que la variedad Ojo de cabra presentó el ataque del gorgojo común de frijol, *Acanthoscelides obtectus*, lo que pudo haber afectado en el resultado de peso hectolítrico.

- Rendimiento: esta variable no presentó diferencia estadística significativa entre las variedades y entre las fuentes nutrimentales (Tabla 15). Se observó que la variedad Vaquita negro fue la de mayor rendimiento y Flor de durazno la menor (Figura 17). Asimismo, la aplicación de lixiviados de lombricomposta impactó positivamente el rendimiento en las variedades Vaquita negro y en Flor de durazno.

Tabla 15. ANOVA del rendimiento, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fcalculada	Ftablas	
					0.05	0.01
Bloque	2	840765.362	420382.681	0.795	6.94 ^{NS}	18.00 ^{NS}
Tratamiento	2	1113325.340	556662.670	1.053	6.94 ^{NS}	18.00 ^{NS}
Error (A)	4	2115079.651	528769.913			
Subtotal	8	4069170.353				
Subtrat (TxS)	2	69095.096	34547.548	0.119	3.63 ^{NS}	6.23 ^{NS}
	4	413938.418	103484.604	0.355	3.01 ^{NS}	4.77 ^{NS}
Error (B)	16	4658286.113	291142.882			
Total	26	9210489.980				

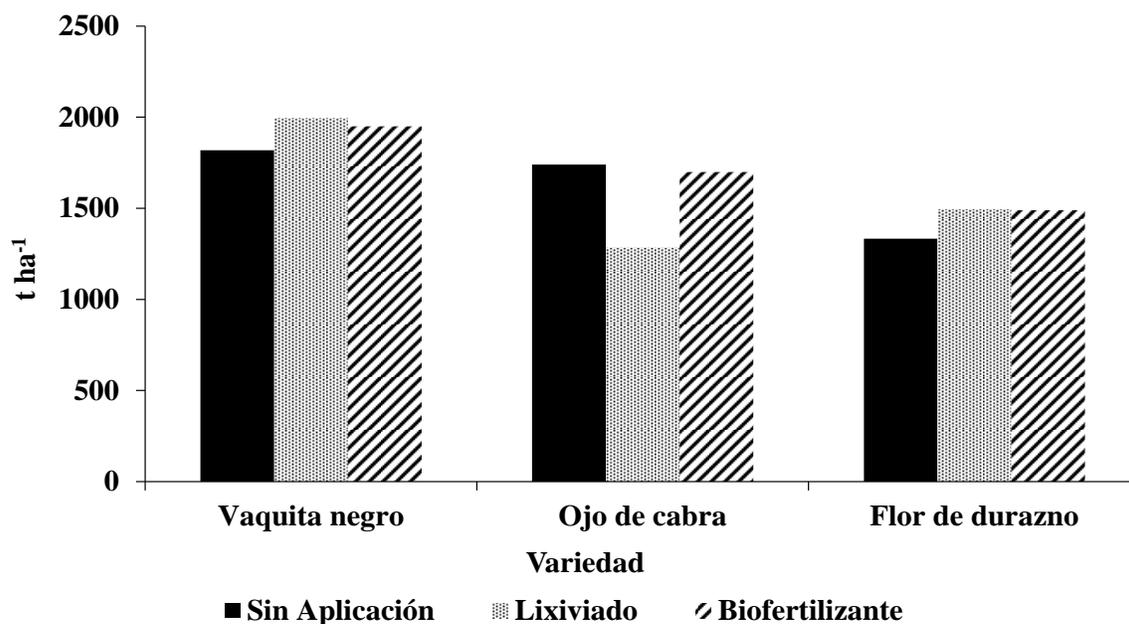


Figura 17. Rendimiento (t ha⁻¹) de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutricional. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.

La variedad Vaquita negro sobresalió con un rendimiento promedio de 1.922 t ha⁻¹, seguida de la variedad Ojo de cabra y Flor de durazno con 1.575 y 1.439 t ha⁻¹, respectivamente. En lo que se refiere a la fuente nutricional, sin importar la variedad, la aplicación de biofertilizante resultó con el mayor rendimiento, con 1.713 t ha⁻¹, seguida de los subtratamientos sin aplicación y lixiviados con 1.631 y 1.592 t ha⁻¹, respectivamente.

4.4. Características bioquímicas de las variedades

a) Contenido de proteína: El valor nutricional de esta leguminosa está determinado en gran medida por el contenido de proteína y su digestibilidad, pues este grano es una de las principales fuentes de este nutrimento para la población de escasos recursos. Las proteínas vegetales pueden clasificarse de acuerdo con su solubilidad en: solubles en agua, denominadas albúminas (ALB), solubles en soluciones salinas, globulinas (GLB), solubles en soluciones tanto ácidas como básicas, glutelinas (GLT) y, por último, las solubles en soluciones alcohólicas, prolaminas (PRL). Por lo general, la mayor proporción de proteína en granos de leguminosas se encuentra en forma de GLB, seguida por ALB y en menor cantidad como GLT y PRL y se ha encontrado que en dependencia de la proporción de cada una de las fracciones proteínicas en los granos, será la calidad nutricional de la proteína total (Mederos, 2006).

El porcentaje de proteína en el fríjol varía entre 14-30 %; para el Flor de durazno el promedio es de 26 % (Campos *et al.* (1998); Ojo de cabra con 22 % (Muñoz *et al.* 2009); Vaquita negro con 22 % (Torres, 2001).

Se determinó el contenido de albúmina y globulina, dos componentes importantes de la fracción proteínica de la semilla, en mg g^{-1} de harina, y en porcentaje.

- Albúmina: en la Figura 18 se presenta el porcentaje obtenido de cada variedad-fuente nutricional aplicada. Se observó una respuesta favorable a la aplicación de Biofertilizante.

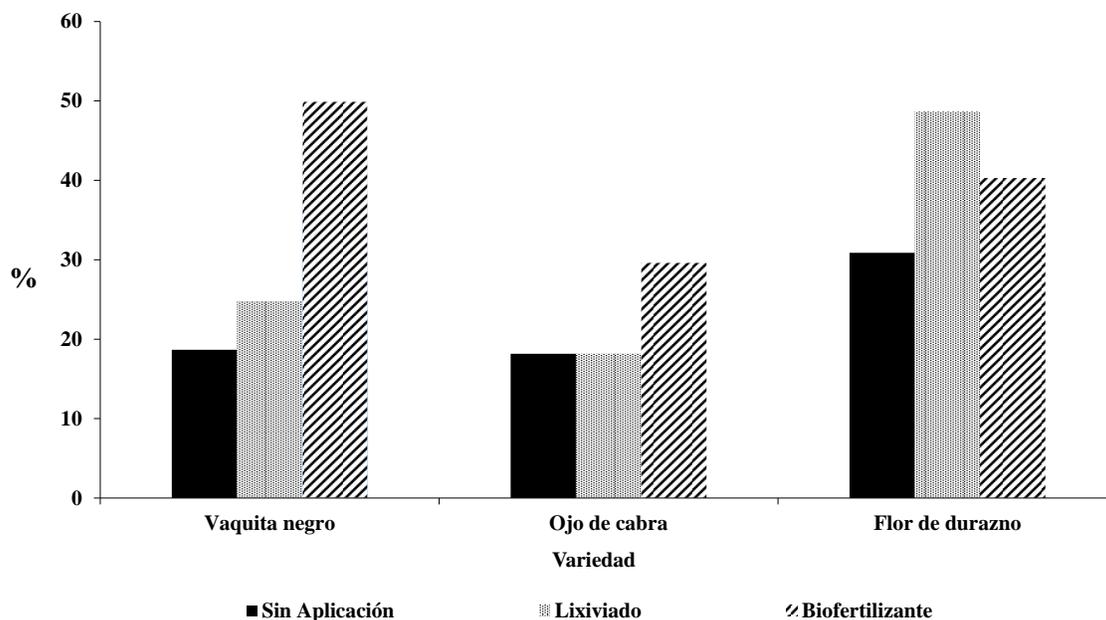


Figura 18. Porcentaje de albúmina de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Se observó que la variedad Flor de durazno tiene un mayor promedio de albúmina con 39.93 % de albúmina, seguido de la Variedad vaquita negro con 31.12 % y la variedad Ojo de cabra con 21.98 % de albúmina. En los análisis de Raya (2014) los cuales fueron aplicados sobre frijol bayo, reportaron un 56.49 % de albúmina total, siendo que los estudios de la Proteómica (Camacho, 2010) reportaron que la semilla de frijol contiene de un 12 a un 16 % de albúmina total con respecto a las demás proteínas implicadas, si bien el porcentaje de proteína depende de la expresión genética la cual controla la síntesis, la acumulación de las fracciones de proteínas, también controlan otros factores como la adquisición de nutrientes, vigor de la planta, maduración, rendimiento de la semilla, tamaño y acumulación de almidones; esto es, la acumulación de albúmina dependerá de cada una de las variedades (Torres, 2001).

En la Tabla 16 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) donde se observa que no existió diferencia estadística significativa en los contenidos de albúmina.

Tabla 16. ANOVA del contenido de albúmina (mg gr^{-1} de harina), en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fcalculada	Ftablas	
					0.05	0.01
Bloque	2	0.000202	0.000101	0.311	6.94 ^{NS}	18.00 ^{NS}
Tratamiento	2	0.001451	0.000725	2.237	6.94 ^{NS}	18.00 ^{NS}
Error (A)	4	0.001297	0.000324			
Subtotal	8	0.002949				
Subtratamiento (TxS)	2	0.001359	0.000680	1.178	3.63 ^{NS}	6.23 ^{NS}
(TxS)	4	0.001023	0.000256	0.444	3.01 ^{NS}	4.77 ^{NS}
Error (B)	16	0.009229	0.000577			
Total	26	0.014561				

• Globulina: en la Figura 19 se presentan los porcentajes de este componente; se observa un valor mayor con respecto al tratamiento sin aplicación de otras fuentes nutrimentales en las variedades Vaquita negro y Ojo de cabra. Se evidencia que la fertilidad del suelo puede ser el factor por la cual la variedad Flor de durazno generó valores similares al tratamiento sin aplicación con base a las fuentes nutrimentales.

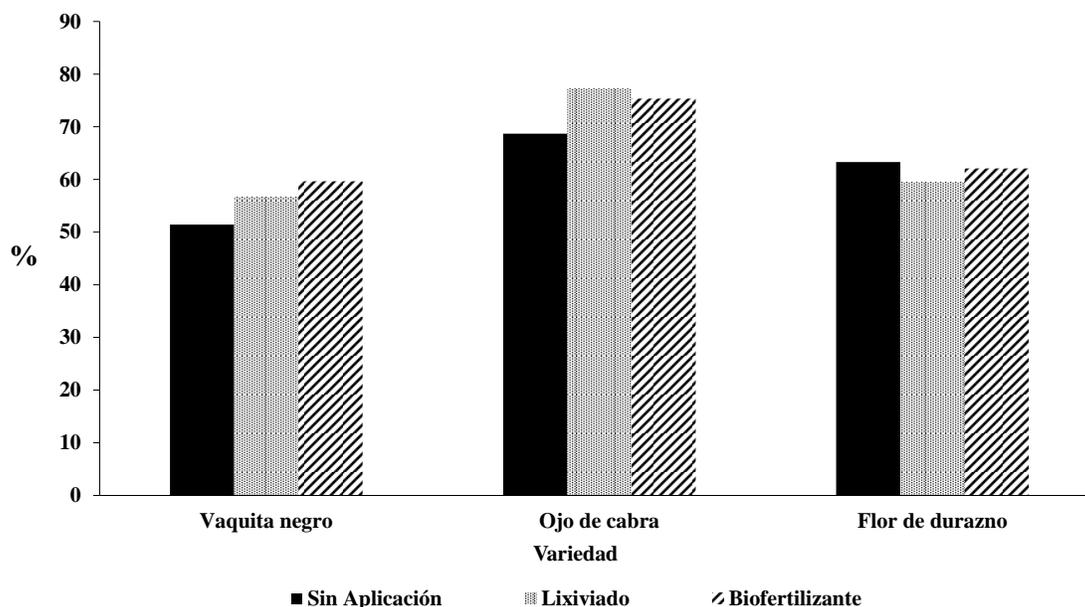


Figura 19. Porcentaje de globulina de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Se observó que la variedad Ojo de cabra sobresale con un valor de 73.78 % de Globulina, seguido de la variedad Flor de durazno y Vaquita negro con 61.66 % y 55.94 % de Globulina, respectivamente.

En la Tabla 17 se presenta el ANOVA donde se obtuvo una diferencia estadística significativa a un $p=0.05$ entre las variedades de frijol (tratamientos), y sin significancia estadística entre las fuentes nutrimentales (subtratamientos) al $p= 0.05$.

Tabla 17. ANOVA del contenido de globulina (mg gr^{-1}) de harina, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fcalculada	Ftablas	
					0.05	0.01
Bloque	2	1.00022E-05	5.00111E-06	0.060	6.94 ^{NS}	18.00 ^{NS}
Tratamiento	2	1.55798E-03	7.78991E-04	9.380	6.94*	18.00 ^{NS}
Error (A)	4	3.32196E-04	8.30489E-05			
Subtotal	8	1.90018E-03				
Subtratamiento	2	9.60556E-05	4.80278E-05	1.503	3.63 ^{NS}	6.23 ^{NS}
(TxS)	4	1.50442E-04	3.76106E-05	1.177	3.01 ^{NS}	4.77 ^{NS}
Error (B)	16	5.11389E-04	3.19618E-05			
Total	28	2.65807E-03				

La prueba de medias por el método de Tukey se presenta enseguida (Tabla 18).

Tabla 18. Prueba de separación de medias, del contenido de globulina, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Variedad	Globulina (mg g^{-1} de harina)
Ojo de cabra	0.2213 ^a
Flor de durazno	0.1850 ^b
Vaquita negro	0.1665 ^b

La fertilización tuvo un efecto sobre la solubilidad de globulina lo que sugiere un mayor aprovechamiento nutricional de los frijoles. Con relación a las fracciones de faseolina y prolamina obtenidas con la metodología descrita, no fueron detectables por el método de

Bradford. Aunque los datos reportados por diferentes autores en diferentes variedades de frijol, son muy fluctuantes, en general, la fracción de albúmina es la más abundante y la fracción de prolamina equivale aproximadamente a una décima parte de la fracción de albúmina (Carrillo *et al.*, 2015). Por otro lado, las faseolinas junto con las lectinas y argelinas, son las más abundantes en frijol cultivado (Camacho *et al.*, 2010), aunque en algunas variedades sólo se tiene el 34 % de la fracción de globulinas, pero en otras variedades de fríjol alcanzan a representar hasta el 81 % de las globulinas totales. Si bien la extracción de faseolinas por el método de Montoya *et al.*, (2008) no fue eficiente, estas proteínas ya están incluidas dentro de la fracción de globulinas, extraídas por el método de Rayas *et al.* (2014).

- Contenido de almidón: se observó una mayor respuesta con respecto al tratamiento sin aplicación en las variedades Vaquita negro y Ojo de cabra; pero en Flor de durazno hubo similitud en los datos con respecto a esa unidad sin aplicación, que se puede atribuir al nivel de fertilidad del suelo de la parcela experimental (Figura 20).

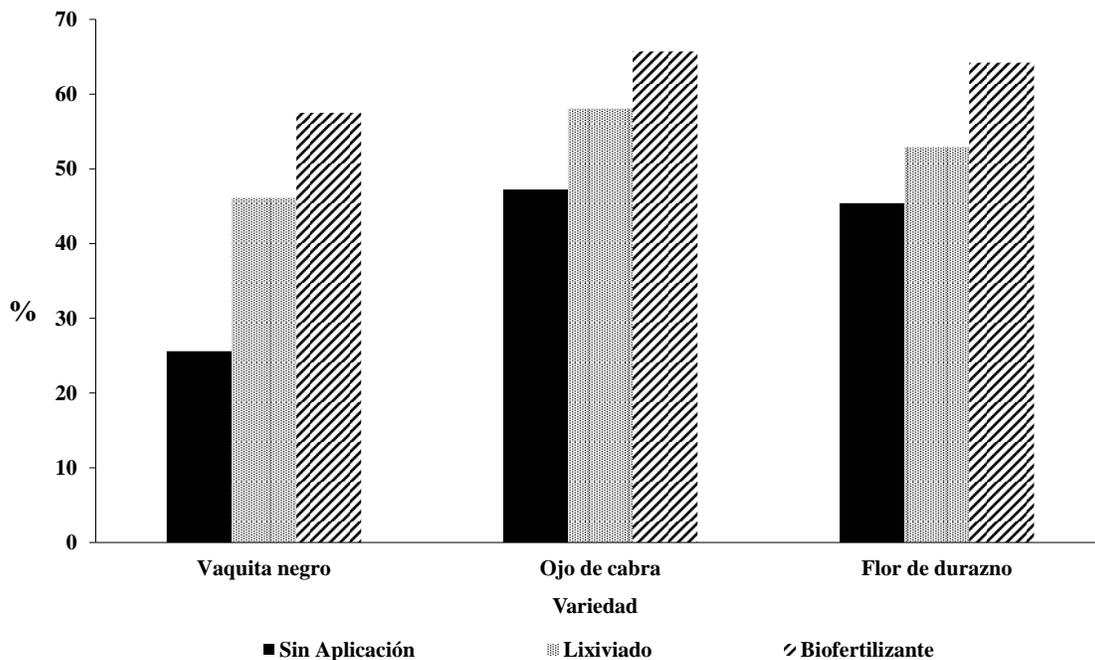


Figura 20. Porcentaje de almidón de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental. Ciclo P-V 2018. Cuautitlán Izcalli, Méx.

Se observa que la variedad Ojo de cabra sobresale en contenido de almidón con 57 %, seguido de Flor de Durazno con 54.17 % y de Vaquita negro con 43.08 %; el almidón corresponde a más de la mitad del extracto de proteína; además el contenido de almidón en los cotiledones es superior al 39 % (Torres, 2001), por lo tanto, las variedades evaluadas cumplen con este parámetro. Miranda (2013) corroboró esta analogía con valores de almidón entre el 30 al 50 % de su peso seco. En la Tabla 19 se presenta el ANOVA correspondiente.

Tabla 19. ANOVA de cantidad de almidón en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fcalculada	Ftablas	
					0.05	0.01
Bloque	2	0.039703	0.019851	7.552	6.94*	18.00 ^{NS}
Tratamiento	2	0.005266	0.002633	1.002	6.94 ^{NS}	18.00 ^{NS}
Error (A)	4	0.010514	0.002628			
Subtotal	8	0.055483				
Subtratamiento (TxS)	2	0.027336	0.013668	7.388	3.63*	6.23**
	4	0.033058	0.008265	4.467	3.01*	4.77**
Error (B)	16	0.029602	0.001850			
Total	28	0.145479				

La prueba de medias por el método de Tukey se representa en las Tablas 20 y 21 para variedades y fuentes nutrimentales, respectivamente.

Tabla 20. Prueba de separación de medias, de la cantidad de almidón, en los tratamientos en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Variedad	Almidón (mg.g ⁻¹ de harina)
Ojo de cabra	1.710 ^a
Flor de durazno	1.625 ^{ab}
Vaquita negro	1.292 ^c

Tabla 21. Prueba de separación de medias, de la cantidad de almidón, en los subtratamientos en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Variedad	Almidón (mg.g⁻¹de harina)
Biofertilizante	1.874 ^a
Lixiviado	1.571 ^b
Sin aplicación	1.182 ^c

Estas diferencias pueden atribuirse al tamaño y a la genética de cada una de las variedades. Como se observó en la Figura 15, el peso es diferente entre cada una de ellas, sin embargo, existen otros factores bioquímicos que influyen en la síntesis de esta molécula. La enzima ADP-Gluocosa Pirofosforilasa (AGPasa) la cual actúa como precursor de la síntesis de almidón, impulsa a la enzima de ramificación del almidón que regula la calidad y cantidad de éste. La ausencia de esta enzima ocasiona varios efectos como baja concentración de amilopectina y almidón, pero elevada cantidad de azúcares los cuales estarán ligados a moléculas de energía momentánea y no a moléculas de almacén (Tofiño 2006).

- **Tiempo de cocción:** en la Figura 21 se presentan los promedios obtenidos a partir del TC₅₀ que es el tiempo que tarda el 50 % de las muestras en cocerse. Se observó que existe una mejora de tiempo con respecto al tratamiento sin aplicación en las variedades Vaquita negro y Flor de durazno; en cuanto a la variedad Ojo de cabra se podría atribuir a la presencia de gorgojo en las semillas durante el almacenamiento lo cual provoca el endurecimiento del tejido.

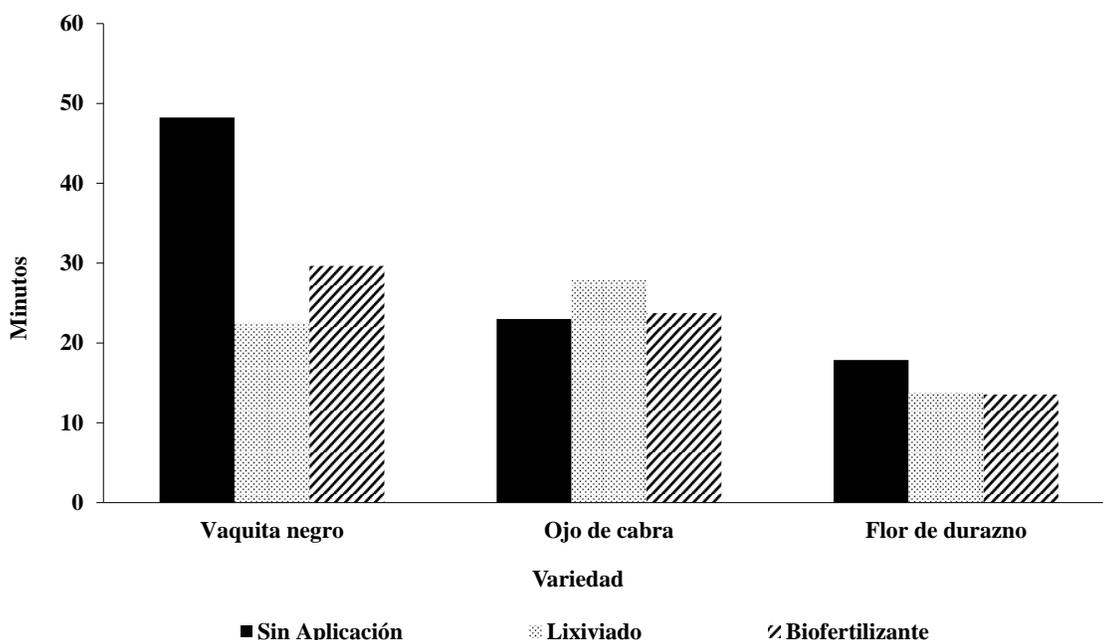


Figura 21. Tiempo de cocción promedio TC₅₀ de las tres variedades evaluadas, en relación a la fuente nutrimental.

Se observa que los mejores promedios en tiempo para alcanzar el TC₅₀ los tiene la variedad flor de durazno con 16 min, seguido de la variedad ojo de cabra con 25 min y finalmente la variedad vaquita negro con 36 min.

En la Tabla 22 se presenta el análisis de varianza donde se obtuvo una diferencia estadística significativa al $p= 0.05$ entre las variedades de frijol (tratamientos), y no hubo significancia estadística entre las fuentes nutrimentales (subtratamientos) al $p= 0.05$.

Tabla 22. ANOVA del TC₅₀ en minutos, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fcalculada	Ftablas	
					0.05	0.01
Bloque	2	241.86741	120.9337	0.9208475	6.94 ^{NS}	18.00 ^{NS}
Tratamiento	2	1853.5607	926.78037	7.0569521	6.94*	18.00 ^{NS}
Error (A)	4	525.31481	131.3287			
Subtotal	8	2620.743				
Subtrat (TxS)	2	33.191852	16.595926	0.5018065	3.63 ^{NS}	6.23 ^{NS}
Error (B)	4	161.87037	40.467593	1.2236076	3.01	4.77 ^{NS}
Total	16	529.15778	33.072361			
	28	3344.963				

Las pruebas de medias por el método de Tukey reportó lo siguiente (Tabla 21).

Tabla 23. Prueba de separación de medias, del TC₅₀ en minutos, en el cultivo de frijol, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Variedad	TC₅₀ (Minutos)
Vaquita negro	100.367 ^a
Ojo de cabra	74.600 ^b
Flor de durazno	45.133 ^c

Torres (2001) señaló que los frijoles con una humedad entre 13 y 18 % tardaron 6 meses para lograr un endurecimiento que afecta directamente los tiempos de cocción; las muestras evaluadas de frijol fueron cosechadas tres meses antes de realizar la prueba de cocción en ellas, lo cual descarta la diferencia estadística obtenida (Tabla 23).

Las reservas de proteínas juegan un papel importante, debido a que el citoplasma de las células de los cotiledones contiene granos elípticos de almidón acoplados en una matriz, que consiste en cuerpos proteicos los cuales poseen inclusiones cristalinas y donde las proteínas se encuentran localizadas.

De acuerdo a los niveles de almidón (Figura 20), se visualiza que las variedades con mayor cantidad de almidones presentaron el menor tiempo de cocción.

Con lo anterior, esta tesis deja evidencia sobre el impacto positivo del manejo orgánico de la fertilización en los cultivos, que permite reducir el uso de fertilizantes inorgánicos. Las condiciones ambientales durante el ciclo P-V 2018 favorecieron el desarrollo de las variedades evaluadas. Asimismo, los resultados de los componentes bioquímicos estuvieron ligados al tipo de variedad, al tamaño y el peso del grano; el contenido de almidón influyó en los tiempos de cocción, esto es, a mayor cantidad disminuye el tiempo de cocción.

El factor bioquímico fue impactado por el suministro de la fertilización orgánica puesto que hubo incremento en las variables evaluadas con respecto al tratamiento sin aplicación. En general, existieron beneficios que se traducen en mejores cualidades nutricionales y productivas de las variedades de frijol aquí evaluadas. Se sugiere continuar con la evaluación de estos aspectos en el suelo y su interacción con el cultivo de frijol.

V. CONCLUSIONES

1. Se cumplieron los objetivos de este trabajo, se acepta la hipótesis de trabajo, a pesar de no existir diferencia estadística significativa, si se observó una respuesta diferencial de las variedades a las fuentes de nutrición orgánica empleadas.
2. La incorporación de las fuentes de fertilización orgánica en el cultivo de frijol en condiciones de temporal en Cuautitlán Izcalli, México, presenta una alternativa para mejorar la productividad del cultivo y del suelo.
3. El comportamiento fenológico de cada variedad no estuvo influenciado por la aplicación de las fuentes nutrimentales y fue solamente el correspondiente al tipo de crecimiento de ellas.
4. Los resultados obtenidos de los componentes de rendimiento evaluados, estuvieron relacionados con las características de cada una de las variedades, y existió poca influencia por la aplicación de las fuentes nutrimentales las cuales contribuyeron en el incremento del peso de la semilla y en su valor volumétrico, en las tres variedades se observó esta tendencia con respecto al tratamiento sin aplicación.
5. La aplicación de Biofertilizante generó un 8 % más de rendimiento con respecto a la aplicación de lixiviado de lombricomposta.
6. Las variaciones estadísticas registradas en la cuantificación de factores químicos están más relacionadas por las características de cada variedad las cuales varían en la cantidad de proteínas totales y solubles; la cantidad de almidones registrados se atribuye al tamaño de la semilla y a la retención de moléculas de almacén.
7. La influencia de las fuentes orgánicas empleadas en la generación de almidones fue estadísticamente significativo con respecto al tratamiento sin aplicación, puesto que aumentó el almacenamiento de almidón en la semilla.
8. La aplicación de fertilizantes orgánicos no generó un incremento significativo en los componentes de rendimiento; pero su importancia estriba también en el incremento del porcentaje de materia orgánica y de la fertilidad del suelo, lo cual permite disminuir la aplicación de fertilizantes inorgánicos, y disminuir la contaminación del medio ambiente en general.

VI. LITERATURA CITADA

1. Acuña, O. s/f. El uso de Biofertilizantes en la agricultura. En: <http://cep.unep.org/repcar/capacitacion-y-concienciacion/cenat/biofertilizantes.pdf>. Fecha de consulta 4 de Agosto de 2018.
2. Aguilar, B.G., Peña, V.C., García, N.J., Ramírez, V.P., Benedicto, V.S., Molina, G.D. 2012. Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. *Agrociencia* 46(6):37-50.
3. ANFFE (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes). 2008. La importancia de los fertilizantes en la agricultura actual productiva y sostenible. En: <http://www.anffe.com/noticias/2008/2008-06-02%20La%20importancia%20de%20los%20fertilizantes%20en%20una%20agricultura%20actual%20productiva%20y%20sostenible/LA%20IMPORTANCIA%20DE%20LOS%20FERTILIZANTES.pdf>. Fecha de consulta 29 de Julio de 2018.
4. Artal (Artal Agronutrientes). 2013. Información técnica. Microelementos. Resumen del informe técnico. En: https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=25&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwitr5GO_8ncAhVJXK0KHc8oC0cQFjAYegQIBxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.artal.net%2Fwp-content%2Fuploads%2FPresentaci%25C3%25B3n-Informe-Microelementos.pdf&usq=AOvVaw0EB_o9VoYVRzbF-nE9N5xf. Fecha de consulta 30 de Julio de 2018.
5. Brady, N.C., Weil, R.R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. 12th Edition, Prentice Hall Publishers, London. 1-9, 453-536, 727, 739-740 pp.
6. Brown, C.H. 2006 Prehistoric Chronology of the Common Bean and the new world: The Linguistic Evidence. *American Anthropologist*. 108(3): 507–516.
7. Camacho, E.M.K., Peinado, G.L.I., López, V.J.A., Salinas, P.C.G., Moreno, H.C. 2010. Caracterización proteómica de granos de frijol azufrado (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivados en el estado de Sinaloa. *Ra Ximhai*. 6(1): 23-36.
8. Campos, E.A., Osoria, R.L., Espinosa, C.A. 1998. Flor de durazno-90 variedad de frijol de temporal para valles altos de la mesa central. Folleto Técnico No. 13. Campo Experimental Valle de México. INIFAP. México. 16 pp.
9. Carrillo, M.L., Barrera, A.J., Reyes, M.A., Carranza, A.C. 2015. Fraccionamiento y cuantificación de proteínas de cinco variedades de frijol. Memorias del XVI Congreso nacional de biotecnología y bioingeniería. En: <https://smbb.mx/congresos%20smbb/guadalajara15/PDF/XVI/trabajos/.../IIIC-40.pdf>. Fecha de consulta 28 de febrero de 2019.
10. ECURED. 2018. Anexo: Fertilizante (Fertilizantes inorgánicos o químicos) En: [https://www.ecured.cu/Anexo:Fertilizante_\(Fertilizantes_inorg%C3%A1nicos_o_qu%C3%ADMICOS\)](https://www.ecured.cu/Anexo:Fertilizante_(Fertilizantes_inorg%C3%A1nicos_o_qu%C3%ADMICOS)). Fecha de consulta 30 de Julio de 2018.

11. Escobar, N., Mora, J., Romero, N. 2013. Respuesta agronómica de *Zea mays L.* y *Phaseolus vulgaris L.* A la fertilización con compost. En: https://www.researchgate.net/publication/258219491_RESPUESTA_AGRONOMICA_DE_Zea_mays_L_y_Phaseolus_vulgaris_L_A_LA_FERTILIZACION_CON_COMPOST. Fecha de consulta 05 de Febrero de 2019.
12. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2003. ¿Es la certificación algo para mí? Guía práctica sobre porque y como certificar productos agrícolas para la exportación. ¿Qué es la agricultura orgánica? En: <http://www.fao.org/docrep/007/ad818s/ad818s00.htm#Contents>. Fecha de consulta 08 de Octubre de 2018.
13. FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2016. Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. En: https://www.gob.mx/cms/uploads/.../Panorama_Agroalimentario_Frijol_2016. Fecha de consulta 08 de Diciembre de 2018.
14. Gómez, A.R., Lázaro J.G., León, N.J.A. 2008. Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) y rábano (*Rhabanus sativus L.*) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco. Universidad y Ciencia. 24(1): 11-20.
15. Gómez, G.R. s/f. Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA). Fertilizantes orgánicos. En: <https://www.elhuertourbano.net/abonos/fertilizantes-organicos/>. Fecha de consulta 1 de Agosto de 2018.
16. Grupo Hydro Environment. Hidroponia.Mx. 2016. Beneficios de utilizar lixiviados de lombriz. En: <http://hidroponia.mx/conoce-los-beneficios-de-utilizar-lixiviado-de-lombriz/>. Fecha de consulta 4 de agosto de 2018.
17. Hernández, V.G., Hernández. G.O., Guridi, I.F., Arbelo, F.N. 2012. Influencia de la siembra directa y las aplicaciones foliares de extracto líquido de Vermicompost en el crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) cv. cc-25-9. Ciencias Técnicas Agropecuarias. 21(2): 86-90.
18. Infoagro. 2017. Microelementos en el sistema suelo-planta. En: <https://infoagro.com/mexico/microelementos-en-el-sistema-suelo-planta/>. Fecha de consulta 30 de Julio de 2018
19. Jacome V., Andres R., Peñarete M., Waldemar, D.T., Constanza, M. 2013. Fertilización orgánica e inorgánica en fríjol (*Phaseolus vulgaris L.*) en el suelo inceptisol con propiedades Ándicas. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 12: 59-67.
20. Lara, F.M. 2015. El cultivo del frijol en México. RDU. Revista digital UNAM. 16(2).
21. Martínez, G.L., Reyes, G.Y., Falcón, R.A., Nápoles, G.M.C., Núñez, V.M.C. 2016. Efecto de productos bioactivos en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) biofertilizadas. Cultivos Tropicales 17(3): 165-171.
22. Mederos, Y. 2006. Indicadores de la calidad en el grano de fríjol (*Phaseolus vulgaris L.*). Cultivos Tropicales, 27(3): 55-62.

23. Mejía, J.K. 2017. La fertilización mineral, orgánica y biológica sobre la producción de frijol común en Santa Rosa de Copán. Dirección de Investigación Científica y Posgrado, UNAH. En: <https://www.lamjol.info/index.php/RCT/article/view/4280>. Fecha de consulta el 07 de enero de 2019.
24. Michael, A. 2014, Abonos orgánicos y su preparación. Cultura orgánica. 22-23pp. En: <http://www.culturaorganica.com/html/viewer.php?ID=43&IDPAG=24>. Fecha de consulta 02 de Octubre de 2018.
25. Miranda, V.P.P., Marrugo, L.Y.A., Montero, C.P.M. 2013. Caracterización funcional del almidón de frijol zaragoza (*Phaseolus lunatus* L.) y cuantificación de su almidón resistente. TecnoLógicas 30: 17-32.
26. Montoya, C.A., Leterme, P., Victoria, F.N., Toro, O., Souffrant, W.B., Beebe, S.E., Lailles, J.P. 2008. Susceptibility of phaseolin to in vitro proteolysis is highly variable across common bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry 56:2183-2191.
27. Morales, S.M.E., Peña, V.C.B., García, E.A., Aguilar, B.G., Koashi, S.J. 2017. Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. Agrociencia. 51(1): 43-62.
28. Muñoz, V.E.E., Rubio, H.D., Bernal, L.I., Garza, G.R., Jacinto, H.C. 2009. Caracterización de genotipos nativos de frijol del estado de Hidalgo, con base a calidad del grano. Agricultura Técnica en México. 35(4): 426-435.
29. Paredes, L.O., Schevenin, M.L., Hernández, L.D., Carabez, T.A. 1989. Amaranth starch-isolation and partial characterization. Starch/Starke 41:205-207.
30. Pupiales, C.H.A., Pupiales, C.J.A., Silva, P.A. 2009. Respuesta de frijol lima (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación de abono orgánico a base de residuos sólidos de fique, tambo, departamento de Nariño, Colombia. Revista de Ciencias Agrícolas. 26(1): 2-16.
31. Pupiro L.A. Vilches, E., Núñez, E., Gómez, J., Báez, M., León, P. 2004. Efecto del humus de lombriz en el rendimiento y las principales plagas insectiles en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cultivos Tropicales, 25(1): 89-95.
32. Raya, P.J.C., Gutiérrez, B.G.M., Ramírez, P.J.G., Covarrubias, P.J., Aguirre, M.C.L. 2014. Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. AGRONOMÍA MESOAMERICANA 25(1): 01-11.
33. Rosabal, A.L., Martínez, G., Reyes, G.Y., Núñez, V.M. 2013. Resultados preliminares del efecto de la aplicación de Biobras-16 en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cultivos tropicales, 34(3): 71-75.
34. SADER. 2019. Primer programa estratégico para rescatar al campo, con los Precios de Garantía para frijol. En: <https://www.gob.mx/sader/zacatecas/articulos/pone-en-marcha-sader-el-primer-programa-estrategico-para-rescatar-al-campo-con-los-precios-de-garantia-para-frijol-188170?idiom=es>. Fecha de consulta 19 de marzo de 2019.

35. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Frijol Mexicano. Gobierno del Estado de Hidalgo. México. 63 pp.
36. SAGARPA. 2017a. Aumenta 14 por ciento la producción de frijol en México. En: <https://www.gob.mx/sagarpa/prensa/aumenta-14-por-ciento-produccion-de-frijol-en-mexico>. Fecha de consulta el 25 de agosto de 2018.
37. Sánchez, D.S., Vidal, B.J. 2015. Vermicomposta y sustentabilidad: respuesta del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de temporal a la aplicación de enmienda orgánica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1: 441-444.
38. Sangerman, J.D.M., Acosta, G.J.A., Schwenstesius, R.R., Damián, H.M.A., Larqué, S.B.S. 2010. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1(3): 363-380.
39. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca). 2016. Frijol. Fuente de energía y delicioso alimento básico en la comida mexicana. En: <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-frijol>. Fecha de consulta 29 de julio de 2018.
40. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca). 2018. Atlas Agroalimentario 2018. SAGARPA. México. 222 p.
41. Tofiño, A., Fregene, M., Ceballos, H., Cabal, D. 2006. Regulación de la biosíntesis del almidón en plantas terrestres: perspectivas de modificación. Acta Agronómica. 55(1): 1-13.
42. Torres, C.T.E. 2001. Estudio químico y anatómico de dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Cambios poscosecha. Tesis de Doctorado en Ciencias Universidad Autónoma de Nuevo León. 166 pp.
43. Villablanca, F.A., Villavicencio, P.A. 2017. Los fertilizantes en la agricultura. En: <http://agricultores.com/los-fertilizantes-en-la-agricultura/>. Fecha de consulta 30 de Julio de 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica del biofertilizante utilizado en esta investigación.

MICORRIZAFER	AZOFER
<p>Es un biofertilizante cuya acción se basa en la actividad de los hongos micorrízicos arbusculares de la especie <i>Glomus intraradices</i> (ahora llamados <i>Rizophagus irregularis</i>).</p>	<p>Es un biofertilizante cuya acción se basa en la actividad de la bacteria <i>Azospirillum brasilense</i>. Este tipo de bacterias viven de forma natural en el suelo cercano a las raíces de las plantas, desde donde establecen una simbiosis con las raíces.</p>
<p>COMPOSICIÓN: 100,000 propágulos de hongos micorrízicos arbusculares de los cuales por lo menos 30,000 son esporas.</p>	<p>COMPOSICIÓN: 500 millones de bacterias de la especie <i>Azospirillum brasilense</i> por cada gramo de Azofer.</p>
<p>PRESENTACIÓN: Un kilo</p>	<p>PRESENTACIÓN: Una bolsa con 380 gramos.</p>
<p>La aplicación se puede realizar con los siguientes métodos:</p> <ul style="list-style-type: none">- Para inoculación en semilla- Para cultivos establecidos- Para producción de plántulas.	
<p>Los detalles de aplicación se incluyen en la ficha de cada cultivo.</p> <p>Junto con los hongos micorrízicos se recomienda usar también la bacteria <i>Azospirillum brasilense</i> disponible en los productos Azofer y Maxfer. Esta asociación genera un efecto sinérgico en el que la planta potencia al máximo su crecimiento y por lo tanto el rendimiento de los cultivos.</p>	

Anexo 2. Trabajo en campo con el cultivo de frijol, Ciclo P-V 2018.



- a) Siembra
- b) Deshierbe
- c) Unidades experimentales
- d) Aplicación de fuentes nutrimentales vía foliar
- e) Insumos aplicados
- f) Cosecha

Anexo 3. Emergencia, floración, y etapa vegetativa de las variedades de frijol evaluados.



a) Fase de emergencia

b) Fase de floración

c) Variedad Vaquita negro en etapa vegetativa

d) Variedad Ojo de cabra en etapa vegetativa

e) Variedad Flor de durazno en etapa vegetativa

Anexo 4. Trabajo en laboratorio para evaluar los componentes de rendimiento de fríjol.



- a) Secado de semilla
- b) Limpieza de semilla
- c) Peso de 100 semillas, variedad Vaquita negro
- d) Peso hectolítrico y porcentaje de humedad en semilla, variedad Ojo de cabra
- e) Borner para separación de semilla
- f) Semilla de las variedades evaluadas

Anexo 5. Trabajo en laboratorio de análisis bioquímico de la semilla de fríjol.



- a) Remojado de semilla
- b) Morteado de semilla
- c) Proteína degradada
- d) Proteína diluida más reactivo Bradford
- e) Extracción de almidón de semilla de fríjol
- f) Prueba de cocción de semilla de fríjol