

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA

**USO DEL SILICIO EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN TUBETE; SAN MARTIN JILOTEPEQUE,
CHIMALTENANGO.**

PROYECTO DE GRADO

JONATAN LEVI LÓPEZ VARGAS

CARNET 16316-13

QUETZALTENANGO, ABRIL DE 2021
CAMPUS DE QUETZALTENANGO

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA

**USO DEL SILICIO EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN TUBETE; SAN MARTIN JILOTEPEQUE,
CHIMALTENANGO.**

PROYECTO DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
JONATAN LEVI LÓPEZ VARGAS

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

QUETZALTENANGO, ABRIL DE 2021
CAMPUS DE QUETZALTENANGO

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MYNOR RODOLFO PINTO SOLÍS, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTHA ROMELIA PÉREZ CONTRERAS DE CHEN
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: LIC. JOSÉ ALEJANDRO ARÉVALO ALBUREZ
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: MGTR. MYNOR RODOLFO PINTO SOLÍS
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: MGTR. JOSÉ FEDERICO LINARES MARTÍNEZ
SECRETARIO GENERAL: DR. LARRY AMILCAR ANDRADE - ABULARACH

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
VICEDECANO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
SECRETARIO: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN
DIRECTORA DE CARRERA: MGTR. EDNA LUCÍA DE LOURDES ESPAÑA RODRÍGUEZ

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. GERMAN ROLANDO QUEMÉ QUIEJ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. MARÍA SARAÍ SUNÚN PÉREZ

ING. LUIS FELIPE CALDERON BRAN



AUTORIDADES DEL CAMPUS DE QUETZALTENANGO

DIRECTOR DE CAMPUS: P. MYNOR RODOLFO PINTO SOLIS, S.J.

SUBDIRECTORA ACADÉMICA: MGTR. NIVIA DEL ROSARIO CALDERÓN

SUBDIRECTORA DE INTEGRACIÓN
UNIVERSITARIA: MGTR. MAGALY MARIA SAENZ GUTIERREZ

SUBDIRECTOR ADMINISTRATIVO: MGTR. ALBERTO AXT RODRÍGUEZ

SUBDIRECTOR DE GESTIÓN GENERAL: MGTR. CÉSAR RICARDO BARRERA LÓPEZ

Quetzaltenango 22 de febrero de 2021.

Honorable Consejo
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Presente.

Distinguidos miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he procedido a revisar el informe final del Trabajo de Proyecto de Grado del estudiante Jonatan Levi López Vargas, que se identifica con carné 1631613, titulado: **“PRODUCCIÓN DE ALMÁCIGO DE CAFÉ EN TUBETE, IMPLEMENTANDO EL USO DE SILICIO. SAN MARTIN JILOTEPEQUE, CHIMALTENANGO”**, el cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad para ser aprobado.

Atentamente



Ing. Agr. German Rolando Quemé Quijé
Código URL 15507



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Proyecto de Grado del estudiante JONATAN LEVI LÓPEZ VARGAS, Carnet 16316-13 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA, del Campus de Quetzaltenango, que consta en el Acta No. 0669-2021 de fecha 23 de abril de 2021, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

USO DEL SILICIO EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN TUBETE; SAN MARTIN JILOTEPEQUE, CHIMALTENANGO.

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 26 días del mes de abril del año 2021.



MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Ing. German Rolando Queme Quij, por su asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

Ing. Luis Felipe Calderón Bran, por su apoyo, asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

Ing. Marco Antonio Abac Yax, por su apoyo, corrección y orientación académica durante toda mi formación.

Seño Wendy Noemi Torres Farfán, por su apoyo y orientación académica durante mi formación.

DEDICATORIA

A:

Dios: Quién siempre me da su infinito amor, fortaleza y sabiduría para superar las diferentes etapas de la vida y me bendice con las personas que me rodean.

Mis padres: Santiago López Balan y Maximiliana Vargas Bajxac a quienes quiero mucho, por su inmenso amor, por su tiempo, sus consejos oportunos, incondicional apoyo económico y moral, por confiar en mí todo el tiempo, este logro también es de ustedes, juntos llegamos al final.

Mi familia: Mis abuelos y hermanos, por su apoyo y por acompañarme en cada etapa de este camino, esperando poder ser un ejemplo para ustedes.

Mis amigos: Por su apoyo, compañía y formar parte de mi desarrollo integral, con mucho aprecio.

Mi compañera:
de vida: Clara Esther Argueta Lorenzo, por ser mi compañera, mi mejor amiga, mi apoyo, mi inspiración, por demostrarme su apoyo incondicional en todo momento, por no dejarme solo, gracias por toda la paciencia y comprensión

Mis catedráticos: Por su apoyo y enseñanzas en mi formación profesional

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN.....	i
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Marco teórico.....	3
1.1.1 Cultivo del café.....	3
1.1.2 Silicio	18
1.2 Antecedentes.....	26
1.3 Justificación del proyecto	33
1.4 Objetivos del proyecto.....	34
1.4.1 General	34
1.4.2 Específicos	34
2. DESARROLLO DEL PROYECTO	36
2.1 Descripción del proyecto	36
2.1.1 Contexto del proyecto.....	36
2.1.2 Tipo de proyecto	37
2.1.3 Tamaño del proyecto.....	38
2.1.4 Descripción de la localización del proyecto	39
2.1.5 Procedimientos.....	41
2.2 Indicadores y medios de verificación	45
2.2.1 Indicadores de crecimiento vegetativo.....	45
2.2.2 Indicadores económicos.....	47
2.3 Metodología de evaluación del proyecto.....	47
2.3.1 Indicadores de resultados	47

2.3.2 Indicadores de gestión.....	48
2.4. Presupuesto del proyecto	49
2.5. Cronograma de trabajo	49
3. RESULTADOS Y DISCUSION.....	50
3.1 Evaluación del proyecto	50
3.1.1 Aspectos técnicos.....	50
3.2 Analisis de altura por planta (cm).....	53
3.3 Analisis de diámetros del tallo por planta (mm).....	56
3.4 Analisis de grosor de hojas.....	59
3.5 Analisis de clorofila.....	61
3.6 Analisis de longitud de raíz (cm).....	64
3.7 Analisis de peso de raíz (gr)	67
3.8 Porcentaje de pegue	69
3.9 Nivel de absorcion del fosforo.....	70
3.10 Medios de verificación del proyecto	71
3.11 Análisis de impactos del proyecto	72
3.11.1 Economico	72
3.11.2 Social laboral	72
3.11.3 Ambiental.....	73
4. CONCLUSIONES	74
4. RECOMENDACIONES.....	75
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
7. ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

No.		Pág.
Tabla 1.	<i>Resultados del crecimiento vegetativo por planta en la parcela con aplicación del elemento silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	51
Tabla 2.	<i>Resultados del crecimiento vegetativo por planta en la parcela sin aplicación del elemento silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	52
Tabla 3.	<i>Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable altura de la planta (cm) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	53
Tabla 4.	<i>Prueba de “t” de Student para la variable altura de la planta (cm) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	54
Tabla 5.	<i>Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable diámetro del tallo por planta (mm) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	56
Tabla 6.	<i>Prueba de “t” de Student para la variable diámetro del tallo por planta (mm) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	57
Tabla 7.	<i>Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable grosor de hojas por planta (mm) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	59

Tabla 8.	<i>Prueba de “t” de Student para la variable grosor de hojas (mm) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	61
Tabla 9.	<i>Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable cantidad de clorofila por planta (%) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	62
Tabla 10.	<i>Prueba de “t” de Student para la variable cantidad de clorofila por planta (%) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	63
Tabla 11.	<i>Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable longitud de raíz (cm) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	65
Tabla 12.	<i>Prueba de “t” de Student para la variable longitud de raíz (cm) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	66
Tabla 13.	<i>Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable peso de raíz (gr) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	67
Tabla 14.	<i>Prueba de “t” de Student para la variable peso de raíz (gr) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.....</i>	68
Tabla 15.	<i>Presupuesto desglosado Proyecto uso del silicio en almácigos de café en tubetes; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango.....</i>	81

Tabla 16. *Cronograma de ejecución del uso de aplicación de Silicio en el cultivo de café en tubete; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango,*

ÍNDICE DE FIGURAS

No.		Pág.
<i>Figura 1.</i>	Croquis de la parcela. Parcela bruta y parcela neta, proyecto uso del Silicio en el crecimiento del cultivo de café; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango.....	39
<i>Figura 2.</i>	Crosquis de campo, proyecto uso del Silicio en el crecimiento del cultivo de café; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango.....	39
<i>Figura 3.</i>	Interacción entre los tratamientos con y sin aplicación de silicio sobre el porcentaje de pegue en campo definitivo.....	70
<i>Figura 4.</i>	Dinámica de la concentración del fósforo a nivel foliar de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.....	71

USO DEL SILICIO EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN TUBETE; SAN MARTIN JILOTEPEQUE, CHIMALTENANGO

RESUMEN

Se presenta el informe referente al proyecto del uso del silicio en el cultivo de café utilizando la técnica de tubetes, implementando dosis de silicio en almácigos de café ubicados en el municipio de San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, Guatemala, el cual se enfoca en mejoramiento de producción de plantas de café favoreciendo con ello un mayor porcentaje de pegue al momento de realizar el trasplante a campo definitivo, así mismo tener una elección de incluir al silicio como uno de los nutrientes más en los planes de fertilización para el café, dado que la aplicación de este elemento se le ha catalogado como una de las buenas prácticas agrícolas ante la crisis del cambio climático. Conscientes de la necesidad, ha sido preciso determinar el efecto del uso del silicio para esta región en almácigos de café, por lo que, se aplicó 30 gramos de silicio por planta, que según estudios anteriores y basados en esos estudios se determinó que 30 gramos es la mejor dosis a aplicar en almácigos de café. De esta manera el efecto del silicio funciona como activador para otros nutrientes, principalmente del fósforo, favoreciendo al incremento y elongación de raíces, incrementando los niveles de clorofila, creando un tipo de defensa en los 120 días que la planta estuvo en el vivero y que posteriormente al ser trasplantadas el porcentaje de pegue fue mayor, resistentes a la sequía que en esta región se dan debido al cambio climático, comparado con el manejo tradicional el cual se usó como referencia.

1. INTRODUCCIÓN

La economía de Guatemala depende en gran manera del sector agrícola desde los inicios de la civilización maya, siendo el café el principal producto de exportación aportando un tercio de las entradas de las divisas del país. Guatemala es un país que exporta café desde 1859 (siendo la primera exportación a Europa) y desde entonces este cultivo representa un importante generador de empleo y divisas. Guatemala exporta principalmente a EE.UU. (40%), Europa (~30%), y Japón; el consumo interno es aún muy bajo ya que se exporta ~98% de la producción nacional (Deguate, s.f.).

Es necesario recalcar que una plantación de café para su producción depende de varios factores, entre los más principales esta la calidad de crecimiento que se le da desde la implementación de almácigos, problema que más se manifiesta entre los caficultores de la región de San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, siendo esta actividad uno de los pilares más fundamentales en la cadena productiva del café ya que de esta fase depende el éxito de la plantación futura. Para poder lograr que estas plantas tengan el éxito deseado es necesario producir plantas con una buena calidad de raíces, parte de la planta que funciona como anclaje al suelo además es el medio por donde las plantas absorben el agua y sus nutrientes, así mismo también se consideran otros aspectos muy importantes como lo son variedades, sustrato, fertilización, control fitosanitario y regulación de sombra, dichas prácticas conllevarán a la plantación a una buena condición para su siembra a campo definitivo, sin embargo se busca lograr por medio de una adaptación de tecnología, que almácigos tengan un mayor porcentaje de pegue a campo definitivo, por consiguiente según España (2016) en su estudio encontró que la aplicación de Silicio es una buena alternativa para favorecer los porcentajes de pegue a campo definitivo.

Por lo tanto se realizó el proyecto de adaptación del Silicio en un almacigo empleando la técnica de tubete, en búsqueda de una respuesta positiva ante el bajo porcentaje de plantas pegadas en campo definitivo, al hacer mas disponible los nutrientes como activador que es el elemento silicio y al favorecer mas factores como los mencionados anteriormente. Tomando como base indicadores agronómicos y económicos que nos ayuden a determinar la factibilidad y eficiencia de la aplicación de silicio en almácigos de café.

Los resultados demostraron que al aplicar 30g de silicio en almácigos de café, no influye significativamente en el grosor del tallo por planta y grosor de las hojas, sin embargo si influyo en el crecimiento de raíces, los porcentjes de clorofila, asimilación del nutriente fosforo y el porcentaje de pegue, mas que en la parcela sin aplicación de silicio. Por lo tanto, se recomienda el uso de silicio en el cultivo de café para aumentar los porcentajes de pegue a campo definitivo.

1.1 Marco teórico

1.1.1 Cultivo del café

Origen del café. Las plantas de Café son originarias de la antigua Etiopía en la República de Yemen. Es fácil confundirse con el origen verdadero del café, ya que antiguas leyendas sobre el cultivo y la costumbre de tomar café provienen de Arabia. La más fuerte y aceptada de las leyendas acerca del descubrimiento del café y la bebida del café es la que hace referencia a un pastor llamado Kaldi. La leyenda dice que Kaldi se dio cuenta del extraño comportamiento de sus cabras después de que habían comido la fruta y las hojas de cierto arbusto. Las cabras estaban saltando alrededor muy excitadas y llenas de energía. El arbusto del que Kaldi pensó que sus cabras habían comido las frutas tenía como frutas parecidas a las cerezas. Entonces Kaldi decidió probar las hojas del arbusto y un rato después se sintió lleno de energía. Kaldi después llevó algunos frutos y ramas de ese arbusto a un monasterio. Allí le contó al Abad la historia de las cabras y de cómo se había sentido después de haber comido las hojas. El Abad decidió cocinar las ramas y las cerezas; el resultado fue una bebida muy amarga que él tiró de inmediato al fuego. Cuando las cerezas cayeron en las brasas empezaron a hervir, las arvejas verdes que tenían en su interior produjeron un delicioso aroma que hicieron que el Abad pensara en hacer una bebida basada en el café tostado, y es así como la bebida del café nace (Zamorano, 2009)

Coffea arabica L. Es actualmente la principal especie del género, y constituye más del 60% del café que se comercializa en el mercado internacional. Es una especie autógena, es decir, se autopoliniza o autofertiliza. Su centro de origen se encuentra en el Sudeste de Etiopía, el Sur del Sudán y el Norte de Kenia. Es una especie tetraploide (tiene 44 cromosomas), que proviene de formas antiguas de dos especies diploides *Coffea eugenioides* (22 cromosomas),

probablemente como madre, y *C. canephora* (22 cromosomas), como padre. Estudios científicos la catalogan como una especie relativamente "joven", que hizo su aparición hace menos de un millón de años. Se considera un café de altura, que se cultiva bien en temperatura de 18 a 23 °C. (Arias, 2012)

Origen del café en Guatemala. En Guatemala el café se introdujo entre 1750 y 1760, es probable que los jesuitas fueran los primeros en introducir la planta de café en Guatemala, pero es poco probable que la trajeran directamente de Moka (Yemen), sino, más bien, de los conventos que la orden religiosa poseía en Jamaica y en Cuba a donde había llegado el café en 1730 y en 1748, respectivamente. Por tanto, si la primera planta de café sembrada en Guatemala fuera traída por los jesuitas al país, esto debió haber ocurrido antes del 1767, año en que los miembros de la compañía de Jesús fueron expulsados de Hispanoamérica por el rey Carlos III (Wagner, 2001)

Propagación del cultivo de café en Guatemala. Después que el cultivo de café se inició durante la segunda mitad del siglo XVIII, en los jardines de la compañía de Jesús en La Antigua Guatemala, algunas personas tomaron semilla y la sembraron en diversas partes del país. Su aclimatación fue asombrosa, si bien su cultivo progreso lentamente. En 1827 Jacobo Haefkens, el cónsul General de Holanda para Centroamérica con sede en Guatemala, observó que el café no se cultivaba de manera específica, solamente en varios jardines hay algunos árboles que dejan crecer libremente, de modo que suelen llegar a ser de 12 a 14 pies de alto, Miguel Ignacio Álvarez de las Asturias tomó unas semillas de cafeto que existían en el edificio de la compañía de Jesús y las sembró intercaladas entre una siembra de cacao en su hacienda El Soyate, en Jutiapa, a mediados del siglo XIX el café se usaba en Guatemala más como medicina que como bebida. El café, que a mediados del siglo XVIII constituyó una planta ornamental en los jardines de los jesuitas en la

Antigua Guatemala, se propago a principios del siglo XIX y fu plantado en diferentes regiones del país: Guatemala, Villanueva, Etapa, Amatitlán, Santa Rosa y Jutiapa (Wagner, 2001)

Clasificación taxonómica

Clasificación taxonómica del café:

Reino: Plantae

Tipo: Espermatofitas

Sub-tipo: Angiospermas

Clase: Dicotiledóneas

Sub-clase: Gamopétalas inferiovariadas

Orden: Rubiales

Familia: Rubiáceas

Género: *Coffea*

Especies: *arábica*, *canephora*, *liberica* (Linneo 1737)

El género pertenece a la familia de las Rubiáceas (Rubiaceae), que tiene alrededor de 500 géneros y más de 6000 especies, la mayoría árboles y arbustos. Son principalmente de origen tropical, y de una amplia distribución, a ella pertenecen plantas medicinales como la ipecacuana (*Psychotria ipecacuanha*), o la Cinchona spp., de la cual se extrae la quinina. (Arias, 2012)

Morfología agronómica del cultivo

Hábitat de crecimiento. El tallo da origen a dos tipos de ramificaciones: El primero forma un ángulo abierto, tiene un crecimiento horizontal y en él se manifiesta la producción, se le conoce como ramificación plagiotrópica o bandola, el segundo tipo de ramificación da origen a los tallos ortotrópicos que permiten el crecimiento vertical y generalmente solo produce yemas vegetativas, nunca yemas florales (Alvarado & Rojas, 2007)

Raíces o sistema radical. Las clases de raíces que tiene el cafeto son: pivotante, axiales o de sostén, laterales y raicillas.

La pivotante puede considerarse como la raíz central, su longitud máxima en una plántula adulta es de 50 a 60 cm. Las raíces axiales o de sostén y las laterales se originan a partir de la pivotante; de las laterales generalmente se desarrollan las raicillas que, en un alto porcentaje (80-90%), se encuentran en los primeros 30 cm del suelo con un radio de 2 a 2.5 m a partir de la base del tronco. Las raicillas son muy importantes porque le permiten a la planta la absorción de agua y nutrimentos a partir del suelo (Alvarado & Rojas, 2007)

Hojas. Son opuestas y alternas en el tallo ortotrópicos y enramas plagiotrópica son opuestas. Son de color verde oscuro y brillante en la parte superior y verde claro en el interior ovales y terminan en punta, sus bordes son ondulados. Las hojas nuevas presentan una coloración bronceada o verde claro y después toman su coloración definitiva (Rodríguez, 2009)

Semilla. La semilla está rodeada de una doble envoltura perfectamente adherida al albumen, del cual no se diferencia al principio. Cuando el fruto ha llegado a su mayor grado de desarrollo se encuentra entre la capa pergaminosa y el albumen una película sumamente tenue, espejisa y casi transparente, que resulta de la diferenciación del tegumento externo. Suele desarrollarse sólo un ovulo y entonces el grano único es convexo por toda la periferia y ocupa casi el centro del fruto, el lóculo estéril permanece rudimentario. El grano toma entonces el nombre de caracolillo por la semejanza que tiene con la concha de algunos moluscos (Gómez G. , 2010)

Propagación. El cafeto se propaga sexualmente mediante el empleo de semillas producto de la autofecundación; es la manera de propagación comúnmente utilizada en nuestro medio, Además, puede propagarse asexualmente por estacas, injertos de yemas y mediante el empleo de

cultivo de tejidos. Esta última técnica de reproducción asexual se realiza a partir de pequeñas secciones de tejido vegetal, denominadas “explante” (Alvarado & Rojas, 2007)

Semilleros y preparación de la semilla. El primer paso es la selección de la fuente de semilla. Se debe elegir entre comprar la semilla o producirla en la empresa. En el primer caso, tenerse cuidado de que el origen sea de absoluta confianza, tomando en cuenta lo siguiente; que debe identificarse las plantaciones de cafetos de donde obtiene la semilla, y estos deben mantener la pureza de la variedad, producción y comportamiento; darle el adecuado procesamiento y cuidado al fruto y seleccionar de forma adecuada la semilla (ANACAFE, 1998; citado por Martínez, 2005)

El éxito de la siembra depende, sobre todo, de la elección de la semilla, de la manera cómo se recoge y de la preparación que se le hace sufrir antes de depositarla en la tierra. El grano propio para germinar requiere haber recibido una buena conformación y un buen grado de madurez, lo cual se reconoce en que ha llegado a su mayor desarrollo, cuando se desprende naturalmente de la planta madre. Siendo el cafeto una planta que durante varios meses del año tiene frutos, siempre será fácil durante la fructificación recoger las semillas poco tiempo antes de verificar la siembra, teniendo cuidado de hacerlo con gran esmero, para escoger los frutos recientemente caídos de los arbustos que tengan la mejor conformación. El café mejor conformado es el que entre nosotros lleva el nombre de planchuela, y éste es el que se debe elegir para las siembras, pues el llamado caracolillo, padeciendo un vicio de conformación, es del todo impropio para este objeto, a pesar de la opinión de muchos cultivadores que tienen la creencia errónea de que produce pies más robustos y fuertes (Gómez G. , 2010)

Elaboración del semillero. Selección del lugar: éste debe ser un sitio plano, seco soleado y con acceso de agua para riego.

Sustrato. Debe estar libre de materia orgánica, de preferencia con textura arenosa o franco arenosa, volteado, revuelto y mullido; tamizado o si no libre de objetos extraños y terrones, en camas o tabloncillos de suelo de 20 centímetros de profundidad, de 1.0 a 1.20 metros. De ancho y largo necesario para la cantidad de semilla a sembrar y debe ser tratado para eliminar la presencia de los siguientes organismos: hongos, bacterias, insectos, nematodos y malezas (ANACAFE, 1998; citado por Martínez, 2005)

Algunos cultivadores aconsejan la formación de semilleros separados de la almáciga, y creemos que no es inconveniente hacerlo así; no obstante, con el objeto de simplificar el cultivo sin descuidarlo, daremos a conocer como más sencilla la práctica muy común entre los cultivadores de Guatemala, de formar el semillero en el lugar mismo donde se formará la almáciga. Con esto se consiguen dos ventajas: 1^a. Labrar sólo una porción de terreno, lo cual puede ser de consideración en algunos casos, y 2^a. Y más importante, evitar el trasplante del semillero al almácigo, operación que además del gasto que ocasiona tiene sus dificultades materiales, como haremos ver tratando del trasplante de asiento (Gómez G. , 2010)

Tratamiento del semillero. El sustrato utilizado para hacer semilleros debe ser tratado, para eliminar la presencia de organismos y microorganismos, tales como insectos, hongos, bacterias y nematodos. La manera más fácil y eficaz de eliminar todos estos agentes potenciales de futuros daños, es por medio de la desinfección y desinfestación del suelo (ANACAFE, 2011)

Cobertura. Los tabloncillos ya sembrados deben cubrirse con un material vegetal que esté libre de semilla. Pastos de hoja angosta y larga, como el vetiver, jaraguá y chipe son buenos materiales, que se pueden poner directamente sobre la superficie del suelo o bien sobre una serie de rejas o “marimba” de varas transversales, apoyadas sobre soportes longitudinales. El propósito de esta cobertura es crear condiciones más estables de humedad y temperatura, a la vez proteger

el tablón de la acción directa del agua de riego o de cualquier otro agente extraño (ANACAFE, 2011)

Las plántulas emergen a la superficie entre los 50 y 75 días después de sembradas. En este momento debe levantarse la cobertura, formando un “tapesco” o techo de entre 0.70 y un metro sobre el semillero, utilizando la misma clase de material que se utilizó para el semillero; esto permitirá el normal desarrollo de las plántulas y facilitará las labores de su manejo (Wagner, 2001)

Riego. Estos deben realizarse de acuerdo con un calendario que se ajuste a las condiciones del lugar, textura del sustrato y cobertura; el cual puede ser de dos a tres veces por semana o en días alternos. Si hay riesgos de mal de talluelo al levantar la cobertura, una vez se hayan erguido los “soldaditos”, conviene hacer una aspersion con un fungicida, como Alto 10, en dosis de 7 cc /4 galones de agua, o bien Benlate, Orthocide o Daconil, en dosis de 2.5, 15 o 10 gramos, respectivamente, en un galón de agua (ANACAFE, 2011)

Elaboración del almácigo. El lugar más apropiado para la colocación de la almáciga, así como la extensión que deba dársele depende de cuestiones enteramente concretas, de las circunstancias de la localidad. El agricultor para resolver este punto deberá fijarse en la economía que puede resultar en la mano de obra y en el acarreo o transporte. Así, es conveniente colocar las almácigas de manera que al efectuar el trasplante no sea necesario recorrer largas distancias, pues esto, además de que trae la pérdida de tiempo, puede ocasionar la pérdida de muchas plantas. Cuando el plantío sea de consideración es cómodo establecer varias almácigas distribuidas de tal manera que se eviten estos inconvenientes. La superficie del suelo será horizontal en cuanto las circunstancias lo permitan, o tendrá muy poca inclinación, pues así no estará muy expuesta a ser deslavada por las lluvias, y los riegos serán más fáciles y provechosos (Gómez G. , 2010)

La elaboración de un buen almácigo es parte fundamental en el éxito de la futura plantación, tradicionalmente existen dos sistemas: uno en bolsas de polietileno y el otro en el suelo. Aspectos que deben tomarse en cuenta para hacer un almácigo: de fácil acceso, cercano a los semilleros, topografía plana o moderadamente inclinada, con disponibilidad de riego, protección contra vandalismo, daño por animales y viento (ANACAFE, 2011)

Almácigos en tubetes. La producción de almácigo de café ha variado en los últimos años. Antes se producía en el suelo con arranca de adobe y después con poda de raíz, luego en bolsas y ahora se está utilizando el tubete. Esta producción de almácigo de plantas de café en tubete se empezó a utilizar en Brasil. Tiene sus ventajas: una de las más importantes es lo fácil de producir una mayor cantidad de plantas de almácigo con mejor aprovechamiento del espacio (Goyenaga, 2013)

Una innovación en la tecnología convencional para la producción de almácigos es la utilización de tubetes de polietileno de alta densidad que se han realizado diversos ensayos, para determinar la mejor manera de producir una planta vigorosa. Este sistema de producción de almácigos es muy eficiente puesto que reduce el tiempo, la cantidad de sustrato y los tubetes poseen una vida útil mayor que la bolsa por lo que reduce la contaminación ambiental al ser reutilizado hasta siete veces. (Blandón et al., 2008; citado por Gutiérrez y Muñoz, 2010)

Cobertura. La sombra puede ser proporcionada artificialmente a través de una ramada o en forma natural por medio de algunas especies arbóreas. Si la sombra es artificial, para el techo de la ramada, se recomienda utilizar palma de coco, la cual ofrece una buena protección y evita la proliferación de plagas. La sombra tiene como propósito: evitar quemaduras por los rayos del sol; conservar la humedad; reducir la temperatura del ambiente al interior del vivero y disminuir la

incidencia de algunas plagas como Cercospora, escamas, entre otros (Irigoyen, 2000; citado por Gonzáles, 2001)

Dependiendo de las condiciones de la finca, se puede utilizar sombra viva o muerta (tapesco). Las especies a usar como sombra viva deben ser de rápido crecimiento, de fácil manejo y que permitan la penetración uniforme de la luz. Conviene sembrar las semillas de sombra viva en filas paralelas a las bolsas, intercaladas cada una o dos hileras, según el follaje y la densidad de sombra deseada. Estas deben sembrarse cinco o seis semanas antes del trasplante de las plántulas a las bolsas. En fincas de zonas altas, húmedas y con frecuencia de días nublados, es recomendable reducir al mínimo la sombra en los almácigos. Las especies anuales o bianuales, es mejor sembrarlas en hilera continua y “entresacarlas” cuando alcancen el tamaño conveniente para sombra, dejando de cuatro a cinco plantas por metro. Lo que se arranca debe picarse para que quede como cobertura en el propio lugar. En zonas donde se carece de agua de riego y la época seca es prolongada (hasta seis meses), se recomienda que la sombra provenga de enramadas o tapescos. Estos deben tener una altura de entre 1.8 y 2 metros, preparados con madera, alambre galvanizado y ramas de plantas propias de la región o con sarán. Para conservar mejor humedad del suelo, es conveniente proteger las plántulas del efecto de los vientos, cubriendo los lados del tapesco (ANACAFE, 2011)

Sustrato para el llenado. Debe prepararse con los cuidados siguientes: Utilizar suelo franco, suelto y libre de raíces, piedras y cualquier material extraño. Incorporar materia orgánica completamente descompuesta como estiércol o pulpa de café. Preparar la mezcla por lo menos un mes antes del llenado de las bolsas o "tubetes". La proporción debe ser de 2/3 de suelo (67%) más 1/3 de materia orgánica con la mitad de material orgánico grueso (hojarasca, o "mantillo" de cafetal), a esto agregar de 2 a 4 Kg. de cal dolomítica por cada m³ de sustrato (una era de 0.20m

de alto, 1m de ancho y 5m de largo). Tratar el sustrato para vivero aséptico y en tubetes con un fumigante como Basamid G a 40 g por m de era. En algunos casos cuando el suelo es muy pesados se le puede agregar hasta 1/3 de arena por volumen (Irigoyen, 1997; citado por Gonzáles, 2001)

Para el llenado de "tubetes" se debe tener en cuenta cuidados como, llenarlos directamente de la era tratada, el sustrato debe estar un poco suelto pero sin polvo y poseer cierta humedad al momento del llenado. En el llenado del "cono" no deben formarse vacíos y el medio tiene que estar al ras del borde superior. Es importante conocer que una persona puede llenar 3000 a 3500 "tubetes" por día, para lo cual usa un poco menos de un m³ de sustrato ya que el m³ rinde entre 5000 y 5500 "conos" (Irigoyen, 1997; y citado por Mamani, 2013)

Camas de suspensión para los tubetes. Son camas que servirán de sostén para los tubetes, los marcos pueden ser de metal o de madera con malla de aproximadamente 2 pulgadas los orificios y dependiendo la cantidad a establecer, así serán las dimensiones para realizarlas, a una altura de un metro del suelo (ANACAFE, 2011)

Ordenamiento de tubetes. Los conos o tubetes deben colocarse en cada orificio de la cuadrícula de metal que forma las camas, inicialmente en forma continua hasta el crecimiento de la plantilla llegue a los 5 pares de hojas, a fin de que se aproveche el agua de riego, espacio, etc. A partir del quinto par de hojas deben separarse dejando en toda dirección de cada tubete, una cuadrícula de por medio sin tubetes y dejarlos así hasta que las plantillas alcancen el tamaño de siembra (PROCAFE, 1998; citado por Martínez, 2005)

Trasplante. Se debe seleccionar chapolas sanas y vigorosas con tallos de color verde y recto, con un buen sistema radical, es decir con una buena raíz principal. Se debe eliminar todas las chapolas amarillas, raquílicas y todas las que tengan raíces con dos patas, torcidas o sin pelos absorbentes (Alejo & Reyes, 2014)

Es esta operación una de las más sencillas pero delicada, y en la cual debe ponerse el mayor esmero, porque de otro modo se corre riesgo de perder los pies, sufriendo así la pérdida de los gastos que durante su permanencia en el almacigo les corresponde, y un aumento correspondiente a los de trasplante (Gómez G. , 2010)

Durante el trasplante, las plantitas se deben exponer al aire el menor tiempo posible, por lo que debe trabajarse con cuidado y rapidez. Esto se puede lograr tomando secciones de suelo con soldaditos, a manera de pilón, y previo al trasplante remojar la raíz en una solución de Captan o Disafol (captafol) en dosis de ½ onza/galón de agua y dar los pasos siguientes: Separar la plántula del pilón, revisar la raíz, podar la raíz, remojar la raíz en la solución desinfectante, sembrar en la bolsa y en la siembra, enterrar la raíz recta hasta el cuello de la plántula (Saravia, 1990; citado por Martínez, 2005)

Riego. El riego es importante, principalmente durante la época seca, ya que durante la estación lluviosa, el agua de lluvia cubre un alto porcentaje o casi toda la necesidad. EL riego debe proporcionar en forma racional, pero suficiente para que la humeada persista por un buen tiempo, sin que llegue el encharcamiento o cause daño a las plantas, en época seca se recomienda efectuar un riego diario, en algunos casos donde el sustrato posee alto contenido de materia orgánica y además se les incorpora materiales que tienen alta capacidad de retener humedad, aunado a condiciones climáticas favorables, como zonas altas con temperaturas frescas, el riego puede reducirse a tres o cuatro riegos por semana. La mejor forma de regar es tubete por tubete, pero esto solo se puede hacer cuando los viveros son pequeños, cuando son grandes es necesario regar por aspersión, micro aspersión y goteo para reducir los costos, aunque crea un ambiente favorable para los hongos por lo que son necesarias las aspersiones frecuentes con fungicidas (Irigoyen & Cruz, 2005)

Fertilización. Realizar cuatro fertilizaciones; dos con formula 15-15-15, colocando 1 gramo por planta, la primera a los 90 y la segunda a los 115 días, después de la siembra de la semilla y dos nitrogenadas con Urea 46% N, a los 140 y 165 días después de sembrada la semilla, a razón de 0.5 gramos por planta. El fertilizante se coloca haciendo tres agujeros de 1.5 cm de profundidad, alrededor de la plantita y cerca de las paredes del tubete. Complementar la nutrición al suelo con tres fertilizaciones foliares usando multimineral quelatizado en dosis de 12 cc por galón de agua, a los 90, 150 y 200 días después de sembrada la semilla (PROCAFE, 1998; citado por Martínez, 2005)

Otra fuente dice que en el caso de utilizar sustratos inertes como turba, fibra de coco o cascarilla de arroz se requiere un plan de fertilización tanto edáfica como foliar mediante fertirriego. En el sistema de producción de plántulas en confinamiento, para corregir deficiencias nutricionales, se recomienda diluir en agua un fertilizante completo tipo 10-30-10 o 15- 15-15 en dosis de 10 gramos por litro de agua, y aplicarlo al semillero tratando de humedecer el suelo, preferiblemente en horas de la tarde (FAO, 2010)

Eliminación de malezas. La eliminación de las malezas, tiene como objetivo disminuir la posibilidad de que las malezas sean refugio de plagas, también puede haber competencia por luz, nutrientes, aire, y del mismo modo puede favorecer al apareamiento de otras plagas, el control de malezas se debe realizar tanto en las calles, como en los tubetes y se recomienda realizarlo de forma manual, ya que por las condiciones de concentración de plantas y del tamaño de las mismas, la aplicación de herbicidas es de alto riesgo (Irigoyen & Cruz, 2005)

Control fitosanitario. El cultivo de café es afectado tanto por plagas y enfermedades que afectan de manera negativa los rendimientos y la producción. Las plagas muchas veces no

constituyen un problema grave o no se conoce exactamente que gravedad pueden alcanzar, pero un descuido en su control se convertiría en un problema muy serio.

Mal del talluelo. Las plagas y las enfermedades se controlan de manera más eficiente haciendo uso de diversas formas de control que enfrentan a la plaga de forma integrada. Los diversos tipos de control que podemos utilizar son: control biológico, cultural, mecánico, etológico y químico (Coral, 2012)

Es la enfermedad más importante de los semilleros, presentándose además en los almácigos. El patógeno es un habitante común del suelo. Se propaga rápidamente cuando existen condiciones de alta humedad en el suelo y exceso de sombrero que provocan un ataque súbito de la enfermedad. El síntoma principal es la formación de una lesión acuosa de color pardo oscuro o negra en la base del tallo, que provoca el marchitamiento y volcamiento de las plantitas (CICAFE, 2011)

Mancha de hierro. El hongo que causa esta enfermedad es *Cercospora coffeicola* que pertenece a la clase de los Deuteromicetes, se desconoce su fase perfecta. El hongo esporula abundantemente en las manchas necrosadas principalmente en el envés de la hoja, cuando existe alta humedad, las manchas una vez desarrolladas son de forma circular, y miden generalmente entre 4 y 15 mm de diámetro. (UNAS, 2007)

Antracnosis. La "antracnosis del café" es causado por varias especies del genero *Colletotrichum*: *Colletotrichum gloesporoides* de amplia distribución. *Colletotrichum coffeanum*. Este causa la enfermedad conocida como: "Coffe Berry Disease" (CBD). Restringido para el continente Africano.

El CBD es la enfermedad más importante en Kenya y otros países del África, mucho más que la "Roya del cafeto". Infecta principalmente ramas, flores y frutos causando daños enormes al

extremo de obligar a los caficultores a erradicar o abandonar sus plantaciones sustituyéndolas por otros cultivos (UNAS, 2007)

Muerte de los brotes. Se han descrito a los siguientes géneros asociados a esta enfermedad, tales como: *Phoma sp.*, *Phomopsis sp.* O *Phyllosticta coffeicola*. Sin embargo cuando el patógeno se desarrolla en las hojas se identifica como *Phyllosticta coffeicola* y cuando se aísla en los tallos es *Phoma* o *Microphoma sp.* El ataque de *Phoma sp.* Se encuentra en los brotes jóvenes, ya sea de plantas adultas o plántulas. En almácigo puede tener una incidencia del más del 80% (UNAS, 2007)

Chupadera fungosa. Agente causal: *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*. Esta enfermedad es más frecuente en almácigos y en viveros de café; se establecen en suelos compactados, con mal drenaje, excesiva humedad, baja fertilidad y valores de pH ácidos y demasiada sombra. El síntoma típico de chupadera es el estrangulamiento del tallo a la altura del cuello, las plántulas así afectadas se marchitan, doblan y luego mueren (UNAS, 2007)

Trasplante a campo definitivo. La edad apropiada para la siembra en el campo, será cuando la plantita haya alcanzado un promedio de 16 a 20 cm de alto, aproximadamente 9 a 11 “nudos” Que corresponden a cada par de hojas, incluyendo la cotiledonal. Esto se logra de los 6 a 7 meses después de la siembra directa de la semilla. Como regla general, el terreno debe estar limpio, libre de malezas y obstáculos que limiten el trazo y estaquillado del ahoyado para la siembra, estas labores realizadas con la debida anticipación (PROCAFE, 1998; citado por Martínez, 2005)

Siembra. Para la siembra, el hoyo debe estar abonado, semi compacto y al nivel del suelo. Realizar al centro del hoyo un agujero de 20 cm de profundidad, con la ayuda de una macana de madera de 8 cm de diámetro con punta achatada ((PROCAFE, 1998; citado por Mamani, 2013)

Para facilitar esta tarea, mantener el suelo del pilón con una buena humedad. Tomar un pedazo de madera rolliza de 2.0 cm de diámetro y 30 cm de largo, dar unos pequeños golpes en la

abertura superior manteniendo el tubete en forma vertical, para aflojar el pilón. Posteriormente tomar la planta del tronco y halarla hacia fuera; si no ceder, hacer presión alrededor del tubete con las dos manos, en forma de masaje. Otra forma es tomar el tubete invertido y golpear suavemente la orilla o abertura superior sobre una superficie plana, realizando giros para que los pequeños golpes desprendan el pilón uniformemente (PROCAFE, 1998; citado por Martínez, 2005)

Recolección de tubetes. Después de efectuada la siembra, los tubetes deben recogerse, lavarse y trasladarlos a la bodega, para guardarlos en cajas o sacos limpios. Antes de ser usados nuevamente, sumergirlos durante doce horas en una solución de hipoclorito de sodio (lejía comercial), para eliminar cualquier patógeno adherido a las paredes del cono. Esta solución se puede preparar así; si se desea obtener diez galones de solución de hipoclorito de sodio al 2.5%, mezclar 5 galones de lejía comercial (Hipoclorito de Sodio al 5%), con 5 galones de agua (PROCAFE, 1998; citado por Martínez, 2005)

Mantenimiento. Las plantas sembradas en el campo, producidas en viveros usando tubetes, reciben cuidados similares a los que se realizan en una siembra tradicional con relación a la cantidad, dosis y épocas de realizar la fertilización, limpias, manejo de la sombra temporal, semi permanente, permanente, así como el combate oportuno de plagas y enfermedades (PROCAFE, 1998; citado por Mamani, 2013)

Importancia económica. En Guatemala el café es un cultivo tradicional de gran importancia. La producción máximo se dio en 1999 cuando se produjo más de 5.5 millones de quintales con una superficie que superó las 400 mil hectáreas. Ocupa tan sólo el 3.4% del territorio nacional, desde 1999 el cultivo ha decaído en volumen por diversas razones: caída de productividad, caída de márgenes y por último el tema de la roya, en materia de tipo de productores se segmentó la industria sin duda. El 97% de los productores son pequeños caficultores pero

producen el 47% del volumen total. Los medianos producen un 31% y los grandes un 22%, el departamento más importante para la producción es Santa Rosa donde se produce el 14.3% del total, seguido por Huehuetenango con un 14.2% y Chiquimula con 9.7%. Sólo dos departamentos no reportan cultivo según Anacafé confirmando que el cultivo es prácticamente en todo el país, el café es un gran generador de divisas para el país que permite respaldar la moneda y también posibilita la compra de importaciones para el consumidor nacional. En el año 2011 cerca de US\$ 1,200 mm entraron al país, luego vino la caída de precios y roya y dicho monto se ha estabilizado en torno a US\$ 650 mm, cerca de 400 mil empleos directos o indirectos están ligados al café. En áreas rurales llevando ingresos a lugares donde no hay oportunidades laborales. Son casi 2.5 millones de personas ligadas de alguna manera al café (De Leon, 2017)

En Guatemala, el sector cafetalero significó 2.5% del producto interno bruto en el 2016, y más de 125 mil productores entre estos, 97% son pequeños caficultores que producen el 47%, los medianos 31% y los grandes 22% se añadió. También significa unos 400 mil empleos directos o indirectos, refirieron ambas organizaciones (Bolaños, 2017)

1.1.2 Silicio

Origen del Silicio. El silicio en el suelo procede fundamentalmente de la degradación de las rocas ígneas. En él se encuentran como sílice, (SiO_2), y como constituyente de muchos silicatos y minerales arcillosos (Navarro, 2003)

El Silicio (Si), el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, ayuda a que las plantas superen diferentes situaciones de estrés biótico y abiótico. Lamentablemente, su rol en el crecimiento y desarrollo de las plantas fue desestimado por muchos años hasta el inicio del siglo XX (Sephu, 2007)

El silicio es uno de los elementos químicos cuyo símbolo es "Si" y que se encuentra en la tabla periódica en el grupo 14 o IVA. Por su abundancia ($2,57 \times 10^5$ p.p.m.) es el segundo elemento que más se encuentra en la corteza terrestre después del oxígeno ($4,95 \times 10^5$ p.p.m.). Este material compone alrededor del 20% de la corteza terrestre. Forma parte, en la tabla periódica, de la familia del carbono pero, a diferencia de éste, no se lo encuentra en la naturaleza en estado puro sino, generalmente, combinado con oxígeno en su mayoría formando óxidos de Si (SiO_2 , dióxido de silicio) y silicatos. El SiO_2 abunda en distintas formas como el cuarzo, ágata, jaspe, carnelia, ópalo y pedernal. La arena es en gran parte dióxido de silicio y la mayoría de las rocas corrientes, salvo calizas o dolomitas, contienen silicio: por ejemplo, el feldespato $\text{Si}_3\text{O}_8\text{KAl}$; el asbesto $(\text{SiO}_3)_4\text{Mg}_3\text{Ca}$; la mica $(\text{SiO}_4)_3\text{H}_2\text{KAl}_3$; etc. (Martinez, 2011)

Importancia del Silicio en la agricultura. Más conocido por ser el material básico de la industria electro-electrónica, en la composición de circuitos integrados o chips, presentes en todos los aparatos electrónicos, tales como computadoras y celulares, el silicio ahora está presente también en la agricultura brasileña para controlar plagas, aumentar la productividad y mejorar la calidad de productos agrícolas. Uno de los estudios más recientes en Brasil fue realizado por un equipo de investigadores coordinado por el ingeniero agrónomo Carlos Alexandre Costa Crusciol, profesor del Departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Estadual Paulista (Unesp), con sede en la ciudad de Botucatu. Ellos finalizaron en mayo de este año un experimento que mostró los beneficios de la aplicación de silicio en el cultivo de la papa, en la forma de abono, incorporando el elemento al suelo (Filgueiras, 2007)

El Silicio desempeña diversos roles en las plantas, desde potenciar el crecimiento y rendimiento hasta acciones más complejas como mejorar la resistencia a la toxicidad por metales, estrés salino, resistencia a sequía, resistencia a herbívoros y resistencia a enfermedades. Muchos

suelos tropicales son potencialmente bajos o limitantes en Silicio. En la actualidad, el Silicio todavía no es considerado un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, pero se han observado los efectos beneficiosos de este elemento en el crecimiento, rendimiento y resistencia a enfermedades en muchas especies vegetales (Sephur, 2007)

Además El silicio tiene un papel importante en las relaciones planta-ambiente, porque puede dar al cultivo mejores condiciones para soportar adversidades climáticas, del suelo y biológicas, teniendo como resultado final un aumento en la producción con mejor calidad del producto (Filgueiras, 2007)

En los centros de investigación de muchos Países (Brasil, Australia, Canadá, China, India, Japón, Corea, Holanda, México, Rusia, Sudáfrica, Tailandia, Reino Unido, Venezuela y Vietnam, etc.), se está trabajando con este elemento y la aplicación de Silicio ha mejorado el desempeño de los cultivos en campo abierto y en invernaderos. Por tanto la concienciación del mundo agrícola es de que el Silicio (Si) es un elemento muy importante en la agricultura y que cada día se conocen más los beneficios que aporta a las plantas, a su vida, su rendimiento y su salud (Sephur, 2007)

La fertilización con silicio puede también aumentar la resistencia a varias enfermedades de hongos y otras plagas. La mayor absorción de ese mineral suministra una protección mecánica de la epidermis de la planta capaz de reducir la infección de fitopatógenos y aumentar la resistencia a la sequía. “En el caso de las enfermedades, innumerables trabajos muestran que el aumento de la resistencia de la planta al patógeno puede ser debida a una alteración de las respuestas del vegetal al ataque del parásito, aumentando la síntesis de toxinas (fitoalexinas), que pueden actuar como sustancias inhibidoras o repelentes, además de formar una barrera mecánica.” (Filgueiras, 2007)

El 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 (Sephu, 2009)

Mejora la resistencia a las sequías en las plantas. La fertilización con silicio puede optimizar el aprovechamiento del agua de riego en un 30 a 40%, ampliando los intervalos del riego sin efectos negativos en las plantas. Adicionalmente, la fertilización con minerales de silicio activo, permiten completar la rehabilitación de suelos afectados por sales, compactación y bajos niveles de pH (Sephu, 2007; citado por España, 2016)

Aumenta la absorción del fósforo en las plantas. Propicia la eficiencia de la aplicación de fertilizantes minerales fosforados de 40 a 60% y en el caso de roca fosfórica de 100 a 200%. La fertilización con minerales ricos en silicio promueve la transformación del fósforo no disponible para la planta en formas asimilables y previene la transformación de fertilizantes ricos en fósforo en compuestos inmóviles (Sephu, 2007; citado por España, 2016)

El Silicio en el suelo. Su contenido es variable, ya que hay que tener en cuenta que es, después del oxígeno, el elemento más abundante en la litosfera. Expresado como SiO_2 , puede alcanzar en la capa arable rangos entre 60 y 90 %. La forma soluble asimilable por la planta SiO_4H_4 , se encuentra en la disolución del suelo, y su concentración está regulada por el PH, el cual a su vez limita sus reacciones de adsorción con hidróxidos de hierro y aluminio. Los suelos ácidos contienen las mayores concentraciones (Navarro, 2003)

Se ha demostrado, asimismo, una notable correlación Si-P. El aporte al suelo de fertilizantes silícicos solubles incrementa la asimilación de fosforo por la planta, posiblemente debido a un intercambio de los fosfatos adsorbidos a los hidróxidos por silicatos. Por esta razón, en suelos ácidos pobres en silicio resulta muy apropiado adicionar escorias básicas de desfosforilación, las

cuales, junto al aporte de cantidades variables de calcio, magnesio, manganeso y silicio, sirven para una mejora del PH del suelo y para favorecer la asimilación del fosforo (Navarro, 2003)

Para lograr cantidad importante de silicio asimilable por las plantas, debe aplicarse al suelo productos que al reaccionar con el agua forme Ácido Monosílico (Ácido Silícico) que es débilmente adherido en el suelo. Éste a pesar de tener poca migración en el suelo, tiene el inconveniente que puede perderse por lixiviación, El anión silicato al tener afinidad con el anión fosfato, al aumentar la concentración de Ácido Monosílico en la solución del suelo produce transformaciones que hacen que fosfatos no aprovechables por las plantas, se conviertan en fosfatos aprovechables (Fertilizante de Centroamérica, 2008; citado por Herrera, 2011)

Una vez formado el Ácido Silícico, este reacciona con los fosfatos insolubles de hierro, manganeso, aluminio y calcio formando silicatos de cada uno de estos elementos, productos que son insolubles, por consiguiente, no pueden ser absorbidos por las plantas, liberando el ion ortofosfato primario (forma de fósforo que absorben las plantas) para que entre a la solución del suelo (Viana, 2008; citado por Herrera, 2011)

La reacción química que al aplicar silicio solubiliza al fósforo, especialmente con el hierro, sería la siguiente: $2\text{FePO}_4 + \text{H}_4\text{SiO}_4 = \text{Fe}_2\text{SiO}_4 + 2\text{H}_2\text{PO}_4$ - (Quero, 2008; citado por Herrera, 2011)

La recuperación del fósforo insoluble en compuestos de hierro, aluminio, calcio entre otros, es de gran importancia, debido que este elemento presente en el suelo o aplicado a través de la fertilización con productos orgánicos o inorgánicos pueden ser fijados en mayor o menor cantidad dependiendo del pH. Al ser recuperados se aumenta la eficiencia y como consecuencia la disminución en los costos de producción del productor (Herrera, 2011)

El Silicio en las plantas. El ácido silícico es absorbido por las plantas para ser transformado continuamente en polímeros solubles. Se ha encontrado Silicio soluble dentro de la célula, en el citosol (hialoplasma), en las membranas cloroplásticas y también en asociación con el RNA y el DNA. Esta información sugiere que el Silicio puede tener una serie de sitios intracelulares de acción lo que explicaría sus propiedades estimulantes en la resistencia de las plantas a enfermedades (Sephu, 2007)

La disponibilidad del agua en el suelo es uno de los factores ambientales que más afectan el desarrollo del cultivo. “La presencia de mayor cantidad de silicio disponible en el suelo parece traer beneficios al cultivo en relación al déficit hídrico”, dice Crusciol. La acumulación de sílice en la pared celular reduce la pérdida de agua por transpiración, pudiendo ser un factor de adaptación al estrés hídrico (Filgueiras, 2007)

La fertilización con silicio puede optimizar el aprovechamiento del agua de riego en un 30 a 40%, ampliando los intervalos del riego sin efectos negativos en las plantas. Adicionalmente, la fertilización con minerales de silicio activo, permiten completar la rehabilitación de suelos afectados por sales, compactación y bajos niveles de pH (Sephu, Noticias sephu, 2007)

Fuentes de Silicio. El desarrollo de la vida en la tierra se realizó en una corteza terrestre rica en minerales con silicio (25 al 30% del peso seco), los cuales en presencia de agua, capturaron el bióxido de carbono del aire (CO₂ (gas)), ocurriendo la intemperización, creándose las formas solubles de ortosilicatos, carbonatos, bicarbonatos y cationes (calcio, magnesio, zinc, hierro, etc.) (Quero, 2018)

Los Productos de Silicio (Si), vienen del segundo elemento más abundante sobre la corteza de la tierra luego del oxígeno, son considerados un elemento benéfico para el desarrollo y

crecimiento de las plantas. El silicio permite que las plantas logren sobreponerse a los efectos del estrés biótico y abiótico (Datnoff, 2017)

El silicio se puede aplicar a partir de minerales primarios amorfos ricos en silicio (MPASi), los cuales inducirán la captura del CO₂(gas) y formas solubles de silicio (ácido ortosilícico H₄SiO₄), ácido carbónico (H₂CO₃), bicarbonatos (HCO₃), carbonatos (CO₃²⁻) y cationes Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), potasio (K⁺), zinc (Zn²⁺), hierro (Fe²⁺). El MPASi debe aplicarse desde el establecimiento de la semilla en la producción de plántula y formar parte del sustrato donde se desarrollara la planta y mantener una concentración en la solución nutritiva de 70 a 150 ppm (Quero, 2018)

Hay una serie de fuentes sólidas y líquidas de Si en el mercado, que han sido utilizados como enmiendas de suelo o fertilizantes: Diatomita, silicato de calcio, metasilicato de sodio, silicato de potasio, silicato de magnesio, ácido ortosilícico, dióxido de silicio hidratado, metasilicato de calcio. Para que estos materiales sean útiles, deben cumplir con una serie de criterios, que incluyen un contenido relativamente alto de Si soluble, una condición material que facilite su almacenaje y aplicación y que no contengan sustancias que contaminen el suelo como los metales pesados. Las fuentes sólidas que han sido utilizadas con éxito en incorporaciones al suelo incluyen la wallastonita – un silicato de calcio CaSiO₃ natural- un subproducto de las industrias del fosfato y el acero, termofosfato y cemento. Los residuos de cultivo (ejemplo, cáscara de arroz) también son una fuente potencial, pero debido a su lenta solubilidad en el suelo, no les permite suplementar las necesidades inmediatas de los cultivos (Datnoff, 2017)

En el 2007, un silicato de potasio (Sil-MATRIX[®], PQ Corporation) fue registrado por la Environmental Protection Agency (EPA) en Estados Unidos y certificado por Organic Materials Review Institute (OMRI) como un pesticida orgánico para el control preventivo de oídio y el

control de ácaros y áfidos en cultivos de alto valor como uva vinífera, fresas, arándanos, entre otros (Datnoff, 2017)

Las características de una fuente aceptable de silicio (Si) son: un alto contenido de Si soluble, propiedades físicas que conducen a la aplicación mecanizada, disponibilidad fácil y bajo costo. Dado que el Si es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, encontrar fuentes de Si es fácil. Pero, Si siempre se combina con otros elementos y la mayoría de las fuentes son insolubles (Gascho, 2001)

Para una fuente dada, la solubilidad está indirectamente relacionada con el tamaño de partícula. Algunas fuentes son solubles, pero demasiado costosas para uso general. El silicato de potasio se utiliza en la nutrición para controlar la enfermedad en algunos cultivos de alto valor. El silicato sódico y el gel de sílice también se han utilizado para suministrar Si en investigación y cultivos de alto valor. Los silicatos de calcio se han convertido en las fuentes más importantes para aplicaciones en el suelo. De ellos, *meta*- silicato de calcio (wollasonita, CaSiO_3) ha sido la fuente más efectiva en muchos lugares con bajas concentraciones de Si soluble en los suelos (Gascho, 2001)

Los minerales del suelo y la materia orgánica controlan las propiedades físicas y químicas del suelo. El silicio (Si) es un elemento básico de formato mineral. Se ha informado que la fertilización con silicio da como resultado una mayor capacidad de intercambio de suelo, regímenes mejorados de agua y aire, transformación de minerales que contienen P y formación de alumosilicatos y silicatos de metales pesados. Todos estos efectos son causados por el cambio en la composición mineral del suelo que resulta de la adición de silicato (fertilizantes de Si) y / o la formación de nuevos minerales de arcilla, que se caracterizan por una alta actividad biogeoquímica (Gascho, 2001)

1.2 Antecedentes

España (2016), evaluando el silicio en el desarrollo del café en vivero, Esquipulas, Chiquimula. Teniendo como objetivo principal evaluar el efecto de tres niveles de silicio en dos variedades de café, para determinar su efecto en la absorción de nutrientes y desarrollo vegetativo. A través de un diseño de bloques completamente al azar distribuido en parcelas divididas, con un total de ocho tratamientos conformados por una variedad de café y un nivel de silicio, más un testigo, siendo los tratamientos: tres aplicaciones de silicio con una dosis de 10, 20 y 30 g/planta a los 60, 90 y 120 días después de la siembra en bolsa en sus respectivas combinaciones. Evaluando las variables: Altura de la siembra (cm), diámetro del tallo (mm), longitud de la raíz, absorción de nutrientes, esto se llevó a cabo a los 150 días después de la siembra del almacigo a la bolsa. Encontró que en relación a la altura en base a los niveles de silicio la aplicación de 30 g/planta supero los resultados del resto de los niveles evaluados teniendo como resultados mayor altura en la variedad ANACAFE-14 que en la variedad lempira, también encontró que en relación al tallo la variedad lempira obtuvo mayor diámetro de tallo que la variedad ANACAFE-14. Concluyendo que la aplicación de 30 g/planta mostro diferencia significativa en el crecimiento en ambas variedades durante su etapa de vivero, donde se observaron valores superiores en las plantas con silicio en comparación a los tratamientos sin aplicación.

Nájera (2016), evaluando la disponibilidad en el suelo y contenidos de fosforo en plantas de café en respuesta a la aplicación de silicio en Barberena, Santa Rosa. Teniendo como objetivo principal conocer el proceso de nutrición del cultivo de café para el manejo sostenible y productivo del cultivo de café variedad catuaí. A través de un diseño de bloques completamente al azar de nueve tratamientos, con tres repeticiones en arreglos de diez bolsas de almacigo sembradas con dos de ancho y cinco de largo, siendo los tratamientos: fuentes de silicio Armurox (silicio al 4.80%)

tres dosis (0, 3, 6 y 9 gr), TecnoSilix (óxido de silicio al 30%) tres dosis (0, 6, 9 y 12 gr), con las respectivas combinaciones. Evaluando las variables: Biometría de las plantas, peso fresco de raíces (gramos), peso seco de raíces (gramos) y longitud de la planta (centímetros). Encontró que los tratamientos en los cuales se utilizó TecnoSilix reflejaron diferencia significativa para las variables de altura, peso fresco y seco aéreo, aunque al realizar el análisis de varianza existió diferencia significativa para las variables evaluadas, durante la prueba medias se observa que el testigo estuvo dentro del grupo que mostro lo mayores valores de cada una de las variables evaluadas. Concluyendo que los diferentes tratamientos que adicionaban silicio al suelo bajo las condiciones que se encontraba el experimento el contenido aceptable del fósforo según el análisis del suelo no mostro mejoría en el crecimiento de la plántula, como establece la literatura.

Caicedo & Chavarriaga, (2008), evaluando el efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad colombiana, en el municipio de Chinchina, Colombia. Teniendo como objetivo general evaluar la respuesta de plántulas de café en almácigo a la aplicación de diferentes dosis de silicio. A través de un diseño experimental, en arreglo factorial 4 x 2 longitudinal, la parcela estuvo constituida por cuatro tratamientos, conformados cada uno por 64 plantas; cada tratamiento recibió una dosis de 0, 3, 6 y 9 g de dióxido de silicio al 90% por kg de mezcla, incorporado al suelo antes de siembra. Cada tratamiento fue dividido en partes iguales a las que se le aplicó una dosis de 0 y 3 g de DAP (Fosfato de amonio), dos meses después de siembra al lado de la planta. Evaluando las variables: peso seco total, peso seco raíz, peso seco parte aérea y diámetro de tallo, además la absorción del elemento silicio (Si) en el suelo y absorción en la planta. Encontró que es la misma tendencia en el crecimiento de la raíz, parte aérea y diámetro de tallo de los colinos a los seis meses de edad. Concluyendo que la dosis de seis g de Silicio más tres g de DAP maximiza la acumulación de biomasa representada en

peso seco total, destacando además para las variables peso total como mejores resultados a los tratamientos de seis g de Silicio más DAP y nueve g Silicio más DAP.

García (2012), evaluando el efecto de la aplicación de dosis de silicio más abonos orgánicos en la poda de rehabilitación de plantas de café en el distrito de Alonso de Alvarado Roque, Perú. Teniendo como objetivo general comparar el efecto de la aplicación de una solución de minerales y ácidos orgánicos, enriquecida con tres dosis de silicio en mezcla con un abono organomineral sobre la poda de rehabilitación del cafeto y determinar dosis de la formulación de silicio que mejor contribuya en inducción de crecimiento de brotes en la planta. A través de un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones y cinco tratamientos, haciendo un total de quince unidades experimentales, donde se estudió el efecto de una solución enriquecida de silicio más abonos orgánicos, siendo los tratamientos; combinaciones del abono Organo-Mineral compuesta por: Guano de isla, roca fosfórica, sulfato de potasio, ulexita, magnecal, sulfato de cobre, sulfato de zinc, sulfato de manganeso (A.O) y una Solución de minerales y ácidos orgánicos enriquecida con tres dosis de Silicio (5, 10, 15 cc silicio/planta), más un testigo absoluto (T0). Evaluando las variables: precocidad de brotamiento, número de ramas/brote, número de hojas/brote. Encontró que los tratamientos con aplicación enriquecida con silicio: T2 (5 cc), T3 (10 cc) y T4 (15 cc) tuvieron mayor precocidad de brotamiento después de la poda, sin existir significación estadística entre ellos. Concluyendo que la dosis 15 cc de Si, indujo el mayor número de brotes/planta con 10.03 brotes en promedio, superando a los demás tratamientos.

CENICAFE (2015), evaluando el efecto de la aplicación de silicio y lombrinaza durante la etapa de almácigo en el cultivo de café, en el municipio de Manizales, Colombia. Teniendo como objetivo principal evaluar el efecto de su aplicación en almácigo de café. A través de un diseño experimental completamente aleatorio en arreglo factorial (2 x 2 x 5 + 1) obteniendo 22

tratamientos, donde se estudió el efecto del silicio y lombrinaza, siendo los tratamientos: combinación de dos niveles de lombrinaza (con y sin), dos fuentes de Si (FC1, FC2), cinco dosis de Si (0,21 0,42 0,84 1,68 y 3,36 g.planta⁻¹) incorporadas en el sustrato antes del trasplante y un testigo sin aplicación del elemento para cada nivel de lombrinaza. Para los tratamientos con abono orgánico se utilizó la proporción recomendada por Cenicafé: tres partes de suelo por una de abono (v/v) (3:1). Evaluando las variables de respuesta peso de la biomasa seca de raíces y de parte aérea, rigidez estructural del tallo para las quince plantas de todos los tratamientos. Encontró que los que en las dosis de la FC1 no incrementaron significativamente el crecimiento de raíces de las plantas de café durante la etapa de almácigo. Concluyendo que no se encontraron efectos considerables del fertilizante con mayor contenido de Si (FC1) sobre las variables biológicas evaluadas, puede afirmarse que la aplicación de Si en suelos con características similares a las unidades evaluadas en el presente estudio no mejora el crecimiento del café durante la etapa de almácigo.

Furcal & Herrera (2013), evaluando el efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz, en La Vega, Florencia, San Carlos, Costa Rica. Teniendo como objetivo principal evaluar el efecto del silicio en la fertilidad del suelo, incidencia de enfermedades y plagas insectiles, rendimiento y la calidad de granos del cultivo de arroz. A través de un diseño de bloques al azar con arreglo factorial aumentado ($2 \times 2 + 1$), donde los factores son silicio, aplicado al suelo y foliar, y aplicación o no de productos químicos para el control de plagas y enfermedades en cada uno de los tratamientos de silicio, más un adicional que fungió como testigo (TT), con tratamientos de cuatro repeticiones cada una con una superficie de 300 m². Evaluando las variables: conteo de presencia de signos y síntomas de enfermedades, larvas, pupas y adultos de plagas, cada dos semanas y rendimiento por hectárea en kg. Encontró que Los resultados obtenidos a partir del análisis de suelo hecho previo a la siembra y los realizados posterior a las

cosechas fueron similares, sin presentarse efecto del silicio en las variables pH, acidez intercambiable, sumatoria de bases, fósforo, silicio, potasio, magnesio, calcio, manganeso, hierro, entre otras. Concluyendo que no hubo diferencia estadística significativa del silicio en la fertilidad del suelo, la incidencia de plagas y enfermedades, sin embargo, la combinación del silicio aplicado al suelo y el uso de plaguicidas incrementaron el contenido de zinc y cobre en el suelo.

Borda, Barón, & Gómez (2007), evaluando el silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa L.*), en la sabana, Bogotá. Teniendo como objetivo principal evaluar el efecto benéfico del silicio mediante curvas de crecimiento. A través de un diseño estadístico completamente al azar con arreglo factorial 2x5 con diez tratamientos y cuatro repeticiones conteniendo como factor principal épocas de aplicación (presiembr y macollamiento) y como factor secundario dosis de (0, 50, 100, 150 y 200 mg.kg de ácido monosilícico como fuente de mayor asimilación en los cultivos. Evaluando las variables: Respuesta en altura de la planta, diámetro del tallo, numero de macollas, materia seca en follajes y materia seca en raíces. Encontró que la respuesta es positiva en el aumento de tamaño de tallos y mayor número de hojas activas con el aporte de silicio, en cuanto a las dosis de 150 y 200 mg.kg, se observaron detrimentos en la variable altura con respecto a la dosis de 50 y 100 mg.kg, ya que de forma directa la libración de fosforo pudo generar deficiencias de zinc. Concluyendo que los resultados del estudio se comprueba las respuestas del silicio y la eficiencia de la fuente ácido monosilícico aplicado en presiembr con dosis entre 50-100 mg.kg-1, siendo benéfico este elemento para el manejo de la fertilidad de Typic Hapludands (fase saturada) en dicho cultivo, las cuales se observan en la mejor asimilación y transformación eficiente de nutrientes del suelo (incrementos en materia seca aérea, materia seca de raíz, altura).

Baldeón (2009), evaluando el efecto de la aplicación de biol activado y silicio en la calidad del cultivo de alcachofa (*Cynara scolymus*), en Lacatunga, Ecuador. Teniendo como objetivo principal evaluar el efecto de la aplicación de biol con la combinación de silicio en la calidad de inflorescencias inmaduras en el cultivo de alcachofa. A través de un diseño de bloques completamente al azar con diez tratamientos y tres repeticiones, utilizando 16 unidades experimentales, siendo los tratamientos: Ortosilicato de potasio como fuente de silicio (aplicación foliar y al suelo, 4l/ha), biol (fermentación anaerobia de las heces frescas de bovino, suero de leche, melaza y levadura.) realizando aplicaciones en tres etapas fenológicas de la planta para el cultivo uno en producción con 32 semanas después del trasplante (SDT) con cuatro aplicaciones, 16 aplicaciones para el cultivo dos en crecimiento con catorce SDT y 18 aplicaciones para el cultivo tres, planta en desarrollo vegetativo inicial con ocho SDT. Evaluando las variables: Producción (número de inflorescencias, peso promedio en gr, producción kg/ha), calidad (ombligo, porcentaje de capítulos cosechados con ombligo). Encontró que en los tratamientos con silicio y biol activado los resultados del efecto son negativos reduciendo el número de capítulos, esto se puede atribuir a que el silicio en el suelo tiende a mejorar la disponibilidad de fósforo mas no debido a una aplicación excesiva de silicio foliar. Concluyendo que la aplicación foliarmente manifiesta efecto negativo mientras que aplicado al suelo mostró mejores pesos por capítulo en contraste al silicio aplicado al follaje.

Cabrera (2018), evaluando el efecto de aplicaciones de silicio sobre la virosis de melón en Estanzuela, Zacapa. Teniendo como objetivo evaluar el efecto de tres dosis de silicio en diferentes aplicaciones sobre el daño virotico a la planta del cultivo del melón. A través de unidades de producción donde se realizó un procesos de evaluación con aplicaciones de silicio en el cultivo del melón tipo Harper variedad caribbean Gold, teniendo como medio el diseño experimental

bifactorial en arreglo de parcelas divididas, distribuidas en un diseño de bloques al azar, con siete tratamientos y cuatro repeticiones, siendo los tratamientos: fuentes de silicio Tecnosilix (silicio y magnesio) tres dosis que son: 1 lt/ha, 2 lt/ha y 3 lt/ha. Evaluando las variables: Incidencia (cantidad de unidades vegetales, planta hojas y frutos que son afectados, expresándose como porcentaje de la población total evaluada), rendimiento (kg/ha de frutos), grosor interno de la hoja (determinado en laboratorio por microscopio expresado en micrones). Encontró que los tratamientos A1D3 y A2D3 fueron los que presentaron un mayor grosor en la hoja de cultivo, también encontró que los tratamientos A1D1 y A1D3 presentaron los menores porcentajes de incidencia, aunque después de realizada la prueba de análisis de varianza se observa que existe una diferencia estadísticamente significativa como efecto del número de aplicaciones en la séptima lectura de incidencia del virus. Concluyendo que la aplicación del silicio en el cultivo para el manejo de la virosis el factor influyente en la reducción de incidencia es el número de aplicaciones.

Gómez (2006), evaluando la fertilización foliar con silicio como alternativa contra la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* en tomate de cáscara, en Zumpango, estado de México. Teniendo como objetivo principal evaluar la aplicación foliar de silicio y miel de abeja en el control de la marchitez en tomate de cáscara causado por *Fusarium oxysporum*. A través de germinación de semilla que se llevó a cabo en charolas de unicel en un invernadero de producción comercial, utilizando como sustrato Peat moss®. Como pretratamiento se hicieron tres aplicaciones foliares con solución de miel de abeja al 2 % hasta el momento del trasplante. A los 28 días después de la siembra, en forma manual se hizo el trasplante, sobre el terreno regado con una lámina de 30 cm, barbechado y surcado (1.30 m entre surcos) y a una distancia entre plantas de 40 cm, una planta por mata, lo cual resulta en una unidad experimental de 78 m². Evaluando las variables: incidencia de marchitez con base en porcentaje del total del área sembrada. Encontró

que a los 23 DDT no hubo severidad de la enfermedad. Concluyendo que aquellas plantas que tenían en común la combinación de Silicio y miel de abeja presentaron menor severidad en este muestreo, lo que confirma que este elemento aumenta la tolerancia a la enfermedad en las plantas, no sólo en la resistencia fisiológica sino también la agresividad patogénica.

1.3 Justificación del proyecto

En almácigos de café el problema que más se manifiesta en la región de San Martín Jilotepeque a rasgos de pequeños y medianos caficultores, es la adquisición de plantas de mala calidad tanto fenotípicas como genotípicas, causando que plantaciones a campo definitivo tengan un impacto de pegue de hasta el 80%, sometiendo al caficultor a incurrir a otro gasto adicional, además de sufrir los efectos de la variación climática, favoreciendo a enfermedades fitosanitarias causando aplicaciones de fungicidas constantes, surgiendo de malas prácticas en la utilización de sustratos locales que poseen características químicas no adecuadas, dificultando la absorción de macronutrientes para la planta, siendo el más importante el fósforo.

Según Epstein y Bloom (2005), el silicio, es considerado un elemento benéfico para el desarrollo y crecimiento de las plantas.

El silicio controla el desarrollo del sistema radicular, asimilación y distribución de los nutrientes minerales, incrementa la resistencia de la planta al estrés abiótico (alta y baja temperatura, viento, alta concentración de sales y metales pesados, Aluminio, etc.) y biótico (insectos, hongos, enfermedades) (Sephur, 2007)

El hecho de aportar fertilizantes o productos que incorporan Silicio tienen un doble efecto sobre el sistema suelo-planta: en primer lugar refuerzan los mecanismos de protección de las plantas contra enfermedades y contra condiciones climáticas desfavorables, y en segundo lugar, el

tratamiento de los suelos con Silicio biogeoquímicamente puede optimizar la fertilidad del suelo mejorando las propiedades hídricas, físicas y químicas del suelo, mejorando la asimilación de nutrientes (Sephu, 2009)

En vista de que los almácigos en tubetes tienen la finalidad de disminuir tiempo en vivero y aprovechar las lluvias iniciales de invierno, el silicio favorecerá la asimilación de nutrientes por lo cual se pretende un mejor crecimiento de las plantas, incrementando el porcentaje de pegue.

Según España (2016), encontró que la mejor dosis de silicio para almácigos de café es de 30g. Por lo tanto, se propone la adaptación de aplicación de silicio en almácigos de café para reducir costos de producción mejorando la calidad de crecimiento del cultivo, logrando mayor porcentaje de pegue en campo definitivo con el propósito de encontrar una alternativa viable al caficultor para contrarrestar pérdidas en el proceso productivo del café, favoreciendo con el experimento a un promedio de 350 caficultores en lugares aledaños.

1.4 Objetivos del proyecto

1.4.1 General

Determinar el efecto del uso del silicio en el cultivo de café en tubetes, San Martín Jilotepeque, Chimaltenango.

1.4.2 Específicos

Determinar el efecto del silicio sobre el crecimiento vegetativo en plántulas de café en tubetes.

Determinar el efecto del silicio sobre el desarrollo radicular en plántulas de café.

Determinar el efecto del silicio sobre la asimilación de nutrientes en plántulas de café.

Determinar el efecto del silicio sobre resistencia al estrés biótico y abiótico en plántulas de café.

Determinar la factibilidad económica del tratamiento a usar a través de indicadores económicos.

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Descripción del proyecto

2.1.1 Contexto del proyecto

En términos generales la población de San Martín Jilotepeque, es predominante la agricultura, en la composición de su actividad económica absorbiendo alrededor de 56% (28,244 habitantes de 52,580) de la población ocupada, siendo la principal actividad económica, los cultivos predominantes maíz, frijol, ejote francés, tomate, café, chile, mini vegetales y frutas (Rivera, 2008)

Con respecto al cultivo de café, su actividad agrícola se realiza durante todo el año debido a que es un cultivo perenne, cultivando alrededor de 1,330 a 1,400 hectáreas de café en el departamento de Chimaltenango, el municipio de San Martín Jilotepeque se caracteriza por ser en su mayoría, medianos productores, presentando nuevas tierras aptas para sembrar este cultivo. El café es un gran generador de divisas para el país que permite respaldar la moneda y también posibilita la compra de importaciones para el consumidor nacional. En el año 2011 cerca de US\$ 1,200 mm entraron al país, luego vino la caída de precios y roya y dicho monto se ha estabilizado en torno a US\$ 650 mm. Cerca de 400 mil empleos directos o indirectos están ligados al café. En áreas rurales llevando ingresos a lugares donde no hay oportunidades laborales. Son casi 2.5 millones de personas ligadas de alguna manera al café (De León, 2017)

Sin embargo, en la cadena productiva del café, se establecen almácigos antes del inicio de invierno, siendo esta fase una actividad económica para familias, además de ser el primer pilar principal para el café, a pesar de ello la adopción de plántulas de café de mala calidad, ha sido el problema que más ha afectado en la región, debido a causas debidamente técnicas, utilización de sustratos de mala calidad, teniendo características químicas no adecuadas, mala elección de semillas con respecto a variedades y mal plan de fertilización, causando efectos negativos,

manifestándose al llegar a la fase de siembra a campo definitivo, menor porcentaje de pegue, plantas vulnerables al cambio climático, mala calidad en la producción, susceptibles a plagas y enfermedades, reponer las plantas muertas, elevando costos de producción, teniendo en cuenta que plantaciones como este cultivo serán establecidas por lo menos a 15 años. Al respecto, se han realizado estudios en otras regiones, para dar solución al mejoramiento de plántulas de café en almácigos, realizado por España (2016), evaluando la aplicación del silicio en el desarrollo del café en vivero, Esquipulas, Chiquimula.

En este sentido, se propuso realizar un proyecto que permita adaptar la aplicación de silicio en almácigos de café bajo las condiciones edafoclimáticas del municipio de San Martín Jilotepeque, lo cual permita a los productores de la región mejorar la calidad del cultivo en esta fase y mejorar sus porcentajes de pegue.

2.1.2 Tipo de proyecto

La producción de café en fase de almácigos es una más de las actividades en ingresos económicos y subsistencia en el sistema productivo del café. Sin embargo, recalcando el tema anterior donde la principal problemática es el porcentaje de pegue en campo definitivo se ejecutó el proyecto de grado que permitió adaptar la aplicación de un nivel (dosis) de Silicio en un vivero de café, utilizando la técnica de tubete, determinando la respuesta de éstos a través de indicadores agronómicos (altura de la planta, grosor del tallo, grosor de la hoja, cantidad de clorofila, porcentaje de pegue, entre otros) sin obviar los aspectos económicos.

Es importante agregar que aplicaciones de Silicio y fertilizantes en estudios anteriores se realizan en bolsas de polietileno. Sin embargo, lo que diferenció a este proyecto de la manera tradicional de los productores de almácigos, es la forma de producir plántulas, la cual fue

empleando la técnica de tubete, con la finalidad de tener una asimilación más rápida y factible del elemento Silicio y demás nutrientes, reducir la contaminación ambiental al producir más plantas en menos área. Fue así como los productores de almácigos manifestaron tener interés al proyecto siempre y cuando se tenga una respuesta positiva en cuanto al mejoramiento vegetativo de la planta y al analizar los costos al implementar el silicio como parte del sistema productivo de café en tubete.

Por tal motivo mediante el proyecto de grado, adaptando la dosis de Silicio en condiciones del municipio de San Martín Jilotepeque se pudo atender y dar una respuesta técnica al problema de porcentajes de pegue, mejorando las condiciones de la planta.

2.1.3 Tamaño del proyecto

El proyecto se realizó en la aldea los chayes, del municipio de San Martín Jilotepeque. El área utilizado fue de 30 m². Las dimensiones de cada parcela fue de 10 m x 10 m, dejando un distanciamiento entre parcelas de dos metros. Se utilizaron tubetes con dimensiones de 14.5 cm de largo y 160 cm³ de capacidad, distribuidos en una cama con cuadrículas de metal, que sirvieron de sostén, elevado a una altura de 0.50 m de altura y con una superficie de 1x3, contemplando una densidad de 160 plantas por parcela bruta y 150 plantas por parcela neta, teniendo un total de 320 plantas. Por la naturaleza del estudio y del cultivo se procedió a dejar dos parcelas brutas, una con aplicación de silicio y otra sin aplicación, tal como se detalla a continuación.

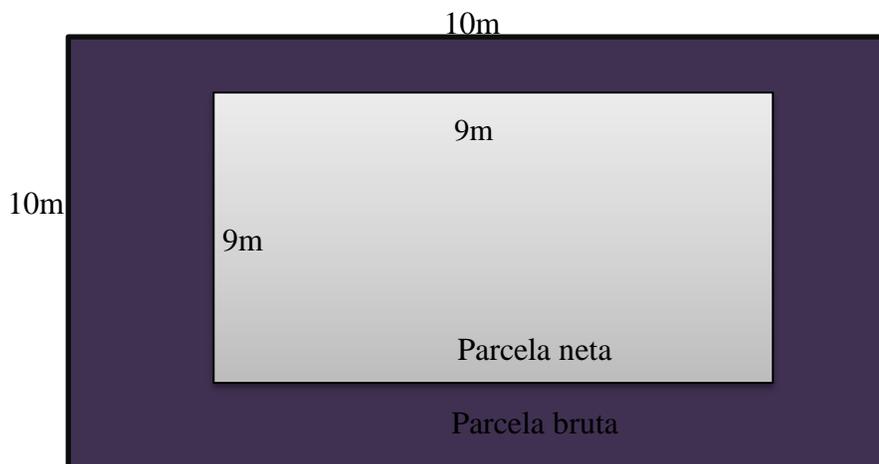


Figura 1. Croquis de la parcela. Parcela bruta y parcela neta, proyecto uso del Silicio en el crecimiento del cultivo de café; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango.

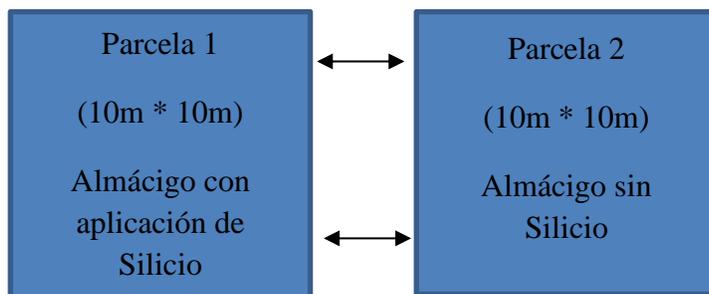


Figura 2. Croquis de campo, proyecto uso del Silicio en el crecimiento del cultivo de café; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango.

2.1.4 Descripción de la localización del proyecto

El municipio de San Martín Jilotepeque, se encuentra situado en la parte noreste del departamento de Chimaltenango, con una extensión territorial de 377 km². Se ubica a 21 kilómetros de la cabecera departamental de Chimaltenango y a 71 kilómetros de la ciudad de Guatemala, tiene una ubicación geográfica de Longitud 90°47'35'', Latitud 14°46'5'' y se encuentra localizado a una altitud de 1,786 metros sobre el nivel del mar, la vía de acceso es sobre la carretera interamericana (CA-1), se encuentra en una zona templada, tiene una temperatura media anual de

17.6 °C y una precipitación media anual de 1,141 mm.. La zona de vida según el mapa de zonas de vida a nivel de reconocimiento y basados en el sistema Holdridge de clasificación de zonas de vida de Guatemala, en el municipio se encuentran las zonas de vida de bosque húmedo montano bajo subtropical que se identifican con el símbolo bh-MB con un porcentaje de 65% del territorio, para esta primera zona de vida las especies son: roble , encino, pino y ciprés y bosque húmedo subtropical (templado) con el símbolo bh-S(t), el cual tiene un porcentaje de 31%, el uso principal de este suelo es netamente de manejo forestal. (Segeplan, 2010). El suelo en mayor proporción es para la agricultura de cultivos anuales, específicamente granos básicos. Además tiene un buen porcentaje de bosque natural y sobre todo mixto: arbustos- matorrales. En el municipio es general posee variedad de suelos, siendo estos barro, rojizo, blanco arenoso, pedregoso, arcilloso, tal petate, húmedo y seco (Segeplan, 2010)

Hidrografía, este municipio cuenta con 32 ríos, de los más importantes, Agua tibia, Blanco del Sargento, Pachum, San Jerónimo, Pixcaya, además del río Grande o Motagua que sirve de límite con el municipio de Joyabaj, Quiche; tiene 5 riachuelos, 64 quebradas y 9 lagunetas.

Según clasificación de tierras por capacidad de uso utilizado por el INAB, este municipio se encuentra ubicado dentro de las tierras altas Volcánicas (TAV), se caracteriza por ser tierras cubiertas de bosque, cultivos de subsistencia, hortalizas tanto de consumo nacional como de exportación y cultivos deciduos. Y una mínima parte del territorio del municipio pertenece a las tierras Metamórficas (TM), al noreste de la cabecera municipal. Y en sus accidentes orográficos comprende a las montañas de Santa Inés y la Montañita (Rivera, 2008)

2.1.5 Procedimientos

Material de estudio

Café. El cafeto arábigo (*Coffea arábica*) es un arbusto de la familia de las rubiáceas nativo de Etiopía; es la principal especie cultivada para la producción de café, obtenida a partir de las semillas tostadas, y la de mayor antigüedad en agricultura, datándose su uso a finales del primer milenio en la península arábica. (Agrobanco, 2012)

Variedad. Anacafé-14, en el año 1,981 el señor Francisco Manchamé, productor de la zona cafetalera del municipio de Camotán, Chiquimula, establece una pequeña parcela de café variedad Catimor, brote marrón, cerca de plantas de la variedad Pacamara. De manera espontánea, por medio de la hibridación natural, se obtiene una planta con características de alta vigorosidad, muy productiva y grano de tamaño grande. Después de varios ciclos de selección que han llevado más de 30 años, se obtiene esta excelente variedad denominada Anacafé-14, que además de las características ya mencionadas, tiene resistencia a roya, tolerancia a sequía y buena calidad de taza (ANACAFE, 2014)

Tubete. Es un cono de polipropileno, negro grisáceo, con estrías internas a lo largo del tubo y abierto en la parte inferior. Su peso es de 22 gramos aproximadamente. Las estrías sirven para orientar las raíces hacia abajo, y facilita la separación del “pilón” de las paredes del cono cuando se trasplanta. La abertura inferior detiene el crecimiento, realizando una especie de foto poda, incrementando el volumen radicular. El orificio superior está rodeado por una pestaña o borde, que sirve para ser suspendido en estructuras o camas en forma de cuadrículas, así se evita la reinfestación del sustrato ya tratado (PROCAFE, 1998; citado por Martínez, 2005)

Descripción del o los tratamientos a evaluar. El tratamiento estuvo conformado por una variedad de café y un nivel (dosis) de Dioxido de Silicio, se realizaron tres aplicaciones con 30 g por planta, aplicadas a los 60, 90 y 120 días después de la siembra a los tubetes.

Diseño de los tratamientos. Para el análisis del uso del silicio en almácigos, se realizó a través de comparación de dos muestras (Muestras pareadas), en este caso se seleccionaron individuos o cosas de dos en dos, es decir, por pares, de forma que a un miembro de cada par se le aplica un tratamiento y al otro miembro sin ningún tratamiento. Para el proyecto en la parcela uno se aplico el silicio y en la parcela dos sin silicio. El empleo de muestras pareadas, esta influenciado por las variaciones del ambiente, por lo que durante el desarrollo del proyecto se llevó un registro de las variables climáticas. Para evitar la variación las parcelas se colocaron una al lado de la otra, tal como se detalla en la figura dos. (Fernández , Trapero, & Domínguez , 2010)

Manejo del proyecto

Semilleros. Es el medio que se utilizó para la siembra de la semilla, con el objetivo de obtener plantas de café, sanas, vigorosas y de alta producción, seleccionando la semilla que garantice los resultados deseados, para esta actividad se dispuso de un tablón de 12 m de largo por 1 m de ancho.

Sustrato del semillero. El sustrato estuvo compuesto por una capa de arena de río teniendo un espesor de 20 cm.

Tratamiento del semillero. Para tratar el semillero se hizo una primera desinfección con agua hirviendo, posteriormente también con una desinfección química con un producto compuesto por dos ingredientes activos, MetilTiofanato y Etridiazole en dosis de 4 gr en cuatro litros de agua, tres días antes de la siembra de la semilla, con el propósito de eliminar insectos, hongos, bacterias y nematodos.

Época de siembra. Se consideró la época o periodo de almácigos, altitud sobre el nivel del mar de la localización, mitigar incidencias de enfermedades como el mal del talluelo, es recomendable realizar la siembra en época seca, de octubre a abril.

Sistema de siembra. Se realizaron excavaciones en bandas de 15 cm de ancho y 15 cm entre cada banda, no muy profundas tratando de no cubrir tres veces el tamaño de la semilla, teniendo el cuidado de no dejar una encima de otra.

Cobertura. Las semillas emergieron a la superficie a los 70 días después de la siembra, para la sombra se dispuso de sarán con un porcentaje de 50% de intensidad lumínica, haciendo uso de la misma para el almacigo facilitando su manejo.

Riego. Por las condiciones del lugar, textura del sustrato utilizado y el tipo de cobertura el riego se hizo tres veces a la semana de forma manual.

Almacigo o vivero. La elaboración de un buen almacigo es parte fundamental del éxito de futuras plantaciones. Los aspectos que se tomaron en cuenta fueron los siguientes: de fácil acceso, cercano al semillero, topografía plana, disponibilidad de riego, prevención al daño por animales y viento (España, 2016).

Se utilizaron tubetes con dimensiones de 15 cm de largo y 150 cm³ de capacidad.

Sustrato para el llenado de los tubetes. El sustrato que se utilizó para el llenado de los tubetes fue el tradicional o el recomendado por ANACAFE, 50% de suelo franco, 30% de pulpa de café y 20% de estiércol de res.

Ordenamiento de los tubetes. Los tubetes fueron distribuidos en una cama con cuadrículas de metal, que sirvieron de sostén, elevado a una altura de 0.50 m de altura y con una superficie de 1x3, al inicio fueron distribuidos de forma continua, colocando los tubetes en cada orificio, hasta que el crecimiento de las plantas alcanzo los cinco pares de hojas, a partir de los cinco pares de

hojas se separaron dejando un orificio en la cuadrícula de metal de por medio, quedando así hasta que llegó el periodo de siembra.

Trasplante. El trasplante se realizó al momento de que la plántula alcanzó el estado de mariposa como comúnmente se le conoce.

Fertilización. El plan de fertilización se realizó a cada 21 días, iniciando al momento de que la plántula alcanzó sus primeras dos hojas verdaderas, o cola de perico.

Fertilización al suelo en dosis de 10 gr por planta con fertilizante de formulación 20-20-0 diluida en agua y aplicado en drench, para esto se mezclaron en siete litros y medio de agua 1500 gramos y de la mezcla, 50 ml fueron aplicados por cada planta, por parcela.

De forma foliar fue el producto 20-20-20 en dosis de 7 gr por litro de agua.

Aplicación de Silicio. Para esta actividad fue aplicado a cada planta 30 gr de Dioxido de Silicio, a los 60, 90 y 120 días, que fue de forma disuelta en agua, mezclando 4,500 gr en siete litros y medio de agua, de lo cual alcanzó para aplicar de la mezcla 50 ml por planta a las 150 plantas por parcela.

Control de malezas. Esta actividad se realizó de forma manual, conforme la maleza fue emergiendo en los tubetes.

Control de plagas y enfermedades. Para el control de insectos se aplicaron 3 gr de terbufos por planta, cinco días antes del trasplante, una única vez, y para enfermedades se rotaron cada 15 días aplicando un producto compuesto por dos ingredientes activos, MetilTiofanato y Etridiazole de forma tranqueada en dosis de 6 gr por litro de agua y otro producto con ingrediente activo Benomyl de forma foliar en dosis de 6 gr por litro de agua.

Riego. Durante la época seca el riego se realizó en frecuencia de 3 veces por semana valiéndose de una regadera.

Siembra a campo definitivo. Para esta actividad se realizó un análisis físico del suelo, con el objetivo de conocer las características específicamente de textura, para lo cual fue necesario realizar ahoyados con dimensiones de 40x40 y 25 de profundidad de la cual posteriormente fue llenado con mezclas de suelo y abono orgánico quedando semi compacto, seguidamente se abrió un agujero de 20 cm de profundidad en el centro del ahoyado, con la ayuda de herramientas agrícolas.

Registro de datos. Esta actividad consistió en registrar los datos de indicadores agronómicos que se obtuvieron en las parcelas netas, registro de labores culturales realizadas, registro de desarrollo vegetativo, como resultados del proyecto para ser analizadas posteriormente. Esta actividad estuvo a cargo del evaluador del proyecto y todos los datos fueron registrados en una libreta de campo que luego sirvió como base para el diseño de una hoja electrónica y posteriormente el análisis estadístico.

2.2 Indicadores y medios de verificación

2.2.1 Indicadores de crecimiento vegetativo

Altura de la planta (cm). Se procedió a tomar la altura por planta que se realizó cuatro veces en todo el ensayo. Se empezó a medir a los 45 días después del trasplante, después las otras mediciones se realizaron de forma mensual. Para la obtención de este indicador se empleo un vernier, desde el nivel del sustrato hasta el ápice de la plántula.

Diámetro del tallo (mm). Para esta medición se realizó cuatro veces en todo el ensayo. Se empezó a medir a los 45 días después del trasplante, después las otras mediciones se realizaron de forma mensual. Para la obtención de este indicador se empleó un vernier.

Grosor de las hojas (mm). Para esta medición se realizó cuatro veces en todo el ensayo. Se empezó a medir a los 45 días después del trasplante, después las otras mediciones se realizaron de forma mensual. Para la obtención de este indicador se empleó un vernier.

Cantidad de clorofila. La medición de clorofila se realizó dos veces en todo el experimento. Se hizo la primera medición a los 75 días después del trasplante y la última fue al finalizar el experimento, se empleó un medidor de clorofila llamado CLOROFILOG, medidor electrónico de contenido de clorofila, que proporciona los datos en digital y mostró los resultados mediante valores que mantienen una correlación con la densidad de clorofila de la planta. Las medidas se tomaron in situ, que no fue necesario cortar las hojas ni dañar la planta de ninguna forma.

Longitud de raíces (cm). Para esta medición se empleó un vernier. Esta actividad se realizó al finalizar el experimento.

Análisis foliar. Se determinó el contenido de fósforo y potasio a nivel foliar a través de un análisis foliar y así poder conocer la asimilación de estos macro-nutrientes.

Porcentaje de pegado a campo definitivo (%). Este dato se extrajo al momento de transcurrir un mes después de la siembra a campo definitivo, determinando el número de plantas que fueron pegadas completamente.

Peso de raíces. Para la obtención de este dato se empleó una balanza analítica, peso de las raíces en gramos, para lo cual un primer peso de raíces fue tomado al final del experimento en fresco (150 días) y un segundo peso en seco a los (151 días).

2.2.2 Indicadores económicos

Para medir la viabilidad económica del proyecto, se tomarón en cuenta los siguientes indicadores: Costos totales por unidad de producción.

Como medios de verificación de los indicadores indicados anteriormente, se procedió a llevar un registro a través de la libreta de campo, bitácora de seguimiento y expediente de calidad, este último contempló un registro de fotográfico de todas la etapas del proyecto.

2.3 Metodología de evaluación del proyecto

2.3.1 Indicadores de resultados

Indicadores de logros. En cuanto a los cambios que se obtuvieron mediante la aplicación de silicio, el logro mas significativo fue una mejoría en cuanto a la respuesta de los porcentajes de pegue en las plantas tratadas. La aplicación de silicio proveyó las condiciones adecuadas para que las plantas realizaran sus procesos de asimilación de nutrientes y mejorara la calidad de sus raíces de manera eficiente, y su respuesta fue positiva ante las actividades del manejo agronómico dando como resultado plantas de buena calidad y listas para el trasplante a campo definitivo.

Indicadores de impacto. El proyecto tuvo un grado de satisfacción para los caficultores de la zona, a tal grado que es probable implementarse en la mayoría de viveros para cubrir las necesidades de mejorar los trasplantes a campo definitivo, la aceptación de esta tecnología por los agricultores esta influenciada en demostrar un resultado positivo más, al hacer uso del silicio en la agricultura, dado que es una alternativa a los efectos del cambio climático además que resulta amigable con el medio ambiente y reducción de costos de producción en la etapa de siembra en campo.

2.3.2 Indicadores de gestión

Indicadores de procesos. Se llevó a cabo un registro de cada una de las actividades contempladas en el manejo del proyecto, así como el cumplimiento de acuerdo al cronograma de ejecución. Toda la información se registro en la respectiva libreta de campo y bitácora de seguimiento. La secuencia de actividades que conllevó el proyecto está destinada para realizarse en los tiempos favorables, que garantizaron poder obtener los indicadores en los tiempos estipulados, donde se inició en actividades del semillero en época seca hasta alcanzar la época de invierno.

Indicadores de recursos. Los recursos que fueron destinados para el proyecto estuvieron dispuestos de tal manera que fue posible ejecutar el proyecto, se ajustaron al proyecto haciendo un buen aprovechamiento de los recursos y de las instalaciones, la semilla del cultivo de café que fue la parte primordial, se contó con la cantidad necesaria para el proyecto, siendo el material de estudio, haciendo eficiente cada variación que se dio en el proceso mediante medidas establecidas por el evaluador, llevando un registro, permitiendo validar los cambios del material de estudio.

2.4. Presupuesto del proyecto

Se tomaron en cuenta todas las actividades necesarias para la producción de almacigo. Los rubros que se tomaron en cuenta son los siguientes: semilla, tubetes, sustratos, cama, sombra, fertilización, mantenimiento, control de plagas y enfermedades.

El total de egresos para la realización del proyecto fue de Q. 2,062.00, en un área de 10x10m.

2.5. Cronograma de trabajo

El Proyecto dio inicio a partir de la fecha 14/01/2019 con las actividades de limpieza del área para establecer las camas de sostén para el almacigo, y finalizó el 17/09/2019 con la evaluación de las plantas 100 % pegadas, cabe recalcar que se mantuvieron en observación las plantas después de la fecha de finalización. En el cronograma se detallan las actividades y su inicio de acuerdo a las semanas del año 2,019.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Evaluación del proyecto

3.1.1 Aspectos técnicos

Resultados del crecimiento vegetativo. Los resultados de crecimiento vegetativo por planta, se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 1.

Resultados del crecimiento vegetativo por planta en la parcela con aplicación del elemento silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019.

No. Planta	Parcela con aplicación de Silicio					
	Altura (cm)	Diametro del tallo (mm)	Grosor de las Hojas (mm)	Clorofila (%)	Longitud de raíz (cm)	Peso de raíz (gr)
1	40	4	0.96	69.70	13.8	54.25
2	39.85	3.65	0.96	70	14.5	54.10
3	38.80	3.60	0.95	69.70	14	54.10
4	39.50	4	0.95	69.80	15	54.11
5	38	3.45	0.96	-	14.8	53.90
6	38.80	3.40	0.95	-	14.8	53.96
7	39.50	3.80	0.95	-	14.5	54.01
8	40	3.50	0.94	-	15	54.11
9	39	4	0.94	-	14.6	54.16
10	39.50	3.65	0.95	-	15	54.12
11	39.55	3.70	0.95	-	15	54.18
12	40	3.20	0.94	-	15	54
13	38.40	3.75	0.95	-	14.4	54.06
14	38.20	3.75	0.96	-	14.2	54.10
15	38.50	3.75	0.95	-	14	54.18
16	39	3.80	0.95	-	15	54.09
17	40	3.90	0.96	-	15	53.90
18	39.40	4	0.96	-	14.6	53.80
19	38.60	3.65	0.94	-	14.6	54
20	39.35	3.85	0.94	-	15	54.22
Prome dio	39.19	3.72	0.95	69.80	14.64	54.06

Tabla 2.

Resultados del crecimiento vegetativo por planta en la parcela sin aplicación del elemento silicio; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

No. Planta	Parcela sin aplicación de Silicio					
	Altura (cm)	Diametro del tallo (mm)	Grosor de las Hojas (mm)	Clorofila (%)	Longitud de raíz (cm)	Peso de raíz (gr)
1	38	3.65	0.95	57.90	14	54.10
2	38	3.65	0.96	57.90	14.6	54
3	38.50	3.60	0.95	57.70	14.5	53.08
4	39	4	0.95	57.80	14.5	53.15
5	37.50	3.40	0.96	-	14.5	54
6	37.50	3.40	0.95	-	14.8	53.56
7	39	3.50	0.95	-	13.7	54
8	38	3.50	0.93	-	13	52
9	38	4	0.93	-	13	53.90
10	39	3.60	0.95	-	13.5	52
11	37	3.60	0.95	-	14	53.70
12	37	3.75	0.94	-	13.7	53.70
13	37.20	3.75	0.95	-	13.6	53.70
14	37.15	3.75	0.95	-	13.7	53.20
15	37	3.70	0.95	-	13	54
16	37	3.75	0.95	-	13.10	53.96
17	36	3.85	0.96	-	14	54
18	36.50	3	0.96	-	14.5	54.05
19	36.80	3.60	0.94	-	14	53.90
20	37	3.80	0.94	-	14	54.05
Prome dio	37.54	3.64	0.94	57.82	13.88	53.60

En las tablas anteriores se muestran los resultados del crecimiento vegetativo por planta de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio, para lo cual se buscó tener una muestra estandarizada en donde se manejaron 20 plantas por parcela, siendo la parcela intervenida con aplicación del silicio y el grupo control sin intervención, por ello se suma el total de 40 plantas en total muestreadas.

Durante todo el experimento que tuvo una extensión de ocho meses, durante el inicio se presentaron bajas en algunas plantas trasplantadas que por lo general se dan de baja por el proceso de traslado del semillero al vivero, dado al estrés que sufren, se realizó una única vez la resiembra de estas, en las dos parcelas, concluyendo con el número total con las que se inicio. El grupo intervenido presentó en una evaluación conjunta que nos permite observar la media en cuanto a la altura por planta, al grupo donde se aplicó el elemento silicio es mayor con 39.19 a comparación con el grupo sin aplicación que su media es menor con 37.54. De lo cual se evidencia el aporte beneficioso para la planta reflejado en el crecimiento vigoroso de la planta.

En esta presentación de resultados sin el empleo de análisis matemáticos o estadísticos se observa una diferencia en los promedios, como efecto positivo del elemento definido para el experimento, demostrando una mayor formación y desarrollo vegetativos en las plantas, habiéndose aplicado un tratamiento estándar en los dos grupos, control de plagas y enfermedades, además de fertilizaciones que comúnmente el agricultor realiza en los almácigos.

A continuación se presentan los datos del experimento con el análisis estadístico sobre las mediciones en cada grupo, evaluando la diferencia entre pares comparados, la desviación obtenida, y que serán comparados en valores promedio y totales.

3.2 Analisis de altura por planta (cm)

Tabla 3.

Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable altura de la planta (cm) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

No. plantas	De Datos parcela A	Datos parcela B	Diferencia = X1-X2	D	Desviación $d = D - \bar{D}$	d^2
1	40	38	2		0.36	0.13
2	39.85	38	1.85		0.21	0.04
3	38.8	38.5	0.3		-1.34	1.80
4	39.5	39	0.5		-1.14	1.30
5	38	37.5	0.5		-1.14	1.30
6	38.8	37.5	1.3		-0.34	0.12
7	39.5	39	0.5		-1.14	1.30
8	40	38	2		0.36	0.13
9	39	38	1		-0.64	0.41
10	39.5	39	0.5		-1.14	1.30
11	39.55	37	2.55		0.91	0.83
12	40	37	3		1.36	1.85
13	38.4	37.2	1.2		-0.44	0.19
14	38.2	37.15	1.05		-0.59	0.35
15	38.5	37	1.5		-0.14	0.02
16	39	37	2		0.36	0.13
17	40	36	4		2.36	5.57
18	39.4	36.5	2.9		1.26	1.59
19	38.6	36.8	1.8		0.16	0.03
20	39.35	37	2.35		0.71	0.50
TOTAL	783.95	751.15	32.8		0.00	18.88
MEDIA	39.20	37.56	1.64			

La densidad de la planta, la cual es visualmente identificable por la frondosidad derivado de alturas obtenidas también depende de un conjunto de factores como el sol o la sombra, los nutrientes del suelo, el cuidado continuo además del riego, que en esta temporada de almácigos es cuando se presenta la etapa de verano y el acceso de agua a veces no es lo suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de la planta, además el aumento de temperatura. El uso de silicio puede contribuir positivamente en cultivo a contrarestar este estrés.

Los resultados presentados anteriormente (tabla 3) muestran una diferencia clara, en cuanto a que el silicio provocó en valores absolutos un mejor resultado y en la comparación de medias demuestra un valor de 39.20, siendo una diferencia promedio de 1.64, lo cual demuestra que se desarrolla mejor. En el siguiente cuadro se realiza la estimación de t de Studen que permitirá evaluar mejor los resultados y obtener datos estadísticos definitivos.

Tabla 4.

Prueba de “t” de Student para la variable altura de la planta (cm) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

<i>Categoría</i>	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	39.1975	37.5575
Varianza	0.408809211	0.730861842
Observaciones	20	20
Coeficiente de correlación de Pearson	0.133634555	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	7.357963946	
P(T<=t) una cola	2.83691E-07	
Valor crítico de t (una cola)	1.729132812	
P(T<=t) dos colas	5.67381E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2.093024054	

Se realizó un análisis integral de los resultados para lo cual se emplea una prueba de “t” de Student para dos muestras, con varianzas desiguales, en donde se obtuvieron datos contrastantes en las varianzas de la tabla anterior, y que en este análisis se valora el dato obtenido para P lo cual estableciera la relación existente.

La base metodológica de la prueba exige el establecimiento de hipótesis de análisis que se presentan a continuación.

Hipótesis nula H0: No hay diferencia estadísticamente significativa entre la altura de las plantas entre las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Hipótesis de trabajo H1: Si hay diferencia estadísticamente significativa entre la altura de las plantas entre las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Resultados: Siendo $P(T \leq t)$ dos colas = $5.67381E-07$ (0.000000567381) < 0.05 aplicando la regla que indica que Si $P(T \leq t)$ dos colas < 0.05 se acepta H1 y se rechaza H0; por lo cual el resultado indica que Si hay diferencia estadísticamente significativa entre la variable altura de las plantas en parcelas con aplicación y sin aplicación del elemento silicio.

Por lo tanto se determina que si existe significancia en la muestra, se acepta la hipótesis H1 que indica la existencia de diferencia estadística en la medición de alturas en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio, siendo así se determina que la sustancia si fomenta un mayor crecimiento o desarrollo en las plantas de café en cuanto a la altura.

3.3 Analisis de diámetros del tallo por planta (mm)

Tabla 5.

Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable diámetro del tallo por planta (mm) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

No. De plantas	Datos parcela A	Datos parcela B	Diferencia D = X1-X2	Desviación d = D - \bar{D}	d ²
1	4	3.65	0.35	0.272	0.07
2	3.65	3.65	0	-0.078	0.01
3	3.6	3.6	0	-0.078	0.01
4	4	4	0	-0.078	0.01
5	3.45	3.4	0.05	-0.028	0.00
6	3.4	3.4	0	-0.078	0.01
7	3.8	3.5	0.3	0.222	0.05
8	3.5	3.5	0	-0.078	0.01
9	4	4	0	-0.078	0.01
10	3.65	3.6	0.05	-0.028	0.00
11	3.7	3.6	0.1	0.022	0.00
12	3.2	3.75	-0.55	-0.628	0.39
13	3.75	3.75	0	-0.078	0.01
14	3.75	3.75	0	-0.078	0.01
15	3.75	3.7	0.05	-0.028	0.00
16	3.8	3.75	0.05	-0.028	0.00
17	3.9	3.85	0.05	-0.028	0.00
18	4	3	1	0.922	0.85
19	3.65	3.6	0.05	-0.028	0.00
20	3.85	3.8	0.05	-0.028	0.00
TOTAL	74.4	72.85	1.55	0.00	1.42
MEDIA	3.72	3.64	0.078		

En el análisis de diferencias de pares comparados muestra en la mayoría de valores positivos lo que permite reconocer que ha habido un cambio pero no tan sustancioso en el grosor de los tallos de las plantas de café del grupo de 20 plantas a las cuales se les aplicó la dosis de 30 gr de silicio, de lo cual se muestra una diferencia positiva total de 1.55 mm y una media positiva o superior en ese grupo de 0.078, lo cual demuestra lo positivo del empleo del elemento.

Para la producción de café el tallo es fundamental, ya que esto responde a un proceso reproductivo en donde el tallo sostiene las flores y los frutos. El tallo es además uno de los órganos de reserva de agua y fotoasimilados, especialmente con antelación a la etapa reproductiva, de esta cuenta favoreciendo la producción de plantas sanas y vigorosas. A continuación se realiza la evaluaviión estadística de las diferencias entre grosor de tallos que dará la evidencia de cambio real.

Tabla 6.

Prueba de “t” de Student para la variable diámetro del tallo por planta (mm) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

Categoría	Variable 1	Variable 2
Media	3.72	3.6425
Varianza	0.047473684	0.050072368
Observaciones	20	20
Coeficiente de correlación de Pearson	0.232631295	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	1.26673697	
P(T<=t) una cola	0.110279151	
Valor crítico de t (una cola)	1.729132812	
P(T<=t) dos colas	0.220558302	
Valor crítico de t (dos colas)	2.093024054	

Una evaluación estadística es la forma mas certera de determinar cambios reales, de ello que efectuando la prueba de “t” de Student para dos muestras pareadas, con varianzas desiguales, aplicando un valor de varianzas similar a la tabla anterior, enfocado en el valor de P se emplea la metodología correcta con la formulación de hipótesis que se emplean a continuación.

Hipótesis nula H0: No hay diferencia estadísticamente significativa entre los diámetros de tallo en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Hipótesis de trabajo H1: Si hay diferencia estadísticamente significativa entre diámetros de tallo en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Resultados: Siendo $P(T \leq t)$ dos colas = 0.220558302 > 0.05 aplicando la regla que indica que Si $P(T \leq t)$ dos colas > 0.05 se acepta H_0 y se rechaza H_1 ; por lo cual el resultado indica que No hay diferencia estadísticamente significativa entre los diámetros de tallo en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Los resultados indican que no existe significancia, tomando como valida la hipótesis H_0 que indica la falta de diferencia estadística entre los diámetros del tallo en las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio, por lo tanto si bien hay una diferencia absoluta y en medias, estadísticamente esta no es real evaluado estadísticamente, o bien se necesitaran posteriores análisis con mayor número de datos.

3.4 Analisis de grosor de hojas

Tabla 7.

Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable grosor de hojas por planta (mm) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

No. De plantas	Datos parcela A	Datos parcela B	Diferencia D = X1-X2	Desviación d = D - \bar{D}	d ²
1	0.96	0.95	0.01	0.008	0.00
2	0.96	0.96	0	-0.078	0.01
3	0.95	0.95	0	-0.078	0.01
4	0.95	0.95	0	-0.078	0.01
5	0.96	0.96	0	-0.078	0.01
6	0.95	0.95	0	-0.078	0.01
7	0.95	0.95	0	-0.078	0.01
8	0.94	0.93	0.01	-0.068	0.00
9	0.94	0.93	0.01	-0.068	0.00
10	0.95	0.95	0	-0.078	0.01
11	0.95	0.95	0	-0.078	0.01
12	0.94	0.94	0	-0.078	0.01
13	0.95	0.95	0	-0.078	0.01
14	0.96	0.95	0.01	-0.068	0.00
15	0.95	0.95	0	-0.078	0.01
16	0.95	0.95	0	-0.078	0.01
17	0.96	0.96	0	-0.078	0.01
18	0.96	0.96	0	-0.078	0.01
19	0.94	0.94	0	-0.078	0.01
20	0.94	0.94	0	-0.078	0.01
TOTAL	19.01	18.97	0.04	-1.44	0.11
MEDIA	0.95	0.95	0.002		

Las hojas como tejido vegetal son fundamental para la salud y resistencia de la planta, ya que desempeñan funciones específicas como la protección, conducción y almacén de sustancias.

La comparación de pares demuestra que la variabilidad son iguales, aun así demostrando un valor absoluto de engrosamiento de 0.95 mm de diámetros totales y un 0.95 en promedio. Lo

cual indica un diferencia relativa que deberá ser evaluada mediante parámetros estadísticos para identificar una diferencia sensible.

Tabla 8.

Prueba de “t” de Student para la variable grosor de hojas (mm) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

Categoría	Variable 1	Variable 2
Media	0.9505	0.9485
Varianza	5.76316E-05	7.65789E-05
Observaciones	20	20
Coefficiente de correlación de Pearson	0.883357114	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	2.179449472	
P(T<=t) una cola	0.021043143	
Valor crítico de t (una cola)	1.729132812	
P(T<=t) dos colas	0.042086287	
Valor crítico de t (dos colas)	2.093024054	

Tal y como se ha efectuado para variables de altura de la planta y grosor del tallo, el diámetro de las hojas se somete a la prueba de “t” de Student para dos muestras, con varianzas desiguales, en donde se obtuvieron datos comparados iguales en varianzas de la tabla anterior, para lo cual se procede al análisis del estadístico P que permitirá conocer la diferencia real. Se emplean hipótesis de evaluación que son las siguientes:

Hipótesis nula H0: No hay diferencia estadísticamente significativa entre el diámetro del grosor de las hojas en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Hipótesis de trabajo H1: Si hay diferencia estadísticamente significativa entre el diámetro de las hojas en parcelas con aplicación y sin aplicación del silicio.

Resultados: Siendo $P(T \leq t)$ dos colas = 0.042086287 < 0.05 aplicando la regla que indica que Si $P(T \leq t)$ dos colas < 0.05 se acepta H1 y se rechaza H0; por lo cual el resultado indica que

Si hay diferencia estadísticamente significativa entre el diámetro de las hojas en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Por lo tanto se determina que si existe significancia, se acepta la hipótesis H1 que indica la existencia de diferencia estadística entre el diámetro de las hojas en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio, siendo así se determina que la sustancia sí fomenta un mayor engrosamiento del diámetro y por ende un mejor desarrollo en las hojas de café.

3.5 Analisis de clorofila

Tabla 9.

Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable cantidad de clorofila por planta (%) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

No. De plantas	Datos parcela A	Datos parcela B	Diferencia D = X1-X2	Desviación d = D - \bar{D}	d ²
1	69.7	57.9	11.8	-0.18	0.03
2	70	57.9	12.1	0.12	0.01
3	69.7	57.70	12	0.02	0.00
4	69.8	57.80	12	0.02	0.00
TOTAL	279.2	231.3	47.9	0.02	0.00
MEDIA	69.80	57.83	11.98	-0.02	0.05

Los resultados presentados anteriormente muestran una diferencia clara, en cuanto a que el elemento silicio provocó en valores absolutos un mejor resultado y en la comparación de medias demuestra un valor de 47.90, siendo una diferencia promedio de 11.98, lo cual demuestra un alto desarrollo de clorofila en la plantas de la parcela intervenida. En el siguiente cuadro se realiza la estimación de t de Student que permitirá evaluar mejor los resultados y obtener datos estadísticos definitivos.

Tabla 10.

Prueba de “t” de Student para la variable cantidad de clorofila por planta (%) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

	Variable 1	Variable 2
Media	69.8	57.825
Varianza	0.02	0.009166667
Observaciones	4	4
Coeficiente de correlación de Pearson	0.492365964	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	190.3352997	
P(T<=t) una cola	1.59897E-07	
Valor crítico de t (una cola)	2.353363435	
P(T<=t) dos colas	3.19793E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	3.182446305	

Una evaluación estadística es la forma más certera de determinar cambios reales, de ello que efectuando la prueba de “t” de Student para dos muestras pareadas, con varianzas desiguales, aplicando un valor de varianzas similar a la tabla anterior, enfocado en el valor de P se emplea la metodología correcta con la formulación de hipótesis que se emplean a continuación.

Hipótesis nula H0: No hay diferencia estadísticamente significativa entre los porcentajes de clorofila en plantas de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Hipótesis de trabajo H1: Si hay diferencia estadísticamente significativa en los porcentajes de clorofila en plantas de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio.

Resultados: Siendo $P(T \leq t)$ dos colas = $3.19793E-07$ (0.000000319793) < 0.05 aplicando la regla que indica que Si $P(T \leq t)$ dos colas < 0.05 se acepta H1 y se rechaza H0; por lo cual el resultado indica que Si hay diferencia estadísticamente significativa entre los porcentajes de clorofila en las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Por lo tanto los resultados indican que sí existe significancia, tomando como válida la hipótesis H1 que indica la existencia de diferencia estadística entre los porcentajes de clorofila en las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio, siendo así se determina que la sustancia sí fomenta un mayor desarrollo en los porcentajes de las plantas de café.

3.6 Analisis de longitud de raíz (cm)

Tabla 11.

Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable longitud de raíz (cm) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

No. De plantas	Datos parcela A	Datos parcela B	Diferencia D = X1-X2	Desviación d = D - \bar{D}	d ²
1	13.8	14	-0.2	-0.96	0.92
2	14.5	14.6	-0.1	-0.86	0.74
3	14	14.5	-0.5	-1.26	1.59
4	15	14.5	0.5	-0.26	0.07
5	14.8	14.5	0.3	-0.46	0.21
6	14.8	14.8	0	-0.76	0.58
7	14.5	13.7	0.8	0.04	0.00
8	15	13	2	1.24	1.54
9	14.6	13	1.6	0.84	0.71
10	15	13.5	1.5	0.74	0.55
11	15	14	1	0.24	0.06
12	15	13.7	1.3	0.54	0.29
13	14.4	13.6	0.8	0.04	0.00
14	14.2	13.7	0.5	-0.26	0.07
15	14	13	1	0.24	0.06
16	15	13.1	1.9	1.14	1.30
17	15	14	1	0.24	0.06
18	14.6	14.5	0.1	-0.66	0.44
19	14.6	14	0.6	-0.16	0.03
20	15	14	1	0.24	0.06
TOTAL	292.8	277.7	15.1	-0.10	9.25
MEDIA	14.64	13.89	0.76		

Las raíces son la parte fundamental en los vegetales, siendo la parte encargada de suministrarles a los mismos distintos elementos que luego le servirán para sus distintas funciones por ende es necesario lograr su máximo desarrollo, para que al momento de su siembra en campo esta logre un mejor y rápido desarrollo, además de hacerla resistente a potentes fenómenos que se enfrenta al momento de estabalecerse en campo definitivo, como principalmente lo son sequías.

Los resultados presentados anteriormente muestran una diferencia clara, en cuanto a que el silicio provocó en valores absolutos un mejor resultado y en la comparación de medias demuestra un valor de 15.10 por planta, siendo una diferencia promedio de 0.76, lo cual demuestra que se desarrolla mejor la raíz con la aplicación de 30 gr de silicio. En el siguiente cuadro se realiza la estimación de t de Student que permitirá evaluar mejor los resultados y obtener datos estadísticos definitivos.

Tabla 12.

Prueba de "t" de Student para la variable longitud de raíz (cm) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

<i>Categoría</i>	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	14.64	13.885
Varianza	0.153052632	0.327657895
Observaciones	20	20
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.013631501	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	4.839267414	
P(T<=t) una cola	5.69752E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1.729132812	
P(T<=t) dos colas	0.00011395	
Valor crítico de t (dos colas)	2.093024054	

Tal como se ha efectuado en análisis anteriores la variable longitud de raíces se somete a la prueba de "t" de Student para dos muestras, con varianzas desiguales, en donde se obtuvieron datos comparados iguales en varianzas de la tabla anterior, para lo cual se procede al análisis del estadístico P que permitirá conocer la diferencia real. Se emplean hipótesis de evaluación que son las siguientes:

Hipótesis nula H0: No hay diferencia estadísticamente significativa entre la longitud de raíz en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Hipótesis de trabajo H1: Si hay diferencia estadísticamente significativa entre la longitud de raíz en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Resultados: Siendo $P(T \leq t)$ dos colas = 0.00011395 < 0.05 aplicando la regla que indica que Si $P(T \leq t)$ dos colas < 0.05 se acepta H1 y se rechaza H0; por lo cual el resultado indica que Si hay diferencia estadísticamente significativa entre el crecimiento de raíces en parcelas con aplicación de silicio.

Por lo tanto los resultados indican que sí existe significancia, tomando como valida la hipótesis H1 que indica la existencia de diferencia estadística entre desarrollo y crecimiento de las raíces en las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio, siendo así se determina que la sustancia sí fomenta un mayor desarrollo radicular en las plantas de café.

3.7 Analisis de peso de raíz (gr)

Tabla 13.

Comparación de dos muestras por el método de muestras pareadas para la variable peso de raíz (gr) de la parcela con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

No. De plantas	Datos parcela A	Datos parcela B	Diferencia D = X1-X2	Desviación d = D - \bar{D}	d ²
1	54.25	54.1	0.15	-0.32	
2	54.1	54	0.1	-0.37	0.10
3	54.1	53.08	1.02	0.55	0.14
4	54.11	53.15	0.96	0.49	0.30
5	53.9	54	-0.1	-0.57	0.24
6	53.96	53.56	0.4	-0.07	0.32
7	54.01	54	0.01	-0.46	0.00
8	54.11	52	2.11	1.64	0.21
9	54.16	53.9	0.26	-0.21	2.69
10	54.12	52	2.12	1.65	0.04
11	54.18	53.7	0.48	0.01	2.72
12	54	53.7	0.3	-0.17	0.00
13	54.06	53.7	0.36	-0.11	0.03
14	54.1	53.2	0.9	0.43	0.01
15	54.18	54	0.18	-0.29	0.18
16	54.09	53.96	0.13	-0.34	0.08
17	53.9	54	-0.1	-0.57	0.12
18	53.8	54.05	-0.25	-0.72	0.32
19	54	53.9	0.1	-0.37	0.52
20	54.22	54.05	0.17	-0.3	0.14
TOTAL	1081.35	1072.05	9.3	-0.10	0.09
MEDIA	54.07	53.60	0.47		8.28

Las raíces son la parte fundamental en los vegetales, siendo la parte encargada de suministrarles a los mismos distintos elementos que luego le servirán para sus distintas funciones por ende es necesario lograr su máximo desarrollo, para que al momento de su siembra en campo esta logre un mejor y rápido desarrollo, además de hacerla resistente a potentes fenómenos que se enfrenta al momento de estabalecerse en campo definitivo, como principalmente lo son sequías.

Los resultados presentados anteriormente muestran una diferencia clara, en cuanto a que el silicio provocó en valores absolutos un mejor resultado y en la comparación de medias demuestra un valor de 9.3 por planta, siendo una diferencia promedio de 0.47, lo cual demuestra que se tiene un mejor desarrollo en cuanto a raíces con la aplicación de 30 gr de silicio. En el siguiente cuadro se realiza la estimación de t de Student que permitirá evaluar mejor los resultados y obtener datos estadísticos definitorios.

Tabla 14.

Prueba de “t” de Student para la variable peso de raíz (gr) de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio; San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, 2019

<i>Categoría</i>	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	54.0675	53.6025
Varianza	0.013272368	0.39731447
Observaciones	20	20
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.171681785	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	3.151108623	
P(T<=t) una cola	0.002629741	
Valor crítico de t (una cola)	1.729132812	
P(T<=t) dos colas	0.005259483	
Valor crítico de t (dos colas)	2.093024054	

Tal como se ha efectuado en las variables vegetativas de tablas anteriores, el peso en masa de las raíces se somete a la prueba de “t” de Student para dos muestras, con varianzas desiguales, en donde se obtuvieron datos comparados iguales en varianzas de la tabla anterior, para lo cual se procede al análisis del estadístico P que permitirá conocer la diferencia real. Se emplean hipótesis de evaluación que son las siguientes:

Hipótesis nula H0: No hay diferencia estadísticamente significativa entre el peso de raíces en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio .

Hipótesis de trabajo H1: Si hay diferencia estadísticamente significativa entre el peso de raíces en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Resultados: Siendo $P(T \leq t)$ dos colas = 0.005259483 < 0.05 aplicando la regla que indica que Si $P(T \leq t)$ dos colas < 0.05 se acepta H1 y se rechaza H0; por lo cual el resultado indica que Si hay diferencia estadísticamente significativa entre el peso de raíces en parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

Por lo tanto los resultados indican que si existe significancia, tomando como válida la hipótesis H1 que indica la existencia de diferencia estadística entre desarrollo y crecimiento de las raíces en las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio, siendo así se determina que la sustancia sí fomenta un mayor desarrollo radicular en las plantas de café.

3.8 Porcentaje de pegue

La dimensional para esta variable esta expresada en porcentajes, en los resultados obtenidos dieron como resultados la cantidad de 88 plantas 100 % pegadas, para lo cual se sembraron 100 plantas siendo esta el 100 % de cada parcela, mientras que la parcela sin tratamiento nos reflejó el 69 % de pegue en campo definitivo, estos resultados obtenidos se observa una diferencia significativa, interpretando que la aplicación del silicio genera efecto positivo en la planta, dado que mejora sus características agronómicas, por lo que nos permite observar mayores porcentajes de pegue en campo definitivo

Obteniendo el 86% de pegue nos indica que se tuvo el 0.14 % de perdida mientras que en la parcela con plantas sin tratamiento fue del 69% de pegue expresando un 0.31% de pérdida, para obtener este análisis se realizó 3 meses después de la siembra.

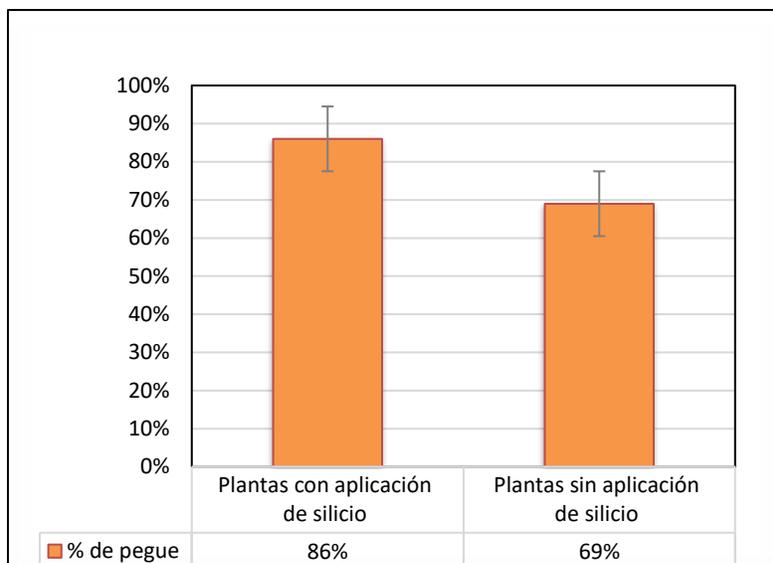


Figura 1. Interacción entre los tratamientos con y sin aplicación de silicio sobre el porcentaje de pegue en campo definitivo.

3.9 Nivel de absorción del fosforo

Se presentan los resultados que se obtuvieron a través de un análisis foliar a nivel de laboratorio, principalmente para la evaluación del fosforo para la parcela con tratamiento y la parcela sin tratamiento, siendo estas la parcela A y B, conformados por la variedad de café y un nivel de silicio.

Mostrando la absorción del fosforo efectivamente que corresponden a la aplicación de 30 gr de silicio a nivel de vivero, siendo la mayor concentración de dicho elemento en la parte foliar de las plantas.

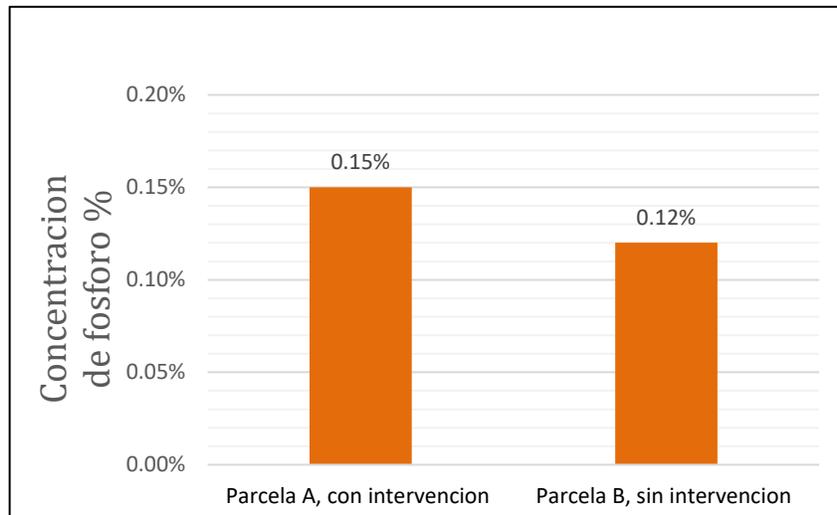


Figura 2. Dinámica de la concentración del fosforo a nivel foliar de las parcelas con aplicación y sin aplicación de silicio.

3.10 Medios de verificación del proyecto

Los medios de verificación utilizados se detallan a continuación:

Todos los resultados en cuanto a crecimiento vegetativo, inicios y fechas de aplicación, fueron apuntados en una libreta de campo, la cual fue autorizada por la coordinación académica correspondiente.

También la bitácora mensual que detalla cuales fueron los seguimientos dados durante el tiempo que duró el proyecto y sus problemas encontrados. Fueron un total de ocho bitácoras mensuales, en donde se especifica las actividades realizadas en conjunto con las imágenes correspondientes. El expediente de calidad es un registro llevado por la coordinación en donde se archiva los seguimientos del proyecto brindados por el estudiante. Se tiene todas la bitacóras entregadas a coordinación.

3.11 Análisis de impactos del proyecto

3.11.1 Económico

Se puede decir que el impacto del proyecto desde el punto de vista económico tuvo un incremento en la parte de vivero, ya que incrementa un gasto más. Aunque esto puede ser atractivo para aquellos propietarios de fincas cafetaleras que tengan grandes extensiones de terreno. Debido a que si realizan su propio vivero aseguran la plantación, interpretando que la aplicación de 30 gr de silicio genera un efecto positivo en la planta, mejorando sus características agronómicas, lo que permitió observar mayores porcentajes de pegue en campo definitivo, logrando el 88% de pegue en campo definitivo, creando con esto una reducción de costos en la producción, debido al ahorro en la constante resiembra de plantas.

Los costos de siembra de café son bastantes elevados, ya que después a esto se le suma una mala planta en la siembra, incrementando el costo de producción debido a la resiembra alta que se ve obligado hacer el caficultor, la dosis aplicada de silicio representa un mayor ahorro al mostrar mayores porcentajes de pegue para lo cual representa un menor costo de resiembra en comparación a la parcela donde no tuvo aplicación de silicio durante el manejo de plantas en la etapa de vivero.

3.11.2 Social laboral

La administración de la finca en la cual se ejecuto el proyecto la cual esta integrada por administrador, supervisor, acepta la aplicación de silicio como alternativa para reducir costos de producción. Esto indica que el proyecto ha tenido un impacto positivo. Que al ser competitivo en el sector productivo genera fuentes de empleo y estabilidad laboral.

3.11.3 Ambiental

Al reducir los costos de producción al momento de lograr el máximo porcentaje de pegue y considerando las altas cantidades de nutrientes en el suelo, con la aplicación de silicio se puede aprovechar de mejor manera la absorción de nutrientes, se contribuye a la reducción de aplicaciones constantes de plaguicidas, reducción en constantes fertilizantes nitrogenados, favoreciendo de tal manera la reducción de la huella de carbono que genera el cultivo de café.

4. CONCLUSIONES

La aplicación de silicio expresaron cambios cuantificables en valores absolutos en cuanto a las variables vegetativas siendo estas, altura, diámetros de hojas, desarrollo de raíces y porcentajes de clorofila, dando veracidad estadísticamente de la evaluación mediante la prueba de “t” de Student. Sin embargo para la variable de diámetros de tallos expresaron cambios cuantificables en valores absolutos y en la evaluación mediante la prueba de “t” de Student presentó que no hay diferencia estadísticamente significativa en el cambio producido durante la etapa de vivero.

En cuanto al desarrollo radicular se apreció un mejor desarrollo en las plántulas tratadas con silicio, donde se obtuvieron abundantes raíces secundarias y mayor longitud de la raíz principal, a diferencia de la parcela sin aplicación.

El porcentaje de pegue estuvo a favor con esta dosis de 30 gramos, logrando un 88 % de pegue en campo definitivo, donde se observaron plantas con mejor y un mayor desarrollo, mejorando con esto la calidad de las mismas, reduciendo a un 0.12% de pérdida en plantas en campo definitivo.

La factibilidad económica del uso del silicio en la producción de almácigos de café a través de indicadores económicos, durante un año de ejecución del proyecto, evidencia ser baja, ya que si bien es cierto los costos estimados del uso de la sustancia fue de Q 2,062.00 en un área de 10 x 10m, los resultados fueron poco representativos, y se puede mejorar la calidad de la planta, en cuanto a la mejora de su desarrollo y resistencia.

4. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso del elemento silicio en el cultivo de café bajo una concentración de 30 gr por planta en la etapa de vivero en la localidad de San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, debido a que las plántulas manejadas con este elemento mostraron mayor porcentaje de pegue, desarrollando características superiores en comparación al tratamiento sin aplicación.

Se considera de importancia llevar a cabo una evaluación, en donde se permita determinar dosis más altas de silicio, esto si hacen más eficiente de producción, y la frecuencia para realizarlo.

Como una forma para reducir costos en insumos y al mismo tiempo, favorecer al medio ambiente. Se recomienda utilizar menor cantidad de fertilizante ricos en fosforo, ya que el silicio proporciona una mejor absorción del mismo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrobanco. (2012). *Guía técnica*. Puerto Ocopa. Recuperado el 29 de Octubre de 2018
- Alejo, A., & Reyes, L. (2014). *Evaluación de sustratos y tipos de recipiente en el crecimiento de plántulas de café arábigo, en condiciones de vivero*. Tesis de grado, Universidad nacional de Loja , Área agropecuaria y de recursos naturales renovables , Loja. Recuperado el 5 de Octubre de 2018
- Alvarado, M., & Rojas, G. (2007). *Cultivo y beneficiado del café*. Costa Rica : Universidad estatal a distancia San Jose , Costa Rica. Recuperado el 31 de Agosto de 2018
- ANACAFE. (9 de Noviembre de 2011). *¿Cómo planificar de forma adecuada la producción de almácigos?* Recuperado el 5 de Octubre de 2018, de http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Planificacion_de_almacigos
- ANACAFE. (13 de Octubre de 2011). *ANACAFE*. Recuperado el 4 de Octubre de 2018, de https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_SemillerosyAlmacigos
- ANACAFE. (2 de Diciembre de 2014). *ANACAFE*. Obtenido de <https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=13NOT:Anacafe14-nueva-variedad>
- Arias, N. (6 de Octubre de 2012). *El café*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2018, de <http://cafecooludec.blogspot.com/2012/10/historia-del-cafe.html>
- Baldeón , P. (2009). *Efecto de la aplicación del biol activado y Silicio en la calidad del cultivo de alcachofa (Cynara scolymus L.)*. ZAMORANO, Carrera de ciencia y producción agropecuaria , Latacunga, Ecuador.
- Bolaños, R. (12 de Julio de 2017). Producción de café es insostenible en el país. *Prensa Libre*. Recuperado el 5 de Octubre de 2018, de <https://www.prensalibre.com/economia/economia/produccion-de-cafe-es-insostenible-en-el-pais>
- Borda, O., Barón, F., & Gómez, M. (2007). *El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (Avena sativa L.) en respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá., Facultad de agronomía , Bogota.
- Cabrera, C. (2018). *Efecto de la aplicación de silicio sobre la virosis de melón*. Tesis de grado , Universidad Rafael Landívar , Facultad de ciencias ambientales y agrícolas .
- Caicedo , L., & Chavarriaga , W. (2008). *Efecto de la aplicación de dosis de Silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad colombia*. Universidad de Caldas, Facultad de ciencias agropecuarias, Colombia.
- CENICAFE. (2015). *Respuesta del café a la aplicación de Silicio y lombrinaza durante la etapa de almácigo*. Colombia .
- CICAFE. (2011). *CICAFE*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>

- Coral, L. M. (2012). *Agrobanco*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/011-k-cafe.pdf>
- Datnoff, L. (Marzo de 2017). *REDAGRÍCOLA*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de <http://www.redagricola.com/cl/productos-de-silicio-ayudan-las-plantas/>
- De Leon, P. (Marzo de 2017). *CABI*. Recuperado el 5 de Octubre de 2018, de <http://gtcafes.com/descargas/2017/ppts/ppt-estrategica-01.pdf>
- Dequate. (s.f.). *Dequate*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2018, de <https://www.dequate.com.gt/guatemala/exportaciones/exportadores-de-cafe-en-guatemala.php>
- España, J. (2016). *Evaluación del silicio en el desarrollo del café en vivero*. Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar, Facultad de ciencias ambientales y agrícolas, Guatemala.
- FAO. (2010). *Preparación de semilleros*. Recuperado el 5 de Octubre de 2018, de <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/a1374s/a1374s03.pdf>
- Fernández, R., Trapero, A., & Domínguez, J. (2010). *Experimentación en agricultura*. Sevilla.
- Filgueiras, O. (2007). *PESQUISA FAPESP*. Recuperado el 29 de Octubre de 2018, de <http://revistapesquisa.fapesp.br/es/2007/10/01/silicio-en-la-agricultura/>
- Furcal, P., & Herrera, A. (2013). *Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz*. Costa Rica.
- García, D. (2012). *Efecto de la aplicación de dosis de silicio más abonos orgánicos en la poda de rehabilitación en plantas de café variedad catimor*. Tarapoto, Perú.
- Gascho, G. J. (2001). *ScienceDirect*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928342001800161>
- Gómez, C., Rodríguez, M., Cárdenas, S., Sandoval, V., & De León, C. (2006). *Fertilización foliar con silicio como alternativa contra la marchitez causada por Fusarium oxysporum (Sheld) en tomate de cascara*. Universidad Autónoma Chapingo, Nutrición vegetal, Mexico.
- Gómez, G. (Julio-Diciembre de 2010). Cultivo y beneficio del café. *Revista de geografía agrícola*, 16. Recuperado el 5 de Octubre de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75726134008>
- González, D. (2001). *Comparación entre la bolsa y el "cono macetero" o "tubete" en la producción de plantas de café*. Tesis de Grado, Zamorano, Honduras. Recuperado el 5 de Octubre de 2018
- Goyenaga, R. (2013). Almácigo de café en tubetes. *MAG*, 1. Recuperado el 1 de Septiembre de 2018, de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/drocc-hoja-07-2013.pdf>
- Gutiérrez, E., & Muñoz, M. (2010). *Evaluación de tres sistemas de producción de almácigos de café (Coffea arabica) var. Caturra*. Tesis de grado, Zamorano, Carrera de ciencias y producción agropecuaria, Honduras. Recuperado el 1 de Septiembre de 2018, de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/645/1/T3039.pdf>

- Herrera, A. (2011). *Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento de arroz*. Tesis de grado , Sede regional San Carlos, Ingeniería en agronomía, Costa Rica.
- Irigoyen, J., & Cruz, M. (2005). *Guía técnica de semilleros y viveros frutales*. Santa Tecla, El salvador. Recuperado el 5 de Octubre de 2018
- Mamani, J. (2013). *Evaluación de dos variedades de café (Coffea arabica L.) bajo tres formas de producción en vivero en la estación experimental de Sapecho – La paz*. Tesis de grado, Universidad mayores de San Andres, Facultad de agronomía, La Paz – Bolivia. Recuperado el 5 de Octubre de 2018
- Martínez , A. (2005). *Evaluacion de diferentes sustratos, empleando la tecnica de tubete para producir plantulas de café Coffea arábica L.) var. Catuai, en etapa de vivero, finca monte maria, San Juan Alotenango, Sacatepequez*. Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Sistema de produccion agrícola en el grado academico de licenciado, Guatemala. Recuperado el 4 de Octubre de 2018
- Martinez, M. (2011). *Materiales y materias primas*. Recuperado el 7 de Octubre de 2018, de <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/silicio.pdf>
- Nájera, J. (2016). *Ealuación de la dsponibilidad en el suelo y contenidos de fósforo en plantas de café en respuesta a la aplicación de silicio*. Universidad de San Carlos de Guatemala , Facultad de ciencias ambientales y agrícolas .
- Navarro, G. (2003). *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida*. Madrid, España : Ediciones Mundi-Prensa Madrid. Recuperado el 28 de Agosto de 2018, de https://books.google.com.gt/books?id=HufLwjgtrwC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Quero, E. (2018). *Salud organica sostenible*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de <https://saludorganicasostenible.com/silicio-la-agricultura/>
- Rivera, J. (2008). *Aporte a las actividades de la unidad técnica agrícola minicipal*. Tesis de Grado , Universidad de San Carlos de Guatemala , Facultad de agronomía . Recuperado el 18 de Octubre de 2018
- Rodríguez, C. (Enero de 2009). *FUNDESYRAM*. Recuperado el 5 de Octubre de 2018, de <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=1686>
- Segeplan. (2010). Recuperado el 18 de Octubre de 2018
- Sephu. (13 de Septiembre de 2007). *Noticias sephu*. Recuperado el 28 de Agosto de 2018, de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/010---13.09.07---El-Silicio-en-la-vida,-rendimiento-y-salud-de-las-plantas.pdf
- Sephu. (14 de Mayo de 2009). Obtenido de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/028---15.05.09---El-Silicio-como-fertilizante-y-fungicida.pdf
- UNAS. (5 de Diciembre de 2007). *DIPLOMADO 2007*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de <http://diplomado2007unas.blogspot.com/2007/12/2-ojo-de-gallo.html>

Wagner, R. (2001). *Historia del café en Guatemala*. Guatemala. Recuperado el 04 de Octubre de 2018

Zamorano, I. (2009). *Historia del café y economía del café en Colombia (Ensayo)*. Recuperado el 7 de Octubre de 2018, de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/elibrorafaelandivarsp/detail.action?docID=3183142>.

7. ANEXOS

Tabla 15.

Presupuesto desglosado Proyecto uso del silicio en almácigos de café en tubetes; San Martin Jilotepeque, Chimaltenango.

Conceptos	Unidad Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
A. Costos Variables				
1. Insumos Agrícolas				
Fertilizante 20-20-0	kilogramos	50	Q. 3.40	Q. 170.00
Fertilizante triple 20	Kilogramos	2	Q. 66.00	Q. 132.00
Semilla de café	kilogramos	1	Q. 100.00	Q. 100.00
Silicio	Kilogramos	50	Q. 7.00	Q. 350.00
Tubete	Unidad	300	Q. .75	Q. 225.00
Banrot 40 WP	Onzas	8	Q. 27.50	Q. 220.00
Pronto 50 WP	Kilogramos	1	Q. 125.00	Q. 125.00
Terbufos	kilogramos	5	Q. 14.00	Q. 70.00
Regadera	1	1	Q. 20.00	Q. 20.00
			Sub Total	Q. 1,412.00
2. Mano de Obra				
Trazo Unidad Experimental	Jornal	1	Q. 50.00	Q. 50.00
Preparación del sustrato	Jornal	1	Q. 50.00	Q. 50.00
Llenado de los tubetes	Jornal	1	Q. 50.00	Q. 50.00
Control de malezas	Jornal	1	Q. 50.00	Q. 50.00
Trasplante	Jornal	2	Q. 50.00	Q. 100.00
Fertilización	Jornal	1	Q. 50.00	Q. 50.00

Control fitosanitario	Jornal	1	Q. 50.00	Q. 50.00
Riego	Jornal	1	Q. 50.00	Q. 50.00
			Sub Total	Q. 450.00
B. Costos Indirectos (Fijo)				
Arrendamiento del terreno	30 m ²	1	Q. 200.00	Q. 200.00
			Sub Total	Q. 200.00
			Total	Q. 2,062.00

