

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA CAMPUS SUR

Facultad de Ingeniería



“EFECTO DEL SILICIO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL
CULTIVO DE FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris L.*) EN
SIQUINALÁ, ESCUINTLA”

Trabajo de graduación en modalidad de Trabajo Profesional
presentado por Mariana Dardón Solórzano para optar al grado
académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología Agrícola y
Pecuaria.

Guatemala

2019

“EFECTO DEL SILICIO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL
CULTIVO DE FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris L.*) EN
SIQUINALÁ, ESCUINTLA”

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA CAMPUS SUR

Facultad de Ingeniería



“EFECTO DEL SILICIO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.) EN SIQUINALÁ, ESCUINTLA”

Trabajo de graduación en modalidad de Trabajo Profesional
presentado por Mariana Dardón Solórzano para optar al grado
académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología Agrícola y
Pecuaria.

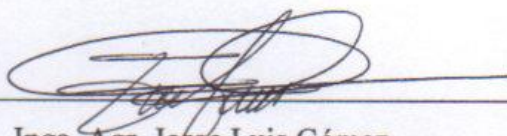
Guatemala


2019

Vo.Bo. :

(f) 
Ing. Agr. Jorge Luis Gómez
Asesor

Tribunal Examinador:

(f) 
Inga. Agr. Jorge Luis Gómez
Asesor

(f) 
Ing. Agr. Susana Abigail García
Directora de Ingeniería Agrícola y Pecuaria

(f) 
Ing. Agr. Claudia Melendrez García

Fecha de aprobación: Guatemala, 07 de Junio del 2019

ÍNDICE

Página

| | |
|--|-----|
| Lista de tablas | iii |
| Lista de gráficas | iv |
| Lista de figuras..... | v |
| Resúmen..... | vi |
| I. Introducción..... | 1 |
| II. Objetivos | 2 |
| III. Justificación..... | 3 |
| IV. Marco teórico..... | 4 |
| A. El silicio | 4 |
| B. Ventajas de incluir al silicio en la nutrición vegetal..... | 4 |
| C. Aspectos del silicio en la nutrición vegetal | 5 |
| D. Efectos de la fertilización al suelo con silicio..... | 5 |
| E. El silicio en la prevención y control de plagas y enfermedades..... | 6 |
| F. Generalidades del cultivo de frijol..... | 7 |
| G. Importancia del cultivo de frijol | 8 |
| H. Variedad Icta ligero | 8 |
| I. Fertilización | 9 |
| J. Plagas | 9 |
| V. Metodología..... | 11 |
| A. Ubicación..... | 11 |
| K. Diseño experimental..... | 12 |
| L. Tratamientos | 12 |
| M. Manejo del experimento | 13 |
| N. Recolección de datos..... | 14 |
| O. Análisis estadístico..... | 15 |
| VI. Resultados | 16 |
| A. Rendimiento | 16 |
| B. Características morfológicas | 16 |

| | | |
|-------|------------------------------------|----|
| VII. | Análisis de resultados..... | 18 |
| A. | Rendimientos | 18 |
| B. | Características morfológicas | 20 |
| VIII. | Conclusiones..... | 22 |
| IX. | Recomendaciones..... | 23 |
| X. | Bibliografía | 24 |
| XI. | Anexos | 25 |
| XII. | Glosario..... | 26 |

LISTA DE TABLAS

| | Página |
|---|--------|
| Tabla 1 Características agrónomicas de variedades de frijol | 9 |
| Tabla 2 Descripción de los tratamientos | 13 |
| Tabla 3 Rendimientos | 16 |
| Tabla 4 Días a la floración..... | 16 |
| Tabla 5 Número de vainas por planta | 17 |
| Tabla 6 Cantidad de granos por vaina | 17 |
| Tabla 7 Análisis de varianza | 19 |
| Tabla 8 Separación de medias..... | 19 |
| Tabla 9 Boleta de recolección de datos | 25 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | Página |
|---|--------|
| Gráfica 1 Rendimientos..... | 18 |
| Gráfica 2 Días a la floración..... | 20 |
| Gráfica 3 Número de vainas por planta..... | 21 |
| Gráfica 4 Cantidad de granos por vaina..... | 21 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1 Penetración y desarrollo de hifas de hongos | 7 |
| Ilustración 2 Ubicación del experimento..... | 11 |
| Ilustración 3 Distribución de los bloques | 12 |
| Ilustración 4 Tratamiento con silicio | 25 |
| Ilustración 5 Tratamiento sin silicio | 25 |
| Ilustración 6 Plantación en producción..... | 26 |
| Ilustración 7 Plantación a 3 semanas de edad..... | 26 |

RESUMEN

El estudio tuvo como propósito evaluar los efectos que el silicio genera en el cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) variedad Icta Ligero, cultivado a campo abierto ubicada en la Aldea el Capulín del municipio de Siquinalá, Escuintla en las siguientes coordenadas 14.314163,-90.910690.

Los beneficios del silicio al incluirse en programas de fertilización son: mayor crecimiento vegetal, plantas más fortalecidas y compactas, hojas más fuertes, mayor fotosíntesis, mayor tolerancia a condiciones de baja luminosidad, y tolerancia a estrés hídrico y térmico. Otros efectos benéficos comprobados del Silicio son la reducción de pérdida de agua cuticular por la acumulación del mismo en la epidermis (Halvin 2005).

El ensayo se formó con cuatro tratamientos, de los cuales tres recibieron dosis de silicio aplicado al pie de la planta (30 g, 20g y 40 g por planta) y el faltante fue el testigo, sin tratamiento alguno, es decir, sin incorporación alguna al suelo del material evaluado. Los rendimientos obtenidos en cada tratamiento se sometieron a evaluación comparativa para comprobar mediante análisis estadístico la existencia de alguna diferencia significativa que manifestara los efectos del silicio.

El tratamiento con mejores resultados fue el número dos, con una dosis de 30 g de silicio por postura, beneficiando todas las variables evaluadas: características agronómicas y el rendimiento del cultivo.

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, el frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) es el cultivo de subsistencia que se utiliza para consumo humano y para algunos agricultores representa su principal fuente de ingreso económico, por lo cual se siembra en altas cantidades. En años atrás se han presentado fenómenos de sequía (efecto de niño) que repercuten gravemente en el rendimiento de este grano básico, otros factores que contribuyen a que el cultivo no exprese totalmente su potencial son: mala nutrición y no existe un manejo integrado de plagas. Al ser afectada la producción de frijol, las personas dependientes de este cultivo se ven muy dañadas ya que no pueden sustentar y llevar el alimento a sus familias.

El silicio, aunque no es considerado un elemento esencial en las plantas (Aguirre *et al.*, 2007), se ha manifestado respuesta negativa sin su aplicación en la fase de desarrollo de las plantas.

Estudios han demostrado el aporte de ciertos beneficios en cultivos especialmente cuando están expuestos a condiciones de estrés biótico y abiótico, mejorando la tolerancia a sequías y retrasos en la defoliación prematura, mejorando la capacidad de resistencia a la toxicidad por micronutrientes y metales pesados, en la resistencia a ataques de plagas y enfermedades y paralelamente utilizado como complemento nutricional y su respuesta en el rendimiento (Esptein y Bloom, 2005).

Tomando en cuenta lo anterior, se ha evaluado la aplicación de silicio en el cultivo de frijol variedad Icta Ligero, como fertilizante y de esta forma ofrecer la alternativa para mitigar respuestas de cosechas disminuidas o fallidas, ante los factores edafoclimáticos y de plagas mencionados.

II. OBJETIVOS

A. GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación de silicio en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) variedad Icta Ligero, en Siquinalá, Escuintla.

B. ESPECÍFICOS

1. Determinar el efecto del silicio sobre las características agronómicas en el desarrollo vegetal del cultivo.
2. Determinar la dosis de silicio que aumente el rendimiento (qq/mz) del cultivo de frijol.

III. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años las personas que se dedican a la agricultura de subsistencia han reportado una disminución del 6.2% de los rendimientos del cultivo de frijol por las enfermedades y los cambios climáticos (ICTA, El maíz cultivado en áreas rurales, 2014). Con base en esta problemática, se toma la iniciativa de evaluar los efectos que genera el silicio en la variedad de frijol Icta Ligero, con el propósito de determinar sus efectos sobre el rendimiento del cultivo y generar información confiable para su continuidad en paquetes tecnológicos, independiente que variedad se utilice.

Antecedentes de investigaciones con el elemento silicio, dictaminan un beneficio productivo directo, expresado en la longitud y llenado de vainas; garantizando de esa forma un alza en los índices productivos que ayuden a aminorar los problemas alimenticios de los que sufre la costa sur guatemalteca (Beaton, 2009).

El cultivo del frijol es de vital importancia para los agricultores guatemaltecos ya que es uno de los granos básicos de la dieta principal. Además varios productores sobreviven de las producciones de este cultivo y ayuda a mejorar la economía de esas familias.

Finalmente, los resultados obtenidos permitirán replicar este modelo en las comunidades cercanas, para mejorar los rendimientos del cultivo de frijol por metro cuadrado de superficie.

IV. MARCO TEÓRICO

A. EL SILICIO

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la litósfera. Presente en casi todos los minerales en forma no biodisponible. Los suelos ácidos suelen contener concentraciones bajas de Si en la solución del suelo. Este elemento no existe de forma natural en estado libre, generalmente se encuentra en forma de dióxido de silicio y en silicatos complejos.

Los minerales que contienen silicio constituyen cerca del 40 % de los minerales comunes, incluyendo más del 90 % que forman rocas volcánicas. Tiene características compartidas con el carbono, tales como: estar en la misma familia, no ser metales, constituir compuestos parecidos en estructura a las enzimas (zeolitas). El silicio es absorbido por las plantas como ácido monosilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$, es transportado por el Xilema y su distribución dentro de la planta depende de la velocidad de transpiración de sus diferentes partes. Se han encontrado que las aplicaciones de silicio aumentan los rendimientos de arroz desde el 1 hasta el 30 %, en caña del 7 al 45 %. Su adición se encuentra en el límite entre la nutrición, la bioestimulación y la protección vegetal; en contraposición de la creencia general de que el silicio no es un elemento esencial (Beaton, 2009).

B. VENTAJAS DE INCLUIR AL SILICIO EN LA NUTRICIÓN VEGETAL

Muchos autores no consideran al Silicio un elemento esencial para las plantas, sin embargo, se ha demostrado que sí es un elemento benéfico para los cultivos, al proveer una mayor resistencia y protección contra diversos factores bióticos y abióticos. Las plantas que mayormente acumulan silicio son las monocotiledóneas y en dicotiledóneas se reporta nula absorción con excepción de las familias *Urticaceae* y *Cucurbitaceae*.

Conforme a trabajos realizados, los beneficios del silicio al incluirse en programas de fertilización son: mayor crecimiento vegetal, plantas más fortalecidas y compactas, hojas más fuertes, mayor fotosíntesis, mayor tolerancia a condiciones de baja luminosidad, y tolerancia a estrés hídrico y térmico. Otros efectos benéficos comprobados del silicio son la reducción de pérdida de agua cuticular por la acumulación de silicio en la epidermis, en pruebas realizadas sobre cultivos de arroz y trigo. Otros autores reportan que con un adecuado suministro de silicio en cereales se obtiene mayor resistencia al acame. Finalmente se considera que el silicio aumenta la tolerancia de las plantas a toxicidades por manganeso (Mn). Marschner sugiere que el silicio

genera una distribución más uniforme del Mn dentro de la hoja, de los vasos a los tejidos que los rodean (síntomas característicos de toxicidad por Mn son: acumulación de manchas pardas rodeadas por zonas cloróticas y necróticas) (Beaton, 2009).

C. ASPECTOS DEL SILICIO EN LA NUTRICIÓN VEGETAL

El silicio en el tejido vegetal de la mayoría de las plantas está presente en cantidades similares a los niveles de Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Fósforo (P). En determinadas especies vegetales aparece en porcentajes mayores que el Nitrógeno (N) o el Potasio (K). Por tanto, es esencial que la planta lo tome del medio de cultivo (Sephur, 2009).

Desde el punto de vista de la nutrición vegetal, su absorción no suele presentar problemas en sistemas extensivos ya que es el segundo elemento en abundancia de la corteza terrestre, donde aparece en forma de Sílice (SiO_2) y como Silicatos diversos. No obstante, las formas de Silicio en el suelo no son fácilmente absorbibles por las plantas y sólo una pequeña proporción es absorbida como Ácido Monosilícico (H_4SiO_2) (Sephur, 2009).

En sistemas de cultivo intensivo donde se realizan grandes extracciones de Silicio sin renovación, o en cultivos hidropónicos sin suelo donde su presencia es escasa o nula, es fundamental el aporte de fertilizantes o productos con contenido de Silicio en su formulación (Sephur, 2009).

El Ácido Monosilícico puede actuar como regulador de la absorción del nitrato por la planta, por tanto, cuando un suelo es bajo en nitratos, la aplicación de Silicio aumenta la concentración del nitrato en la planta. Por el contrario, cuando un suelo contiene nitratos en abundancia, la nutrición óptima en silicio da lugar a reducir la acumulación del nitrato en las frutas. Además, la fertilización con silicio puede aumentar la absorción de fósforo en suelos arenosos ya que no sólo fijan el fósforo, sino que lo desbloquea y lo pone en formas disponibles para poder ser asimilado por las plantas (Sephur, 2009).

D. EFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN AL SUELO CON SILICIO

Sobre el silicio se ha documentado que aplicaciones de silicato de sodio en dosis anuales de 450 kg /ha aumentan la disponibilidad del fósforo en suelos altamente meteorizados, también se han encontrado efectos muy similares en aplicaciones de CaSiO_3 . La explicación más aceptada es que el H_2PO_4^- absorbido por los óxidos de Fe y Al es desplazado por el silicato adicionado. Este fenómeno se da de manera rápida en condiciones ácidas o neutras.

En suelos arenosos se pueden encontrar concentraciones de silicio de hasta 40 %, en contraste de los suelos ácidos que contienen menos de 9 % de Si. Concentraciones de 0.9 – 2 ppm en suelo son considerados insuficientes para el establecimiento de caña de azúcar. Las concentraciones medias de la mayoría de los suelos respecto al silicio son de 3 a 37 ppm. En el caso del cultivo de arroz se considera un nivel óptimo una concentración mayor a 100 ppm. La concentración del silicio en suelo es controlada primordialmente por el pH del que dependen las reacciones de absorción. El silicio es absorbido por superficies de óxidos de Fe y Al, y también es susceptible de lixiviarse.

Las fuentes más comunes de silicio para enmiendas a suelos son:

- ✓ Escorias de silicato de calcio ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) que contienen de 18-21 % Si
- ✓ Metasilicato de calcio (CaSiO_3) 31 % Si
- ✓ Metasilicato de sodio (NaSiO_3) 23 % Si

Finalmente se ha observado que la presencia de cantidades altas de silicio en el sistema suelo - planta aumenta la proporción de espacios llenos de aire en los brotes de raíces, permitiendo la llegada de más O_2 a las raíces, aumentando el poder oxidante que reduce los niveles tóxicos de Fe y Mn en la zona de la rizósfera, volviéndolos inofensivos (Mengel, 1987).

E. EL SILICIO EN LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Muchas de las investigaciones realizadas señalan el papel activo que desempeña el Silicio en las plantas y sugiere que su presencia podría ser una señal para inducir reacciones de defensa frente a enfermedades de plantas (Sephur, 2009).

Otras investigaciones indican el papel que juega el silicio en la rigidez estructural de las paredes celulares al reforzar el tejido epidérmico y formar una doble capa cuticular protectora en las células epidérmicas de hojas y raíces, que actúa como barrera contra la invasión del estilete en parásitos, y en patógenos dificulta la penetración del micelio en el proceso de instalación de enfermedades criptogámicas.

Además, en el caso del arroz, se ha comprobado que forma complejos con compuestos orgánicos en las paredes de las células epidérmicas que aumentan la resistencia a la degradación de las enzimas liberadas por hongos.

En gramíneas y dicotiledóneas, la mayor parte del Silicio permanece en el apoplasto de las hojas y es depositado tras la evaporación del agua principalmente en las paredes externas de las células epidérmicas de ambas caras de las hojas. Este proceso (que se denomina silicificación), produce un efecto repelente, pues cristalizando sobre la superficie de las hojas hace que se vuelvan urticantes para las partes bucales de los insectos y nemátodos.

Cuando el silicio se acumula en las paredes de las células epidérmicas, parece que hace disminuir la transpiración, así como las infecciones causadas por hongos. En las hojas de las plantas el silicio se deposita debajo de la cutícula y sobre las células epidérmicas, esta capa limita la pérdida de agua por las hojas y dificulta la penetración y desarrollo de hifas de hongos (ver Ilustración 1) (Sephur, 2009).

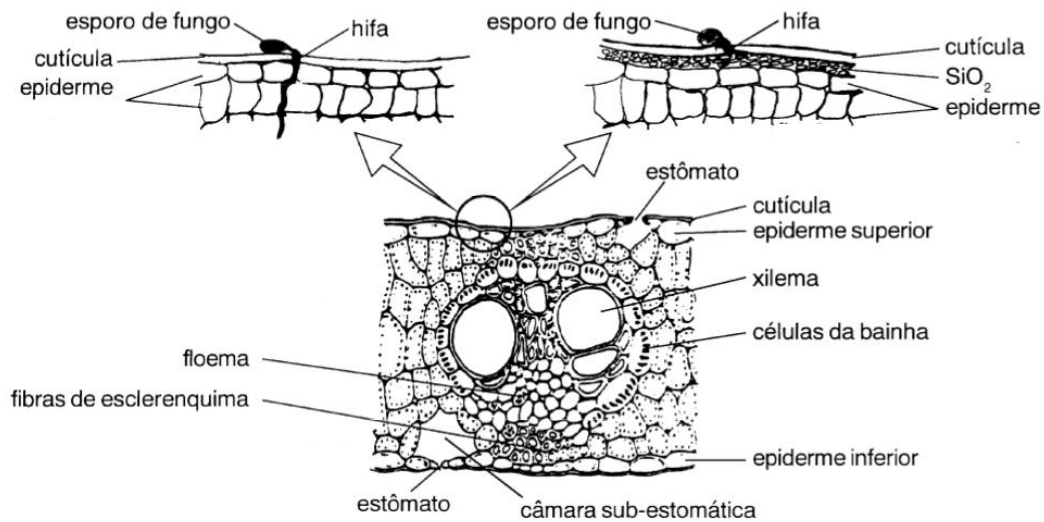


Ilustración 1 Penetración y desarrollo de hifas de hongos (Sephur, 2009)

Por lo expuesto, se puede afirmar que el silicio además de sus funciones físicas en el suelo y en el desarrollo de las plantas, actúa como un fungicida preventivo contra las infecciones provocadas por hongos fungosos, y protege las plantas contra ataques de insectos que causan daños en la epidermis de los cultivos.

F. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE FRIJOL

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L*) es una especie de origen americano. México, Guatemala y Perú son los más posibles centros de origen, o al menos como los centros de diversificación primaria. Hallazgos arqueológicos en sus posibles centros de origen México, Centroamérica y Sudamérica indican que el fríjol era conocido por lo menos unos 5,000 años antes de la era

cristiana. Desde el punto de vista taxonómico el frijol es el prototipo del genero *Phaseolus*. Su nombre científico completo fue designado por Lineo en 1753 como *Phaseolus vulgaris* L. El género *Phaseolus* pertenece la tribu *Phaseolae*, Subtribu *Phaseolinae* de la Familia *Leguminosae* y Subfamilia *Papilionoidae* dentro del orden Rosales. El género *Phaseolus* incluye aproximadamente 35 especies, de las cuales cuatro se cultivan. Las cuatro especies dentro del género *Phaseolus* que se cultivan son:

1. *Phaseolus vulgaris* L.
2. *Phaseolus coccineus* L.
3. *Phaseolus lunatus* L.
4. *Phaseolus acutifolius*.

El frijol es la principal fuente de proteína vegetal del guatemalteco, 22% y es un cultivo básico en la dieta alimenticia de la población rural. El frijol común se produce principalmente en Guatemala en la zona norte, en el departamento del Peten y en la zona del Sur-Oriente Jutiapa 36%, Chiquimula y Santa Rosa (León, 2014).

G. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE FRIJOL

El frijol común es una de las leguminosas más importantes en la dieta diaria de los guatemaltecos, especialmente para familias de escasos recursos, ocupa a nivel mundial el tercer lugar como fuente de proteínas y sexto en calorías aunque también es una fuente importante de minerales.

Como producto alimenticio básico, la demanda siempre aumenta, es comprensible la tendencia al alza que se observa, tanto en el número de fincas, como en la superficie cosechada y la producción obtenida (INE, 2014).

En el país, dentro de los granos básicos, el frijol ocupe el segundo lugar después del maíz, tanto por la superficie sembrada como por la cantidad que consume la población. El frijol se cultiva a nivel nacional variando, desde luego, el área de siembra, los rendimientos y las tecnologías de manejo de una región a otra (ICTA, Producción del cultivo de Frijol, 2011).

H. VARIEDAD ICTA LIGERO

La variedad de frijol Icta Ligero es una de las principales que utilizan los pequeños productores de la zona Sur de Guatemala, ya que es una variedad precoz y que se adapta muy bien a las condiciones climáticas de la zona. En la Tabla 1 aparece la descripción de algunas variedades que se adaptan a la Costa Sur del país, dentro de ellas, Icta Ligero.

Tabla 1 Características agrónomicas de variedades de frijol

| VARIEDAD | DÍAS A FLORACIÓN | COLOR DE FLOR | COLOR DE VAINA | DÍAS A COSECHA | TOLERANCIA A ENFERMEDADES | RENDIMIENTO QQ/MZ. | ADAPTACIÓN M.S.N.M. |
|-----------------------|------------------|---------------|----------------|----------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------|
| ICTA Ostúa | 38-40 | Morado | Blanca | 70-75 | Mosaico dorado, roya y mosaico común | 20-29 | 50-1200 |
| ICTA Santa. Gertrudis | 38-40 | Morado | Blanca | 70-75 | Mosaico dorado, bacteriosis y roya | 20-29 | 50-1200 |
| ICTA Ligero | 29-30 | Morado | Blanca | 64-70 | Mosaico dorado, bacteriosis y roya | 20-25 | 50-1200 |

I. FERTILIZACIÓN

Dependiendo del contenido de nutrimentos en el suelo, ya sea rico en materia orgánica o bien cuando previamente se ha sembrado papa u otra hortaliza. El frijol es un cultivo que tiene buena respuesta a la aplicación de nitrógeno y fósforo con la dosis 40-40-0 Kg ha⁻¹ (Kilogramos por hectárea) que son aproximadamente 3 quintales por manzana de 20-20-0 ó 25 libras por cuerda de 25 varas cuadradas o 438 metros cuadrados. Siempre se ha sugerido y practicado en frijol, aplicar todo el fertilizante al fondo del surco y posteriormente taparlo con suelo para evitar que la semilla entre en contacto con el abono. Las sales desecan y dañan la semilla de frijol y este ya no germina uniformemente, es por eso también recomendable aplicar el abono 10 días después de la siembra, cuando las plántulas ya haya germinado para evitar el problema de quemadura en las plántulas recién nacidas (León, 2014).

J. PLAGAS

El frijol es un cultivo que es atacado por diversas plagas desde el inicio de su crecimiento. Estas plagas reducen su rendimiento al eliminar partes de hoja, raíces o flores y semillas si no se controlan oportunamente (ICTA, Producción del cultivo de Frijol, 2011).

Dentro de las plagas más comunes que atacan al cultivo del frijol están:

1. De suelo

- a. Gallina ciega (*Phyllophaga spp.*)
- b. Gusano de alambre (*Agrotis lineatus*)

2. De hoja

- a. Crisomelidos (*Cerotoma ruficornis* Olivo)
- b. Tortuguillas (*Diabrotica balteata*)

3. De la semilla
 - a. Picudo de la vaina (*Apion godmani* Wang)

4. De suelo como complejo de plagas de la raíz
 - a. Gallina ciega (*Phyllophaga* spp.)
 - b. Gusano de alambre (*Agrotis lineatus*)

V. METODOLOGÍA

A. UBICACIÓN

El proyecto se ubicó en el municipio de Siquinalá del departamento de Escuintla específicamente en las coordenadas 14.314163,-90.910690, como se presentan en la Ilustración 2. El proyecto se estableció a 426 metros de altura sobre el nivel del mar.

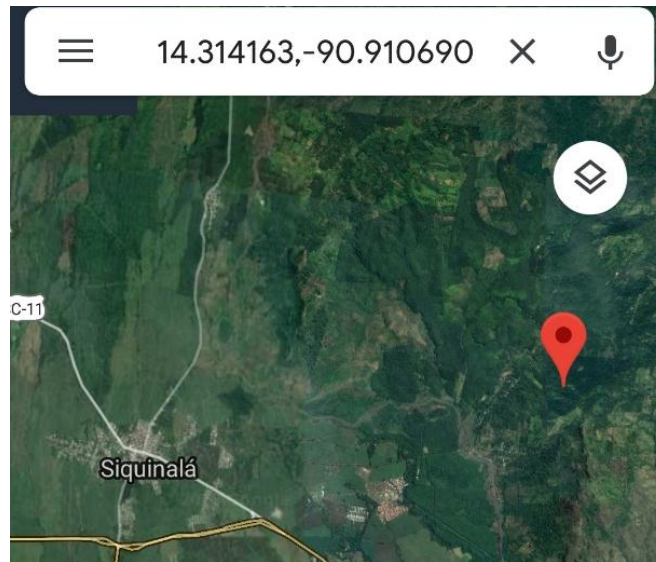


Ilustración 2 Ubicación del experimento

1. **Clima.** Siquinalá presenta un clima tropical con temperatura promedio anual de 26°C y una precipitación pluvial anual de 3,156 mm (ICC, 2016).

2. **Suelo.** El material sobre el cual se han desarrollado los suelos de la zona cañera de Guatemala, está constituido principalmente por cenizas, lapilli, pómez y otros materiales piroclásticos, aportados por las erupciones volcánicas ocurridas en diferentes épocas, principalmente durante la Cuaternaria. (MAGA, DIGESA Y DIRYA 1991).

Los suelos del litoral del Pacífico, según el estudio realizado por Cengicaña, señala que dichos suelos son arenosos bien drenados de origen volcánico de la clasificación Entisoles, Inceptisoles,

Mollisoles y Andisoles (CENGICAÑA, 1996). Para el estudio no se tomó en cuenta un análisis de suelos para tener resultados apegados a la de los productores.

K. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental de Bloques completamente al azar con la finalidad de reducir el porcentaje de error que puede exhibir el análisis de los datos de las variables, por posibles factores externos a la evaluación.

La parcela experimental estuvo conformada de cuatro tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento en un área total del experimento de $236.25 m^2$.

La Ilustración 3 muestra la ubicación de cada tratamiento y repetición experimental.

| | | | |
|------|------|------|------|
| T1R1 | T2R1 | T3R1 | T4R1 |
| T2R2 | T3R2 | T4R2 | T1R2 |
| T4R3 | T1R3 | T2R3 | T3R3 |
| T3R4 | T4R4 | T1R4 | T2R4 |

Ilustración 3 Distribución de los bloques

L. TRATAMIENTOS

1. Distanciamiento de siembra para todos los tratamientos y repeticiones.

Para la siembra de frijol en todos los tratamientos se colocaron tres semillas, debido a que el porcentaje de germinación es del 98%, por postura a una distancia de $0.3 m$ entre postura y $0.5 m$ entre surcos, dando una densidad poblacional de 240 plantas por repetición.

2. Unidad experimental. Cada tratamiento con su repetición tuvo $4 m$ de ancho albergando ocho surcos de $3 m$ de largo dando un área por unidad experimental de $12 m^2$.

3. Descripción de los tratamientos. El producto a evaluar fue el Silplus (70% de Silicio) que se aplicó de manera tronqueada para incorporarlo al suelo y evitar evaporación del mismo, esto se hizo a una semana después de germinada la semilla, esta aplicación se realizó solamente una vez en todo el ciclo del cultivo debido a que en los primeros días después de la germinación es cuando la planta asimila este elemento. Cabe resaltar que tres tratamientos y sus repeticiones tuvieron una dosis de silicio diferente, y el tratamiento testigo no tuvo ninguna aplicación de Silicio y así se pudo comparar los efectos que tal elemento produce en el cultivo de Frijol. En la Tabla 2 se describe cada tratamiento y que dosis del fertilizante utilizó cada uno.

Tabla 2 Descripción de los tratamientos

| Tratamiento | Descripción |
|-------------|---|
| T1 | Sin aplicación de silicio. |
| T2 | Dosis de 30 gramos de silicio por postura. |
| T3 | Silicio con una dosis de 20 gramos por postura. |
| T4 | Silicio con una dosis de 40 gramos por postura. |

M. MANEJO DEL EXPERIMENTO

1. Historial del área. En el sitio donde se ubicó el experimento se han establecido plantaciones de maíz y frijol, presenta suelos francos, alto porcentaje de materia orgánica y buen drenaje. Productores de ese lugar mencionan que sus rendimientos no han sido los esperados, debido al manejo de plagas y enfermedades, sequías y otros factores climáticos (Suhul, 2019).

2. Selección del terreno. Antes de establecer el experimento se seleccionó el terreno, el área que se escogió estuvo a campo abierto y se encontraba despejada.

3. Preparación del terreno. En el área donde se estableció el experimento se procedió a la eliminación de malezas de manera mecánica, utilizando el azadón, herramienta agrícola, para tal labor.

4. Siembra. La siembra se realizó de la siguiente manera: Se procedió a ubicar los surcos acorde a las medidas que se encuentran en la descripción de la unidad experimental y distanciamiento de siembra para todos los tratamientos y repeticiones, posterior se procedió a

perforar donde se ubicarían las semillas de frijol. Cada agujero fue aproximadamente de tres pulgadas, en el fondo se le aplicó una dosis de fertilizante, se cubrió el fertilizante, se colocaron las tres semillas y se cubrió por completo el agujero.

5. **Aplicación del fertilizante silicio.** Para el tratamiento uno (Testigo) no se aplicó ninguna dosis del fertilizante a base de Silicio y para los tres tratamientos faltantes se aplicó la dosis de silicio especificada en la Tabla 2 donde se describen los tratamientos. La aplicación de este producto se realizó una sola vez en toda la fase del cultivo, se hizo a una semana después de germinada la semilla.

6. **Control de malezas.** Con el fin de que las malezas no sean hospederas de plagas, competencia para el cultivo de frijol, en espacio y nutrientes, se efectuó la primera eliminación de malezas con el método mecánico (azadón) a los 15 días después de la siembra, la segunda se realizó a los 35 días después de la siembra.

7. **Riego.** La investigación se estableció en la época lluviosa de Guatemala siendo esta de septiembre a diciembre por lo tanto la parcela no tuvo algún tipo de riego programado o alguna lámina de riego específica.

8. **Aplicación de fertilizante.** La nutrición de la planta, se realizó con base a las recomendaciones que da el ICTA Guatemala, la dosis recomendada 40-40-0 kg ha⁻¹. Que equivale a tres quintales por hectárea de la fórmula 20-20-0. La primera aplicación se hizo al momento de la siembra, debajo de la semilla, la segunda se realizó a los 21 días y la tercera a los 35 días (ICTA, Producción del cultivo de frijol, 2011).

9. **Cosecha.** A los 71 días después de la siembra se cosechó, donde se recolectó la producción de cada tratamiento y sus repeticiones, y se procedió a la lectura de los datos para su posterior análisis estadístico.

N. RECOLECCIÓN DE DATOS

Las variables de respuesta fueron dos: rendimiento y características morfológicas de la planta. Para la recolección de datos se diseñó una boleta ANEXO 1.

1. **Rendimiento.** Para esta variable se pesó el frijol cosechado de cada repetición y se hizo la equivalencia con las unidades de medida quintales por manzana (qq/mz). Cabe mencionar que se pesó en sí el grano de toda la producción y no las vainas.

2. Características morfológicas. Las características agronómicas o morfológicas del cultivo que se midieron en esta investigación fueron las siguientes:

- a. Días a la floración
- b. Número de vainas por planta
- c. Número de granos por vaina

O. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A todas las variables de respuesta se les hizo un análisis estadístico para determinar las diferencias que se presentaron en el cultivo. La variable de respuesta de las características morfológicas únicamente fueron analizadas por estadística descriptiva a través de las medias, mientras que la variable de rendimiento se efectuó una prueba de Tukey utilizando el software Excel 2016.

VI. RESULTADOS

A. RENDIMIENTO

En la Tabla 3 se presentan los resultados de los rendimientos obtenidos en el experimento donde se evaluaron diferentes dosis de silicio en el cultivo de frijol. La unidad de medida en la que se expresa el rendimiento es en quintales por manzana (qq/Mz).

Tabla 3 Rendimientos

| Rendimiento (QQ/Mz) | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|----------|
| | R1 | R2 | R3 | R4 | promedio |
| T1 | 15.3 | 17.8 | 16.1 | 15.9 | 16.3 |
| T2 | 25.7 | 27.6 | 26.8 | 26.3 | 26.6 |
| T3 | 21.4 | 19.2 | 20.4 | 19.4 | 20.1 |
| T4 | 23.4 | 24.7 | 24.9 | 23.7 | 24.2 |

B. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

A través de una boleta diseñada se recolectaron datos de la plantación del cultivo de frijol, donde se midieron los días a la floración, el número de vainas por plantas y la cantidad de granos por vaina de frijol.

1. Días a la floración. En la Tabla 4 se presentan los datos en promedio que se obtuvieron en esta variable.

Tabla 4 Días a la floración

| Días a la floración | | | | | |
|---------------------|----|----|----|----|----------|
| | R1 | R2 | R3 | R4 | promedio |
| T1 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| T2 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| T3 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| T4 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |

2. Número de vainas por planta. En la Tabla 5 se exhiben los promedios por repetición y tratamientos de los datos obtenidos en el experimento.

Tabla 5 Número de vainas por planta

| Número de vainas por planta | | | | | |
|-----------------------------|----|----|----|----|----------|
| | R1 | R2 | R3 | R4 | promedio |
| T1 | 16 | 15 | 14 | 16 | 15.3 |
| T2 | 24 | 23 | 23 | 23 | 23.3 |
| T3 | 19 | 20 | 18 | 17 | 18.5 |
| T4 | 21 | 20 | 22 | 19 | 20.5 |

3. Cantidad de granos por vaina. La Tabla 6 contiene los promedios por repetición y tratamientos de los datos obtenidos en el estudio de investigación.

Tabla 6 Cantidad de granos por vaina

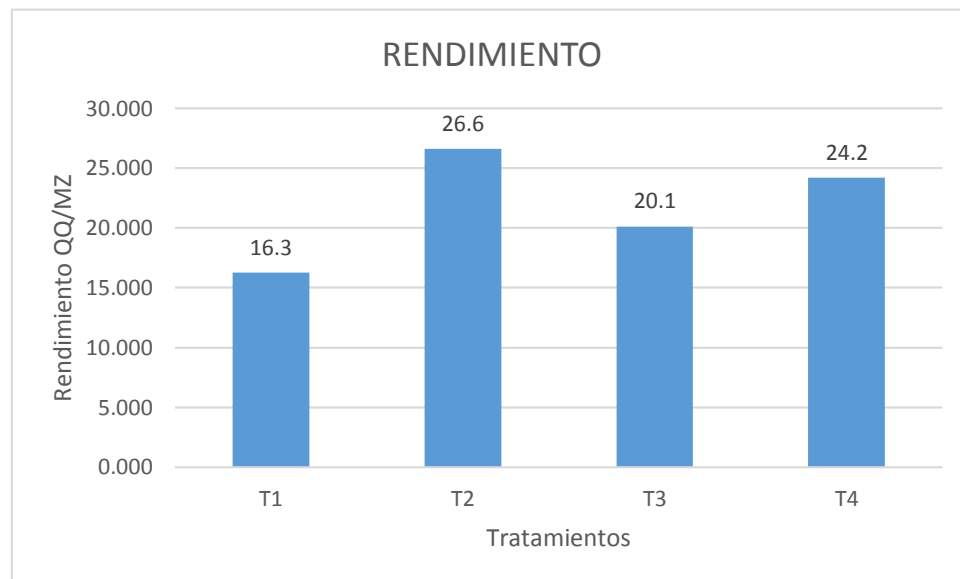
| Número de granos por vaina | | | | | |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|
| | R1 | R2 | R3 | R4 | promedio |
| T1 | 4.0 | 5.0 | 4.0 | 4.0 | 4.3 |
| T2 | 6.0 | 5.0 | 6.0 | 6.0 | 5.8 |
| T3 | 4.0 | 5.0 | 4.0 | 4.0 | 4.3 |
| T4 | 4.0 | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 4.5 |

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. RENDIMIENTOS

Según Beatón (2009) los beneficios del silicio al incluirse en programas de fertilización son: Mayor crecimiento vegetal, plantas más fortalecidas y compactas, hojas más fuertes, mayor fotosíntesis, mayor tolerancia a condiciones de baja luminosidad, y tolerancia a estrés hídrico y térmico. Otros efectos benéficos comprobados del silicio son la reducción de pérdida de agua cuticular por la acumulación de silicio en la epidermis, en pruebas realizadas sobre cultivos de arroz y trigo. Otros autores reportan que con un adecuado suministro de silicio en cereales se obtiene mayor resistencia al acame. Finalmente se considera que el silicio aumenta la tolerancia de las plantas a toxicidades por manganeso (Mn). Marschner sugiere que el silicio genera una distribución más uniforme del Mn dentro de la hoja, de los vasos a los tejidos que los rodean.

Por tal motivo la variable de rendimiento se vio favorecida para los tratamientos que tuvieron aplicación de Silicio, ya que logró aumentar su producción el cultivo de frijol, tal como se expresa en la Tabla 3 en la sección de resultados. En la Gráfica 1 se puede apreciar las diferencias en los rendimientos que se obtuvieron en los distintos tratamientos. El tratamiento con mayor rendimiento es el T2, con una dosis de 30 gr de silicio por postura, y el que menor rendimiento obtuvo fue el testigo quién no tuvo aplicación de silicio.



Gráfica 1 Rendimientos

Tabla 7 Análisis de varianza

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------------|--------------|----------------------|
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
| Filas | 249.0203782 | 3 | 83.00679273 | 102.9599711 | 2.76437E-07 | 3.862548358 |
| Columnas | 2.904821688 | 3 | 0.968273896 | 1.201027639 | 0.363718957 | 3.862548358 |
| Error | 7.255840562 | 9 | 0.806204507 | | | |
| | | | | | | |
| Total | 259.1810404 | 15 | | | | |

La Tabla 7 contiene el análisis de varianza realizado a la variable de rendimiento. Con el análisis se demuestra que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados, ya que el valor de F es mayor a su valor crítico.

Tabla 8 Separación de medias

| Tratamiento | Suma (Ranks) | Media (Ranks) | n | Dif |
|-------------|--------------|---------------|---|-----|
| T2 | 16.00 | 4.00 | 4 | A |
| T3 | 8.00 | 2.00 | 4 | B |
| T4 | 12.00 | 3.00 | 4 | C |
| T1 | 4.00 | 1.00 | 4 | D |

La Tabla 8 presenta la separación de medias, dando a conocer los resultados con diferencia significativa en todos los tratamientos (T1, T2, T3 y T4), este análisis representa la variable de rendimiento y evidencia que existe para todos los tratamientos.

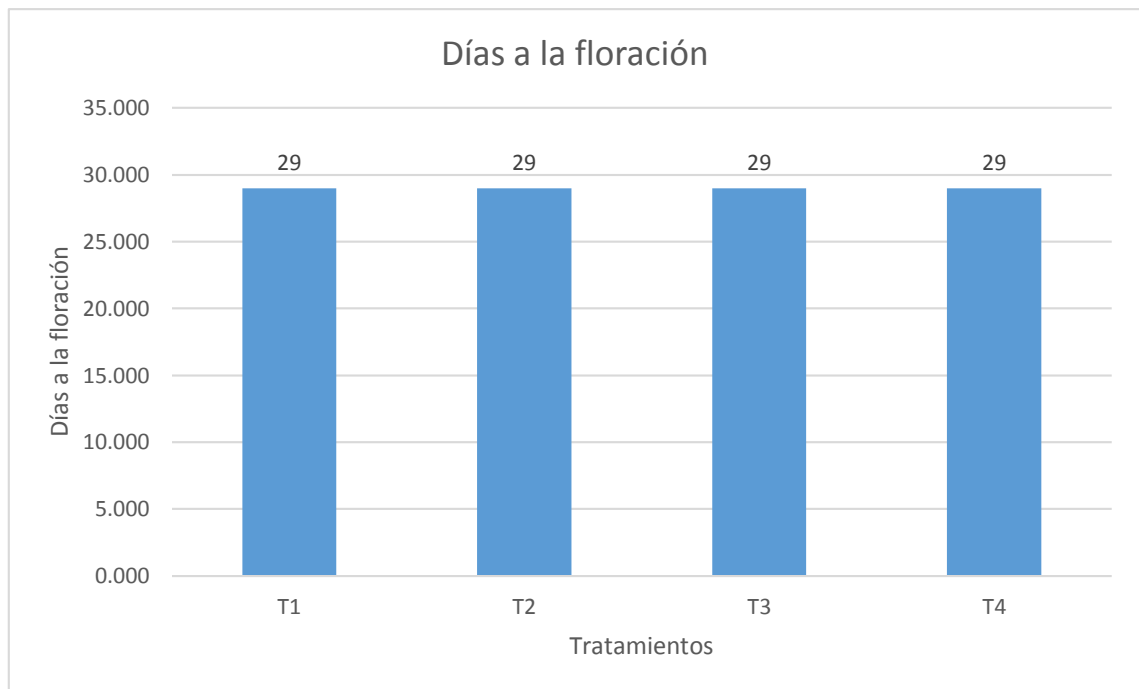
B. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

En gramíneas y dicotiledóneas, la mayor parte del silicio permanece en el apoplasto de las hojas y es depositado tras la evaporación del agua principalmente en las paredes externas de las células epidérmicas de ambas caras de las hojas. Este proceso (que se denomina silicificación), produce un efecto repelente, pues cristalizando sobre la superficie de las hojas hace que se vuelvan urticantes para las partes bucales de los insectos y nematodos (Sephur, 2009).

A raíz del proceso de silicificación da lugar a una planta con mayor defensa ante los enemigos naturales y como beneficios la planta tendrá mejor desarrollo vegetal y por ende una mejor producción.

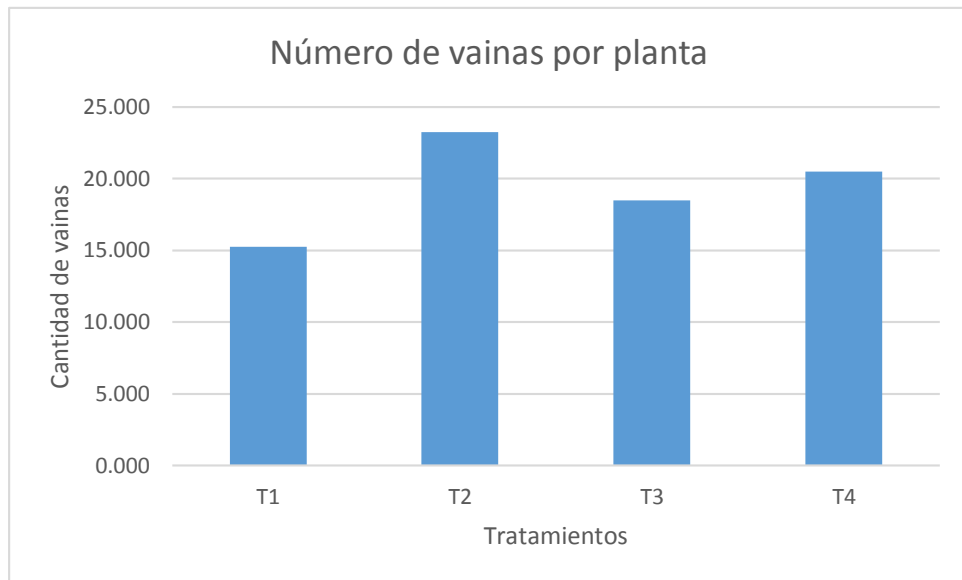
Como resultado de las aplicaciones de silicio en tres tratamientos del cultivo de frijol, se logró demostrar que si influye tal elemento para poder llevar a la planta a un mejor desarrollo vegetal por la fitoquímica que se produce en la planta, volviéndola con mayor protección debido a que tal elemento ayuda a repeler a los enemigos naturales del cultivo.

1. **Días a la floración.** En la Gráfica 2 se puede observar que no hay diferencia significativa en a variable de los días de la floración en ninguno de los tratamientos.



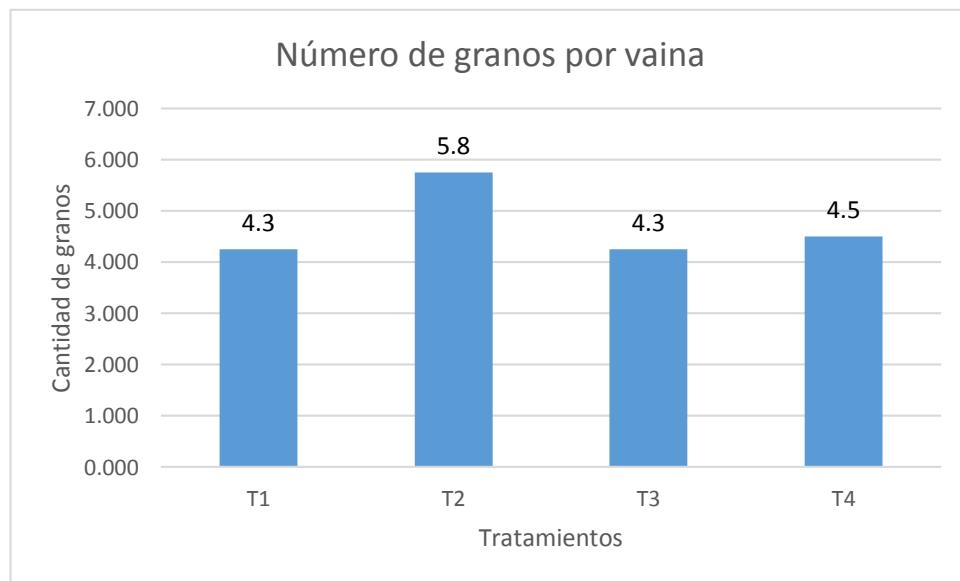
Gráfica 2 Días a la floración

2. **Número de vainas por planta.** La Gráfica 3 describe la cantidad de vainas promedio que presentó cada tratamiento. El tratamiento 2 es el que mayor cantidad de vainas por planta obtuvo mientras que el tratamiento 4 es quien le prosigue y el tratamiento testigo fue el que menos cantidad de vainas por planta obtuvo.



Gráfica 3 Número de vainas por planta

3. **Cantidad de granos por vaina.** En la Gráfica 4 se presentan los resultados promedio de cantidad de granos por vaina que obtuvo cada tratamiento, beneficiando directamente la dosis de silicio al tratamiento número dos, y el tratamiento que menor cantidad de granos por vaina obtuvo fue el testigo.



Gráfica 4 Cantidad de granos por vaina

VIII. CONCLUSIONES

1. El silicio influye en el desarrollo vegetal del cultivo de frijol en dosis moderadas, aumentando el número de vainas por planta y la cantidad de granos por vaina.
2. El tratamiento que mayor producción obtuvo fue el tratamiento número 2 con un rendimiento de 26.6 qq/mz siendo este 63.55% mayor en comparación con el tratamiento testigo.
3. La dosis de 30 gramos de silicio por postura incrementa el rendimiento (qq/mz) del cultivo de frijol.

IX. RECOMENDACIONES

1. Realizar nuevamente el experimento en otras localidades a fin de ir avanzando en la evaluación de los beneficios del silicio en la productividad del cultivo de frijol.
2. Hacer un estudio en cuanto al manejo de plagas del cultivo de frijol para evaluar la influencia del silicio para el control de ellas.
3. La dosis que se recomienda para el cultivo de frijol y así maximizar la producción del cultivo es de 30 gramos por postura.

X. BIBLIOGRAFÍA

Beaton, D. J. (junio de 2009). *Silicio para la Nutrición y Protección Vegetal* . Obtenido de Soil Fertility and Fertilizers.

CENGICAÑA. (1996). *Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera de Guatemala*. Obtenido de www.cengicaña.org

ICC. (2016). *Resumen anual de datos de las estaciones metereologicas del ICC, Cengicaña*. Obtenido de Sistema metereologico del ICC: <http://redmet.icc.org.gt/>

ICTA. (2011). *Producción del cultivo de Frijol*. Obtenido de icta.gob.gt: www.icta.gob.gt

ICTA. (Marzo de 2014). *El maíz cultivado en areas rurales*. Obtenido de ICTA.

León, L. F. (2014). *Manual Tecnico Agrícola del Cultivo de Frijol*. Obtenido de icta.gob.gt.

Mengel, K. (1987). *Principios de Nutrición Vegetal*. Obtenido de [intagri.com](http://www.intagri.com): <http://www.intagri.com>

Sephu. (14 de mayo de 2009). *EL SILICIO (Si) COMO ELEMENTO FERTILIZANTE Y PROTECTOR DE ENFERMEDADES Y PLAGAS*. Obtenido de [Sephu.com](http://www.sephu.com): www.sephu.com

Suhul, R. E. (enero de 2019). Antecedentes del sitio para la siembra. (M. Dardón, Entrevistador)

XI. ANEXOS

ANEXO 1: BOLETA PREDISEÑADA

Tabla 9 Boleta de recolección de datos

| | | Rendimiento | Días a la floración | Vainas/planta | Largo de Vaina |
|------|---|-------------|---------------------|---------------|----------------|
| T | R | | | | |
| | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |
| Prom | | | | | |

ANEXO 2: PLANTACIÓN DE FRIJOL



Ilustración 4 Tratamiento con Silicio



Ilustración 5 Tratamiento sin silicio



Ilustración 6 Plantación a 3 semanas de edad



Ilustración 7 Plantación en producción

XII. GLOSARIO

1. Características morfológicas: se entiende como morfología al estudio de las características físicas de alguna cosa.
2. Cultivo: es la práctica de sembrar semillas en la tierra y realizar labores necesarias para obtener frutos de la misma especie.
3. Fitopatógeno: microorganismo que provoca daños en la fisiología y morfología de las plantas.
4. Leguminosa: son plantas que forman en sus raíces unas estructuras especiales llamadas nódulos. Estos son el resultado de la interacción entre estas plantas y unas bacterias que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, al establecer una simbiosis con las plantas.
5. Rendimiento: es la relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizada.
6. Silicio: es el segundo elemento más abundante en la litosfera. Presente en casi todos los minerales en forma no biodisponible.