

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ÁREA INTEGRADA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD EN EL SUELO Y CONTENIDOS DE FÓSFORO  
EN PLANTAS DE CAFÉ EN RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE SILICIO; FINCA EL  
HATO, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.**

**JOHANS CHRISTIAN MICHAELLE NÁJERA CHEW**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE 2016**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD EN EL SUELO Y CONTENIDOS DE FÓSFORO  
EN PLANTAS DE CAFÉ EN RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE SILICIO; FINCA EL  
HATO, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**JOHANS CHRISTIAN MICHAELLE NÁJERA CHEW**

**PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

**EN**

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE**

**LICENCIADO**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE 2016**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RECTOR**

Dr. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Decano	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
Vocal I	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámbara
Vocal II	Ing. Agr. M.A. César Linneo García Contreras
Vocal III	Ing. Agr. M.Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
Vocal IV	Br. Ind. Milton Juan José Caná Aguilar
Vocal V	P. Agr. Cristian Alexander Méndez López
Secretario	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2016

Guatemala, noviembre de 2016

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación titulado:

**Evaluación de la disponibilidad en el suelo y contenidos de fósforo en plantas de café en respuesta a la aplicación de silicio; finca el Hato, Santa Rosa, Guatemala, C.A.**

Como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

**Johans Christian Michaelle Nájera Chew**

## ACTO QUE DEDICO

**A:**

**DIOS:** Por ser mi guía, mis ojos y por mostrarme el camino correcto a seguir, por su infinito amor y bendiciones derramadas sobre mi vida, por ser mi fortaleza y ejemplo a seguir.

**MI MAMA:** Vilma Chew por darme un ejemplo de vida, por el legado que me ha dado asimismo por todo su amor, cariño y apoyo incondicional para que pudiera concluir con este sueño, por no dejarme caer nunca y por sus sabios consejos, gracias a ti mamita Vilma me encuentro aquí en este momento, te amo.

**MI PAPA:** José Nájera por ser ese padre que siempre estuvo a mi lado apoyándome, dándome consejos, para salir adelante y por su apoyo durante lo largo de mi vida gracias a ti papito José Luis me encuentro aquí en este momento, te amo.

**MIS HERMANAS:** Carol, Waleska, Jacqueline, Melisa por su apoyo incondicional, su cariño, sus consejos y ser mis mejores amigas y aguantarme muchas cosas, las amo. Vilma (QEPD) te nos adelantaste, pero este triunfo también es tuyo, aquí cumplí lo que me pediste un día.

**MIS SOBRINOS:** Tania, Víctor, Ethan, Javier, Adrián, Emma y Ellie a los cuales quiero mucho, quiero compartir este triunfo con ustedes y darles el ejemplo para que sigan adelante con sus sueños y no desmayen.

**MI ABUELITA:** Delia (QEPD) por su amor incondicional, por ser como una madre, sé que no estás aquí abuelita pero gracias a ti y tus cuidados influiste para ser lo que soy, eres parte y quiero que disfrutes este triunfo conmigo.

**MIS TIOS y PRIMOS:** Erwin, René, Mauricio, Paty, Rosita, Jorge, Lester, Claudia, Allan, Josselyn y Kendy por su cariño y sus consejos.

**MIS AMIGOS:** Carlos Reynosa, Fredy Cruz, Allan Caravantes, Víctor Valenzuela, Jorge Elías, Julio Lemus y Alejandro Pérez, por todas las experiencias que compartimos juntos durante este viaje, gracias por su amistad y apoyo. María de los Ángeles por tu valiosa amistad y apoyo. Otto Avilés, José Herrera, Raúl Herrera por su amistad y apoyo.

## TABAJO DE GRADUACION QUE DEDICO

**A:**

Mis Padres por ser incondicionales en mi vida.

Mi querida Guatemala, país de la eterna primavera.

Mi querida Universidad de San Carlos que me brindó la oportunidad de ser profesional.

Mi Facultad de Agronomía, la cual me permitió desarrollarme y obtener los conocimientos para formarme como profesional.

Mis amigos por su valiosa amistad y apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

**Ing. Agr. Dr. Iván Dimitri** por su apoyo en la asesoría de mi trabajo de tesis.

**Ing. Agr. Fernando Rodríguez** por su paciencia, tiempo y consejos para elaborar mi trabajo de tesis y los conocimientos brindados durante el EPS.

**ANACAFE región IV** por su apoyo durante EPS

**Ing. Agr. Sergio Morales** por todo el apoyo y conocimiento brindado durante el EPS.

**Ing. Agr. Axel Calderón** por sus consejos y ayudarme a desarrollar habilidades durante el EPS.

**Transmerquim de Guatemala** por apoyarme y permitirme desarrollar el EPS en su institución.

Agricultores de la Finca el Hato, Barberena Santa Rosa. Don Santos por su apoyo, amistad y contribución durante el EPS.



## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
Resumen.....	viii
Diagnóstico de la nutrición en el cultivo de café ( <i>Coffea arabica L.</i> ) la oferta y demanda de fertilizantes foliares, en el municipio de Barberena del departamento de Santa Rosa ....	1
1.1 PRESENTACIÓN.....	2
1.2 MARCO REFERENCIAL .....	2
1.3 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DE BARBERENA.....	3
1.3.1 Clima .....	3
1.3.2 Suelos .....	4
1.3.3 Topografía.....	4
1.3.4 Hidrografía.....	4
1.4 Marco conceptual .....	5
1.4.1 Sistemas de producción de café .....	5
1.4.2 Fertilización foliar utilizada en el cultivo de café.....	5
1.4.3 Mecanismos de penetración de los fertilizantes foliares a la planta .....	8
1.4.5 Factores ambientales, fisiológicos y biológicos que afectan la respuesta de las plantas a la fertilización foliar .....	8
1.4.6 Características de solubilidad del suelo .....	9
1.5 OBJETIVOS .....	9
1.5.1 Objetivo general .....	9
1.5.2 Objetivos específicos.....	10
1.6 METODOLOGÍA .....	10
1.6.1 Reconocimiento del municipio de Barberena .....	10
1.6.2 Análisis de la información.....	10
1.6.3 Fuentes de información primaria .....	10
1.6.4 Fuentes de información secundaria .....	11
1.7 RECURSOS .....	11
1.8 RESULTADOS .....	12
1.8.1 Nutrición del cultivo de café .....	12
1.8.1.1 Fertilización foliar .....	12

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
1.8.1.2 Fertilización química.....	14
1.9 CONCLUSIONES .....	15
1.10 RECOMENDACIONES .....	15
1.11 BIBLIOGRAFÍA .....	16
Evaluación de la disponibilidad en el suelo y contenidos de fósforo en plantas de café en respuesta a la aplicación de silicio; finca el Hato, Santa Rosa, Guatemala, C.A.....	18
2.1 INTRODUCCIÓN .....	19
2.2 MARCO TEÓRICO .....	20
2.2.1 Marco conceptual .....	20
2.2.2 Importancia del café en Guatemala.....	20
2.2.3 Caracterización del cultivo.....	20
2.2.4 Variedad de café .....	20
2.2.5 Fertilización del café.....	21
2.2.5.1 Fertilización tradicional al suelo.....	21
2.2.5.2 Elementos primarios.....	21
2.2.5.3 Elementos secundarios .....	22
2.2.5.4 Elementos menores.....	22
2.2.6 Fósforo .....	22
2.2.6.1 El fósforo en la planta.....	22
2.2.6.2 Funciones del fósforo .....	23
2.2.6.3 Relación entre el fósforo y raíz.....	23
2.2.6.4 Dinámica del fósforo en el suelo .....	24
2.2.7 Silicio .....	24
2.2.7.1 Importancia del silicio .....	24
2.2.7.2 Solubilidad del silicio .....	25
2.2.7.3 Beneficios del silicio .....	26
2.2.8 Relación del silicio y fósforo .....	27
2.2.9 Antecedentes .....	29
2.3 Marco referencial .....	31
2.3.1 Municipio de Barberena.....	31

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
2.3.2 Suelos del municipio de Barberena.....	31
2.3.3 Elaboración de almácigos de café en la región IV de ANACAFE.....	32
2.3.3.1 Almácigo en bolsa.....	32
2.4 OBJETIVOS .....	33
2.4.1 Objetivo general .....	33
2.4.2 Objetivos específicos.....	33
2.5 HIPÓTESIS .....	33
2.6 METODOLOGÍA .....	34
2.6.1 Material experimental .....	34
2.7 Tratamientos .....	35
2.8 Variables de respuesta .....	35
2.8.1 Biometría de las plantas .....	35
2.8.2 Porcentaje de fósforo en la planta.....	36
2.8.3 Análisis de la información.....	36
2.9 Unidad de muestreo .....	36
2.10 Diseño experimental.....	36
2.11 Modelo estadístico .....	36
2.12 Manejo agronómico del experimento .....	37
2.12.1 Llenado de bolsa .....	37
2.12.2 Distribución de las bolsas.....	37
2.12.3 Desinfección del sustrato .....	38
2.12.4 Trasplante de las plántulas.....	38
2.12.5 Plan nutricional.....	38
2.12.6 Riego.....	38
2.12.7 Control de malezas .....	38
2.12.8 Manejo de aplicación del Silicio.....	39
2.12.9 Toma de datos .....	39
2.13 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
2.13.1 Porcentaje de fósforo en la planta.....	41
2.13.2 Análisis económico del experimento .....	42

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
2.14 CONCLUSIONES .....	44
2.15 RECOMENDACIONES .....	44
2.16 BIBLIOGRAFÍA .....	45
2.17.1 Anexo 1. Contrastes ortogonales .....	48
2.17.2 Anexo 2. Análisis de varianza (ANDEVA) .....	48
2.17.2.1. Análisis de la varianza para altura.....	48
2.17.2.2 Análisis de varianza (ANDEVA) para peso fresco aéreo.....	49
2.17.2.3 Análisis de varianza (ANDEVA) para peso fresco raíz.....	49
2.17.2.4. Análisis de varianza (ANDEVA) para peso seco aéreo.....	50
2.17.2.5. Análisis de varianza (ANDEVA) para peso seco raíz.....	51
2.17.2.6 Análisis de contrastes ortogonales para altura.....	51
2.17.2.7 Análisis de contrastes ortogonales para peso fresco aéreo.....	51
2.17.2.8 Análisis de contrastes ortogonales para peso fresco raíz.....	52
2.17.2.9 Análisis de contrastes ortogonales para peso seco aéreo.....	52
2.17.2.10 Análisis de contrastes ortogonales para peso seco raíz.....	52
2.17.2.11 Análisis de contrastes ortogonales para altura.....	52
2.17.2.12 Análisis de contrastes ortogonales para peso fresco aéreo.....	52
2.17.2.13 Análisis de contrastes ortogonales para peso fresco raíz.....	52
2.17.2.14 Análisis de contrastes ortogonales para peso seco aéreo.....	53
2.17.2.15 Análisis de contrastes ortogonales para peso seco raíz.....	53
2.18 Anexo 3.....	54
2.19 Anexo 4.....	55
2.20 Anexo 5.....	56
2.21 Anexo 6 .....	57
Servicio realizado para Transmerquim de Guatemala S.A, en Barberena, Santa Rosa, Guatemala C. A. ....	58
3.1 PRESENTACIÓN.....	59
3.2 OBJETIVOS .....	59
3.2.1 Objetivo general .....	59
3.3 MARCO TEÓRICO .....	59

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
3.3.1 Capacitación.....	59
3.3.2 Importancia de la capacitación .....	61
3.3.3 Planeación estratégica y capacitación .....	61
3.3.4 Principios de la capacitación .....	61
3.3.4.1 La participación .....	61
3.3.4.2 La responsabilidad .....	62
3.3.4.3 La actitud de investigación .....	62
3.3.4.4 El espíritu crítico .....	62
3.3.4.5 La gestión cooperativa .....	62
3.3.4.6 Capacidad para aprendizaje y evaluación.....	62
3.3.5 Etapas para impartir capacitación .....	63
3.3.5.1 Diagnóstico de las necesidades de capacitación .....	63
3.3.5.2 Desarrollo de los planes y programas .....	63
3.3.5.3 Establecimiento de los objetivos de capacitación.....	64
3.3.5.4 Estructuración de los contenidos de la capacitación .....	64
3.3.5.5 Diseño de las actividades de instrucción.....	64
3.3.5.6 Selección de recursos didácticos .....	65
3.3.5.7 Diseño de un programa o curso de capacitación .....	65
3.3.6 Fertilizantes foliares .....	65
3.4 METODOLOGÍA .....	66
3.4.1 Recursos utilizados .....	66
3.4.2 Actividades realizadas.....	66
3.4.3 Plan GTM de Café.....	67
3.5 RESULTADOS.....	69
3.6 EVALUACIÓN.....	69
3.7 BIBLIOGRAFÍA.....	70
3.8 ANEXOS.....	71

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
Cuadro 1. Etapas fenológicas del cultivo de café, para llevar a cabo la fertilización foliar. .	12
Cuadro 2. Productos foliares utilizados en Barberena. ....	13
Cuadro 3. Productos multiminerales utilizados en Barberena. ....	13
Cuadro 4. Fertilización química del suelo. ....	14
Cuadro 5. Datos del comportamiento climático durante la investigación. ....	31
Cuadro 6. Descripción de los tratamientos. ....	35
Cuadro 7. Análisis de varianza. ....	39
Cuadro 8. Crecimiento de la plántula en centímetros de los tratamientos evaluados. ....	40
Cuadro 9. Medias de las variables evaluadas. ....	41
Cuadro 10. Presupuesto parcial para el almácigo de café, calculado para una hectárea. Elaborado en Marzo 2015. ....	42
Cuadro 11. Análisis de dominancia para los tratamientos de los productos con silicio y testigo. ....	43
Cuadro 12. Tasa marginal de retorno. ....	43
Cuadro 13A. Análisis estadístico para las variables evaluadas. ....	48
Cuadro 14. Etapa de pre floración. ....	67
Cuadro 15. Etapa de post floración. ....	68
Cuadro 16. Etapa de llenado de grano. ....	68
Cuadro 17. Etapa de llenado de grano (Aplicación 2). ....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 1. Mapa de ubicación del municipio de Barberena, Santa Rosa, Guatemala.....	3
Figura 2. Climograma de Barberena durante el 2015. ....	4
Figura 3. Características de solubilidad de los nutrientes. ....	9
Figura 4A. Análisis de suelo.....	54
Figura 5A. Análisis de tejido para determinar el porcentaje de fósforo .....	55
Figura 6A. Análisis de fijación de fósforo. ....	56
Figura 7A. Croquis de campo.....	57
Figura 8. Reacción en cadena que provoca la calidad.....	60
Figura 9A. Planta estresada, antes de la primera aplicación. ....	71
Figura 10A. Momento de preparación, agregando sales.....	71
Figura 11A. Momento de la aplicación. ....	72
Figura 12A. Planta luego de la aplicación. ....	72
Figura 13A. Visita de la planta después de la segunda aplicación.....	73
Figura 14A. Momento de la parte teórica de la capacitación.....	73
Figura 15A. Listado de participantes. ....	74

## Resumen

El Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) el cual se llevó a cabo de febrero a noviembre del año 2015, en la empresa Transmerquim de Guatemala S.A. realizando las actividades de: diagnóstico, investigación y servicio realizado. El informe de estas actividades se presenta en este documento.

El diagnóstico se realizó en el municipio de Barberena, Santa Rosa. Con ayuda de técnicos de ANACAFE de la región IV, agroservicios y encargados de fincas, se recopiló información relacionada con nutrición, productos y precios que utilizan para el cultivo de café para conocer el programa de fertilización.

En el diagnóstico se determinó: que los productos más utilizados por los caficultores son: productos que contengan boro como Folcrop B, Folcrop B-Mo, Boroflor, Calcioboro; postfloración; productos que contengan zinc tales como Folcrop Zn-Mn, Zinc Max, New fol Zn y formación de grano; productos con potasio como K max extra, Forcrop K, Potasio Stoller, Potasio Plus. Los precios oscilan desde Q60 a Q250 por litro. Recomendando la realización de investigaciones realizadas con este tema y capacitar a los caficultores en la nutrición del café.

La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de diferentes cantidades de silicio en el peso fresco, seco y altura de plantas de café (*Coffea arabica* L. variedad Catuaí) en almacigo. Se evaluaron las cantidades: 3, 6, 9 y 15cc de TecnoSilix Mg-SL, 6, 9, 12 y 15 cc de Armurox como fuentes de silicio. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), y la prueba múltiple de medias Tukey y Contrates ortogonales con un 5% de significancia. Como resultado en el análisis de varianza no se encontraron diferencia significativa entre los tratamientos evaluados y el testigo absoluto.

Se realizó la capacitación a los dueños de agroservicios y técnicos sobre los fertilizantes foliares en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) la cual consistió en ver los beneficios de los fertilizantes y prevención para la roya y esto fue concretado con parcelas demostrativas.



**Diagnóstico de la nutrición en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) la oferta y demanda de fertilizantes foliares, en el municipio de Barberena del departamento de Santa Rosa.**

## **1.1 PRESENTACIÓN**

La fertilización foliar es una técnica importante, nutrición a través de las hojas, la cual influye de manera positiva corrigiendo las deficiencias nutricionales de la planta, en el manejo sostenible y productivo de los cultivos ya que es un complemento a la nutrición del suelo (Ronen 2012).

La fertilización foliar es una técnica más amigable con el ambiente que la aplicación de nutrientes por vía radicular, tiene una acción inmediata y orientada debido que los nutrientes pueden ser aplicados directamente a los tejidos vegetales durante las diferentes etapas críticas del crecimiento de las plantas. Dentro de los factores que influyen en la fertilización foliar corresponden a aquellos relacionados con la planta, el clima y la formulación del foliar (Betancourt-Olvera, Rodríguez, Sandoval 2005).

La producción del café depende directamente de las condiciones climáticas y los nutrientes que la planta puede obtener del suelo, debido a esto el uso de los fertilizantes es de suma importancia para mejorar el crecimiento de las plantas; sin embargo debido al abuso de los mismos ha conllevado a la degradación química del suelo y la contaminación de otros recursos naturales; implicando presionar al medio ambiente para extraer el máximo en el menor tiempo posible pero con pérdida de suelo y de sus características naturales (Meléndez 2002).

El objetivo del presente informe fue la determinación del proceso de nutrición del cultivo de café; así como el uso de los fertilizantes foliares y otras técnicas para mejorar la producción.

## **1.2 MARCO REFERENCIAL**

El Municipio de Barberena tiene una extensión territorial aproximada de doscientos noventa y cuatro (294) kilómetros cuadrados, está localizado en la región central del departamento de Santa Rosa, sobre la carretera Interamericana CA-1, a 54 kilómetros de distancia de la ciudad capital y a 9 kilómetros de la cabecera departamental, Cuilapa. Colinda al Norte con Santa Cruz Naranjo (Santa Rosa) y Fraijanes (Guatemala), al Sur con Pueblo Nuevo Viñas (Santa Rosa) y Villa Canales (Guatemala), al Este con Nueva Santa Rosa Cuilapa (Santa Rosa) y al Oeste con Pueblo Nuevo Viñas (Santa Rosa) y Villa Canales (Guatemala) (Soto 2012).



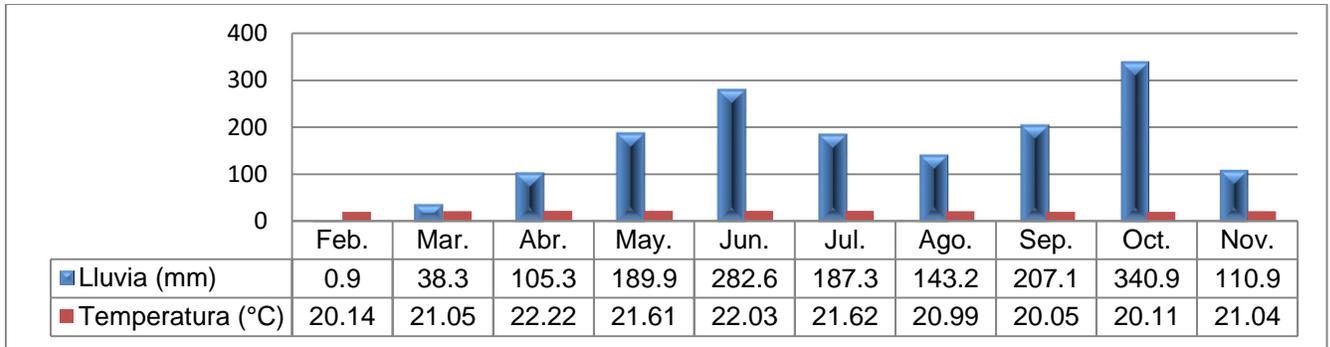
Fuente: IGN, 2005.

Figura 1. Mapa de ubicación del municipio de Barberena, Santa Rosa, Guatemala.

### 1.3 DESCRIPCION GEOGRÁFICA DE BARBERENA

#### 1.3.1 Clima

El Municipio registra alturas que van desde 732 a 2,195 metros de altitud, la cabecera Municipal se encuentra 1,069 m de altitud y su clima generalmente es templado, y cálido en época seca. Sus temperaturas oscilan entre 18.8 y 27.8 grados centígrados, con una media de 22.4. La precipitación pluvial por año es de 1,990 mm y la humedad promedio relativa es de 70.3%, factor que, entre otros, contribuye a crear el ambiente adecuado para el cultivo del café, que es su principal producto agrícola (Soto 2012). El clima que se tuvo en el municipio de Barberena durante el 2015 se ilustra en la figura 2, reportando la precipitación y la temperatura.



Fuente: datos provienen de la estación climatológica de la finca Las Flores propiedad de ANACAFE ubicada en Barberena Santa Rosa.

Figura 2. Climograma de Barberena durante el 2015.

### 1.3.2 Suelos

Los suelos del municipio de Barberena son profundos, bien drenados, desarrollados sobre un flujo lodoso, o lahar, mafico pedregoso, en un clima húmedo-seco. Ocupan relieves ondulados a inclinados, a elevaciones medianas en el Sureste de Guatemala (Simmons 1959). Están asociados con los suelos Moran, pero se distinguen fácilmente de estos porque los moran están desarrollados sobre ceniza pomácea y los de Barberena sobre lahar pedregoso.

### 1.3.3 Topografía

Debido a la variada topografía del terreno es difícil el uso de maquinaria agrícola y además porque el mayor cultivo predominante es el café, el cual lleva un proceso manual hasta su cosecha. El Municipio de Barberena es bastante accidentado (Soto 2012).

### 1.3.4 Hidrografía

Dentro de las principales fuentes hidrológicas se encuentran ríos, riachuelo quebradas, lagunas y lagunetas. Entre los ríos más importantes está el Aguacapa que atraviesa el Municipio de Barberena, que llega posteriormente la represa del mismo nombre, la cual es importante por la energía eléctrica que genera para la región. También existen los ríos: La Plata, Las Cadenas y Aguacapilla, los riachuelos La Presa, Media Cuesta, Las Minas, Los Limones, Bijagues, La Concha, La Vega, Utapa, Los Verdes, San Luis, Blanco, Cimarrón el

Azufre, así como las quebradas El Joval, El Jute, Helada, La Instancia, De la Pastoría, Las Mercedes El Subinal y Quebrada Seca (IGN 1983).

## **1.4 Marco Conceptual**

### **1.4.1 Sistemas de producción de café**

El café podría considerarse como una moneda internacional que les sirve a los países para obtener una parte de bienes que necesitan del exterior. La caficultura ha sido una de las actividades por las que se han generado mayor cantidad de divisas, comercio, industria, transporte y otros servicios en general.

La caficultura convencional se basa en tecnología moderna para la producción, incluyendo el uso de agroquímicos sintéticos como insecticidas, fungicidas, herbicidas, nematicidas y fertilizantes. Hace énfasis principalmente en las altas producciones por unidad de área, a tal grado que en algunos casos las plantaciones se manejan a pleno sol para lograr éste propósito (ANACAFE 2007).

La caficultura natural, también conocida como caficultura tradicional. En este sistema el caficultor generalmente no realiza prácticas de manejo y mejoramiento de cultivo, excepto las limpias y la cosecha. Además, no se agregan agroquímicos sintéticos (ANACAFE 2007).

La caficultura orgánica es el sistema de producción de café que se basa en la conservación y el mejoramiento de la fertilidad del suelo, el uso apropiado de la energía y el estímulo a la biodiversidad vegetal y animal. Promueve el manejo integral de las plantaciones, mediante técnicas e insumos compatibles con el ambiente; prohibiendo el uso de agroquímicos sintéticos. También conocida como caficultura ecológica, biológica y biodinámica (ANACAFE 2007).

### **1.4.2 Fertilización foliar utilizada en el cultivo de café**

La fertilización foliar se ha convertido en una práctica común e importante para los productores, porque corrige las deficiencias nutrimentales de las plantas, favorece el buen desarrollo de los cultivos y mejora el rendimiento y la calidad del producto (Meléndez 2002).

La fertilización foliar no substituye a la fertilización tradicional de los cultivos, pero sí es una práctica que sirve de respaldo, garantía o apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo que no se pueden abastecer mediante la fertilización común al suelo (Kannan 2010).

Las plantas pueden fertilizarse a través de las hojas mediante aplicaciones de sales solubles en agua, de ésta manera los nutrientes penetran en las hojas a través de los estomas que se encuentran en el haz o envés de la hoja y por los espacios submicroscópicos denominados ectodesmos en las hojas y al dilatarse la cutícula de las hojas se producen espacios vacíos que permiten la penetración de los nutrientes (Meléndez 2002).

El abastecimiento nutrimental vía fertilización edáfica depende de muchos factores tanto del suelo como del medio que rodea al cultivo. De aquí, que la fertilización foliar para ciertos nutrimentos y cultivos, bajo ciertas etapas del desarrollo de la planta y del medio, sea ventajosa y a veces más eficiente en la corrección de deficiencias que la fertilización edáfica (Kannan 2010).

En 1844 se reporta que en Francia se aplicaba sulfato ferroso en el follaje de la vid para corregir la clorosis en las plantas. También se tenían noticias de que en muchas partes del Sur de Europa la fertilización foliar era conocida por los agricultores, quienes la practicaban ampliamente. Esta práctica posteriormente se hizo intensiva en otras partes del mundo, en donde los agricultores habían visto efectos benéficos en el incremento de rendimiento y calidad del producto. Además ya se había observado que en algunos lugares los fertilizantes químicos aplicados al suelo no actuaban eficiente y satisfactoriamente (Meléndez 2002).

La fertilización foliar se concibe como un complemento de la fertilización al suelo con elementos como el nitrógeno, fósforo y potasio (Kannan 2010).

Se reconoce, que la absorción de los nutrimentos a través de las hojas no es la forma normal. La hoja tiene una función específica de ser la fábrica de los carbohidratos, pero por sus características anatómicas presenta condiciones ventajosas para una incorporación inmediata de los nutrimentos a los fotosintatos y la translocación de éstos a los lugares de la planta de mayor demanda (Kannan 2010).

El abastecimiento de los nutrimentos a través del suelo está afectado por muchos factores de diferentes tipos: origen del suelo, características físicas, químicas y biológicas, humedad, plagas y enfermedades (Bear, Plancarte, Trinidad *et al.*, 1971). Por consiguiente, habrá casos en que la fertilización foliar sea más ventajosa y eficiente para ciertos elementos, que la fertilización al suelo, y casos en que simple y sencillamente no sea recomendable el uso de la fertilización foliar (Kannan 2010).

La hoja es el órgano de la planta más importante para el aprovechamiento de los nutrimentos aplicados por aspersión (Tisdale *et al.*, 1985).

Las características físicas y fisiológicas de una planta pueden alterar la eficacia de la fertilización foliar de dos maneras: debido a diferencias en la estructura de la canopia y a causa de las características de las superficies de la parte aérea de la planta (Kannan 2010).

Las condiciones ambientales en el momento de aplicar los tratamientos también influyen en la eficacia de los fertilizantes foliares a través de efectos directos sobre las propiedades fisicoquímicas de la disolución de fertilizante aplicado sobre las superficies vegetales y al afectar los procesos biológicos en la planta tanto los inmediatos como los de largo plazo. Las condiciones inmediatas de luz, temperatura y humedad al momento de la aplicación foliar afectan el estado metabólico de la planta y por lo tanto pueden influir directamente en los procesos de absorción a través de la superficie de la hoja y una vez dentro de sus espacios internos (Meléndez 2002).

Las condiciones ambientales después de la aplicación pueden determinar la persistencia de los tratamientos sobre la superficie de las hojas y afectar la redistribución de nutrientes dentro de la planta luego de absorberse. Durante un periodo de tiempo más largo, el entorno en el que una planta crece puede alterar la eficacia de los fertilizantes foliares a través de su efecto sobre las características de la superficie de la hoja, el tamaño y la composición de la canopia, y su efecto sobre el estado nutricional de la planta, su morfología y su fisiología (Kannan 2010).

Las especies difieren notablemente en sus características de las superficies de las hojas, y actualmente es imposible predecir la respuesta del cultivo a una formulación determinada (Kannan 2010).

El ambiente afecta todos los aspectos de la fertilización foliar; desde las reacciones físicas y químicas de los materiales pulverizados; la arquitectura de la planta. Los factores ambientales, fisiológicos y biológicos que afectan la respuesta de las plantas a la fertilización foliar; la composición cuticular de la hoja; y el destino de los nutrientes una vez que entran a la planta (Kannan 2010).

La fenología de la planta también tiene un gran efecto sobre la composición cuticular de la hoja y por lo tanto la eficacia de la fertilización foliar. La movilidad en el floema tiene un profundo efecto en la manera en que los nutrientes foliares son utilizados por las plantas tratadas (Kannan 2010).

El conocimiento actual de los factores que determinan la composición cuticular de la planta y la respuesta a la aplicación foliar es insuficiente para predecir o manipular la respuesta de la planta a una aplicación foliar (Kannan 2010).

### **1.4.3 Mecanismos de penetración de los fertilizantes foliares a la planta**

Los procesos mediante los cuales una solución de nutrientes que se aplica al follaje de un cultivo es asimilada por las plantas incluyen: contacto con la hoja y adsorción a la superficie de la misma, penetración cuticular o estomática a través de otras estructuras epidérmicas, absorción celular y penetración en los compartimentos celulares metabólicamente activos en la hoja, y finalmente, en su caso, la translocación y la utilización de los nutrientes absorbidos por la planta (Fernández, Sotiropoulos, Brown 2015).

La superficie externa de la planta se caracteriza por una compleja y diversa variedad de adaptaciones especializadas, de orden físico y químico, que sirven para mejorar la tolerancia de las plantas a una extensa lista de factores de estrés, que incluyen condiciones desfavorables de irradiación, temperaturas, déficit hídricos, vientos, pastoreo, daño físico, polvo, lluvia, contaminantes, productos químicos antropogénicos, insectos y patógenos. Las estructuras y superficies aéreas de las plantas también están bien adaptadas para controlar el intercambio bidireccional del agua y gases, y limitar así la pérdida de nutrientes, metabolitos y agua interna desde la planta al medio ambiente en condiciones desfavorables. Estas mismas características que protegen a la planta del estrés ambiental y regulan el intercambio de agua, gases y nutrientes son las mismas que afectan la absorción foliar de los nutrientes aplicados. Mejorar la eficacia y reproducibilidad de la fertilización foliar requiere conocer los atributos físicos y químicos de la superficie de las plantas así como los procesos de penetración en la planta (Fernández, Sotiropoulos, Brown 2015).

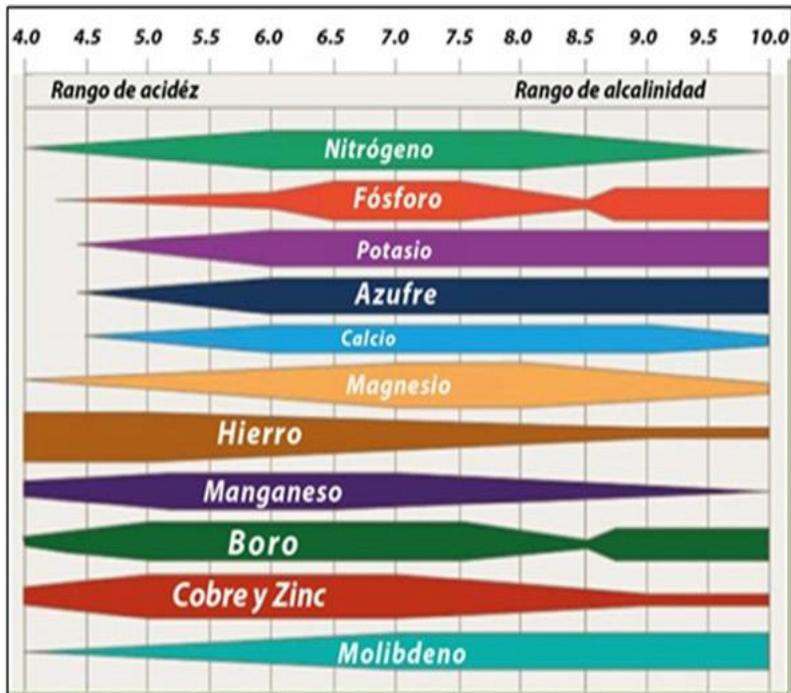
La estructura y química de la superficie de la planta afectará la difusión bidireccional de las sustancias entre la superficie foliar y el entorno ambiental, y por lo tanto la velocidad de absorción de los fertilizantes foliares (Fernández, Sotiropoulos, Brown 2015).

### **1.4.5 Factores ambientales, fisiológicos y biológicos que afectan la respuesta de las plantas a la fertilización foliar**

La respuesta de las plantas a la aplicación foliar de nutrientes varía no solo entre especies y cultivares, sino que depende también de la fenología de la planta, del estado fisiológico y del medio ambiente donde crece la planta. La comprensión de estas respuestas es clave para optimizar la eficiencia y reproductividad de los tratamientos fertilizantes foliares (Fernández, Sotiropoulos, Brown 2015).

### 1.4.6 Características de solubilidad del suelo

Para superar las limitaciones del suelo que restringen la solubilidad o movilidad de los elementos (pH, carbonatos, iones tóxicos, problemas estructurales, etc), en la figura 3 se evidencia las condiciones en las que se absorben de manera correcta los elementos en el suelo (Fernández, Sotiropoulos, Brown 2015).



Fuente: Castellanos, J.Z. 2014.

Figura 3. Características de solubilidad de los nutrientes.

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo general

1. Conocer el proceso de nutrición del cultivo de café para el manejo sostenible y productivo del cultivo en Barberena, Santa Rosa, Guatemala.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

1. Determinar el manejo de la nutrición que realizan los caficultores.
2. Determinar la oferta y demanda de fertilizantes foliares para café.
3. Establecer la cantidad de fertilizante foliar suministrado durante el proceso de fertilización en el cultivo de café.
4. Comparar los costos de los diferentes fertilizantes foliares utilizados para la producción de café.

## **1.6 METODOLOGÍA**

### **1.6.1 Reconocimiento del municipio de Barberena**

En la fase de reconocimiento se realizó un recorrido en fincas y agroservicios del municipio de Barberena con ayuda de personal técnico de ANACAFE, para generar y recopilar información que permitió realizar el análisis del perfil de los caficultores y sus necesidades en cuanto a fertilizantes foliares, conocer las fincas de los caficultores y los productos químicos que utilizan.

### **1.6.2 Análisis de la información**

Se realizó para encontrar soluciones e implementar nuevos productos para mejorar los programas de nutrición para el cultivo de café, interactuando con los técnicos, encargados o dueños de fincas y agroservicios, conociendo los registros de los fertilizantes foliares que utilizan los caficultores.

### **1.6.3 Fuentes de información primaria**

Al entrevistar a los caficultores, se conocieron los fertilizantes foliares que utilizan, dosis, número de aplicaciones por año, como manejan sus cafetales, época en que lo aplican, donde lo adquieren entre otras variables, esto con el fin de conocer las necesidades del caficultor.

Se identificaron agroservicios, para conocer los fertilizantes foliares que estaban a disposición de los caficultores para complementar la nutrición en sus cultivos. Se identificaron las presentaciones, precios, dosis, casas comerciales que distribuyen cada uno de los fertilizantes foliares.

#### **1.6.4 Fuentes de información secundaria**

Se realizaron consultas en sitios web, a expertos de ANACAFE para conocer la importancia que tiene el buen manejo de los programas de nutrición, utilizando fertilizantes foliares para las plantas de café.

### **1.7 RECURSOS**

1. Libreta de apuntes.
2. Computadora.
3. Calculadora.
4. Registros de fertilización.
5. Cámara.
6. Automóvil.
7. Gasolina.
8. Alimentación.
9. Equipo técnico ANACAFE región IV.
10. Agroservicios
11. Santos Hernández, encargado finca el Hato.

## 1.8 RESULTADOS

En el municipio de Barberena se realizan distintas prácticas para llevar a cabo la nutrición del cultivo de café, por ello se presenta la siguiente información y así describir las metodologías y productos más utilizados por los caficultores.

### 1.8.1 Nutrición del cultivo de café

#### 1.8.1.1 Fertilización foliar

Según expertos de ANACAFE la fertilización foliar en el municipio de Barberena, correspondiente a la región IV de ANACAFE, se realiza como se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Fertilizantes que usan los caficultores por etapa fenológica del cultivo de café

<b>Etapa fenológica</b>	<b>**Elementos necesarios</b>	<b>Compuestos</b>
<b>**Pre floración</b>	boro, zinc, magnesio	Sales
<b>**Post Floración</b>	zinc	Quelatos Naturales
<b>**45 dsf</b>	zinc, boro	Quelatos Naturales
<b>105 dsf</b>	calcio, zinc	Quelatos inorgánicos
<b>180 dsf</b>	calcio, potasio	Quelatos inorgánicos

\* Días de secado después de la floración.

\*\* Elementos necesarios según expertos de ANACAFE.

En Barberena se realizan por lo general de 3 a 4 aplicaciones; en la primera aplicación se realiza suministrando boro como elemento clave, la segunda aplicación con zinc, la tercera y cuarta con potasio, esto para favorecer a la planta y que pueda desarrollarse bien en sus etapas fenológicas.

En el cuadro 2 se observa las marcas de productos foliares utilizados durante el 2015 en el municipio de Barberena del departamento de Santa Rosa, con base al requerimiento nutricional de cada etapa fenológica del cultivo de café

Cuadro 2. Productos foliares utilizados en Barberena en el 2015 por etapa fenológica.

Etapa fenológica	Marcas boro	Marcas de zinc	Marcas de potasio
Prefloración	*Folcrop B *Folcrop B-Mo *Boroflor *Calcioboro		
Postfloración		*Folcrop Zn-Mn *Zinc Max *New fol Zn	
Formación de grano			*K max extra *Forcrop K *Potasio Stoller *Potasio Plus

\*Nombre del producto en el mercado.

En el cuadro 3, se describen los productos foliares multiminerales más utilizados durante el 2015 en el municipio de Barberena del departamento de Santa Rosa.

Cuadro 3. Productos multiminerales utilizados en Barberena en el 2015 para cultivo de café.

Producto	Empresa	Precio por litro	Número de Aplicaciones
Bayfolan	Bayer	Q60.00	1 a 2
Ultrafert	Disagro	Q35.00	1 a 2
Cafetalero	Nutrivesa	Q45.00	1 a 2
Milagro	Foragro	Q40.00	1 a 2
Maxiboost	Disagro	Q140.00	1 a 2
Folcrop Combi	Agroval	Q120.00	1 a 2
Super Complex	Corneta	Q60.00	1 a 2

### 1.8.1.2 Fertilización Química

La fertilización que utilizan los caficultores de Barberena, está basada según expertos de ANACAFE dependiendo del grado técnico de los caficultores el cual los divide en tres grupos:

1. No tecnificados: son los que no realizan análisis de suelos y aplican formulas ya establecidas, así mismo suministran una cantidad para todo el año. Entre ellos los caficultores tienen poca extensión territorial (menos de 100 manzanas).
2. Semitecnificados: son caficultores que realizan análisis de suelo, poseen más extensión territorial (100 a 300 manzanas), y aplican la cantidad de fertilizante en 2 dosis durante el año.
3. Tecnificados realizan análisis de suelo, en base a ello mandan a elaborar sus propias mezclas físicas adicionando elementos menores y realizan la aplicación fraccionándola en 3 dosis durante el año, caficultores que tienen más de 300 manzanas.

En el cuadro 4 se describe el proceso de fertilización al suelo que se realiza en el municipio de Barberena según los expertos de ANACAFE de la región IV para cultivo de café

Cuadro 4. Fertilización química del suelo para cultivo de café en plantación establecida.

Tipo de caficultor	Aplicaciones	Formulaciones	Mes aplicación			Cantidad por planta
			Elementos			
No tecnificados	1	18-46-0 15-15-15 20-20-0 Urea	Agosto			3 a 4 onz (85 a 113 gramos)
			N,P,K			
Semi tecnificados	1 a 2	18-6-16 19-4-19 más elementos menores 20-0-20 nitrato de amonio	Junio	Septiembre		2 a 3 onz (56 a 85 gramos)
			nitrógeno fósforo potasio	nitrógeno fósforo potasio más fuente nitrogenada		
Tecnificados	1 a 3	Formulas especiales (nitrógeno, fosforo, potasio más elementos menores)	Mayo	Agosto	Octubre	1 a 3 onz (28 a 85 gramos)
			nitrógeno fósforo	nitrógeno potasio	fuelle nitrogenada	

## **1.9 CONCLUSIONES**

1. La fertilización foliar consiste en aplicar macro y micronutrientes disueltos en agua al follaje, con el propósito de complementar los programas de fertilización al suelo y corregir así las deficiencias de elementos, tales como: calcio, magnesio, boro, zinc, hierro, manganeso, entre otros.
2. Se pudo observar que los productos más utilizados en Barberena son: Bayfolan, Ultrafert, Cafetalero, Milagro, Maxiboost, Folcrop Combi, Super Complex.
3. Se determinó con ayuda de especialistas, caficultores, que las aplicaciones foliares se realizan 3 veces durante el año, a razón de un litro de fertilizante foliar disuelto en un tonel con 200 litros de agua.
4. Se observó que los precios de fertilizantes foliares por litro oscila entre 60 a 250 Quetzales para 2015.

## **1.10 RECOMENDACIONES**

1. Mantenerse actualizados en el mercado de fertilizantes foliares, ya que se lanzan nuevos productos al mercado que pueden sustituir a otros y ser más eficientes.
2. Se aconseja mantener la dosis recomendada por los expertos de ANACAFE comerciales a razón de un litro por tonel de 200 litros de agua, para mejorar el crecimiento y desarrollo de la planta de café.

## 1.11 BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT). 1991. Manual de caficultura. Guatemala. p. 12-17.
2. \_\_\_\_\_. 1998. Manual de caficultura. Guatemala. 247 p.
3. \_\_\_\_\_. 2002. Manual de caficultura. 2 ed. Guatemala. 169 p.
4. \_\_\_\_\_. 2004. Manual de caficultura, datos socioeconómicos del cultivo del café en Guatemala. Guatemala. 52 p.
5. \_\_\_\_\_. 2007. Conceptos sobre caficultura orgánica (en línea). Guatemala. Consultado 20 abr 2015. Disponible en [https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=caficulturaorganica\\_Marco](https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=caficulturaorganica_Marco)
6. Bear, FE. 1965. Chemistry of soil. 2 ed. New York, US, Reinhold Publishing Corporation. s.p.
7. Betancourt-Olvera, MM; Rodríguez, MN; Sandoval, M. 2005. Fertilización foliar, una herramienta en el desarrollo del cultivo. Chapingo 11(2):14–15.
8. Botta, A. 2013. Mejora de la tolerancia del cultivo al estrés por temperatura con aminoácidos: una aproximación a su modo de acción (en línea). Acta Horticulturae 2013:29-36. Consultado 5 feb. 2016. Disponible en <http://www.plantstress.net/articulos-cientificos/mejora-tolerancia-cultivo-estres-temperatura-aminoacidos/doc>
9. Fernandez, V; Sotiropoulos, T; Brown, P. 2015. Fertilización foliar: principios científicos y práctica de campo. Paris, Francia, Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA). p. 49–82.
10. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1976. Diccionario geográfico de Guatemala. Francis Gall Comp. Guatemala, José De Pineda Ibarra. p. 56.
11. \_\_\_\_\_. 1976. Mapa climatológico preliminar de la república de Guatemala según el sistema Thornthwaite. Guatemala. Esc. 1:1000000. Color.
12. \_\_\_\_\_. 2005. Mapas topográficos digitales de la república de Guatemala. Esc. 1:100,000. Guatemala. 1 CD.
13. Kannan, S. 2010. Foliar fertilization for sustainable crop production. US, Sustainable Agriculture Reviews. 4 ed. p. 341–375.
14. Meléndez, G; Molina, E. 2002. Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. p. 9–15.

15. Plancarte M, I. 1971. Fertilización fosfatada al suelo y follaje de maíz en dos suelos de Ando bajo condiciones de invernadero. Tesis Profesional. Montecillos, Chapingo, México, Universidad de Chapingo, ENA. s.p.
16. Ronen, E. 2012. Fertilización foliar: otra forma exitosa de nutrir las plantas. Colombia, Haifa Chemicals. p. 6–14.
17. Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirano Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
18. Soto M, KR. 2012. Selección de genotipos promisorios de café (*Coffea arabica* L.) basados en caracteres agromorfológicos, resistencia a plagas y enfermedades en finca Las Flores, Barberena, Santa Rosa, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 76 p.
19. Tisdale, SW; Nelson, WL; Beaton, JD. 1985. Soil fertility and fertilizers. New York, US, MacMillan Publishing. 528 p.
20. Trinidad S, A; Núñez E, R; Baldovinos de la P, F. 1971. Aplicaciones foliares de fe, mn, zn y cu en los árboles de durazno. *In* Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (5, 1971, Guadalajara, Jalisco, MX). Memorias. Guadalajara, Jalisco, México, Asociación Mexicana de la Ciencia del Suelo. s.p.



## Capítulo II

**Evaluación de la disponibilidad en el suelo y contenidos de fósforo en plantas de café en respuesta a la aplicación de silicio; finca el Hato, Santa Rosa, Guatemala C.A.**

## 1.1. INTRODUCCIÓN

El café tiene una importancia crucial para la economía de Guatemala según Agrequima (2012), siendo esta actividad la que genera un aporte significativo del 30 al 36% de divisas al país, de la cual depende directa e indirectamente un 20% de familias guatemaltecas (ANACAFE 1995).

La producción de almácigos fuertes y vigorosos es fundamental para tener una alta producción y éxito de la planta en el campo. La fertilización juega un papel clave en el cultivo, garantizando plantas vigorosas y productivas. En cuanto a la etapa de vivero, el fósforo tiene un papel indispensable para el desarrollo de las raíces, éste asegura el rápido crecimiento de la raíz y la buena absorción de otros nutrientes y de agua (Yara, s.f).

El silicio es uno de los elementos que abundan en la corteza terrestre, tiene un papel importante en la planta debido a que controla el desarrollo de raíces, la forma de asimilación y distribución de nutrientes e incrementa la resistencia de la planta a situaciones de estrés abiótico como biótico (Furcal 2012).

Según García (2002) debido a la importancia del cultivo de café, debe tomarse en cuenta la disponibilidad de fósforo y silicio en el crecimiento y desarrollo del cafeto. El aporte al suelo de fertilizantes silícicos solubles, incrementa la asimilación del fósforo por la planta, posiblemente debido a un intercambio de los fosfatos absorbidos a los hidróxidos por silicatos.

El objetivo de la presente investigación fue: determinar los contenidos de fósforo en plántulas de café en respuesta a la aplicación de silicio, utilizando la variedad Catuai (*Coffea arabica*) en etapa de vivero (2 meses); misma que se realizó en la finca el Hato, ubicada en el municipio de Barberena, Santa Rosa, de Julio a Noviembre de 2015.

Esto permitió evaluar distintos parámetros como biometría, biomasa y porcentaje de fósforo, para determinar si el silicio tiene relación con la liberación y asimilación de fósforo o no en las plantas. Para la determinación de dichos datos fue necesario extracción de dos plantas de cada repetición (6 en total); asimismo, se determinó el porcentaje de fósforo en el tejido foliar tomando mediante el análisis de laboratorio por el método de digestión seca. En la investigación se utilizaron 2 productos que contenían silicio, cada uno en 4 concentraciones lo que genero 8 tratamientos que para su estudio se compararon contra el testigo al cual no se le aplico nada.

Posterior a la aplicación de los tratamientos con silicio en las plantas de café, se observó que si hubo diferencia significativa entre los tratamientos pero no superaron al testigo en los parámetros altura peso seco raíz, peso seco, peso aéreo, peso fresco y peso fresco de raíz.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Marco conceptual**

### **2.2.2 Importancia del café en Guatemala**

Los granos de café son unos de los principales productos de origen agrícola que se comercializa en los mercados internacionales y a menudo supone una gran contribución a los rubros de exportación de las regiones productoras. El cultivo del café, está culturalmente ligado a la historia y progreso de muchos países como Guatemala con más de un siglo de producción (Sondalh, Nakamura, Sharp, W 1991).

El café es de importancia para la economía y la política de muchos países en desarrollo, las exportaciones del café representan una parte sustancial en divisas; en algunos países el 80% (Agreguima 2012). Para Guatemala, el café desempeña un papel importante en la economía agrícola en amplias regiones del país, aporta el 12% del Producto Interno Bruto (ANACAFE 1995). Según ANACAFE hay más de 90,000 productores asociados al mismo, la calidad del café producido posee un reconocimiento mundial. Guatemala es considerado el sexto exportador a nivel mundial, posee una muy buena productividad y el mercado está comprando el café de altura donde el país posee importantes ventajas comparativas (ANACAFE 2004).

### **2.2.3 Caracterización del cultivo**

El árbol del café tiene su origen en la lejana Abisinia (actualmente Etiopía), en el Nororiente de África. En el mundo sobresalen por su importancia comercial, la especie de café arábigo y robusto. La primera especie abarca casi tres cuartas partes de la producción mundial y se cultiva principalmente en Centroamérica y Suramérica (Astorga 2002).

Su cultivo se extendió principalmente en Arabia donde se popularizó debido a la prohibición del alcohol por el Islam. Yemen fue un centro de cultivo importante, desde donde se propagó al resto del mundo árabe (Astorga 2002).

### **2.2.4 Variedad de café**

En Guatemala se cultivan variedades de la especie *Coffea arabica*, que es la más difundida en el mundo, con un aporte del 70 a 75% de la producción mundial (Soto 2012).

En Latinoamérica se cultivan diversas variedades desarrolladas a partir de las primeras introducciones, donde algunas son el resultado de mutaciones, hibridaciones naturales o artificiales (Astorga 2002; ANACAFE 2004).

Para la investigación se utilizó la variedad Catuaí la cual se describe:

Es resultado del cruce artificial de las variedades Mundo Novo y Caturra, realizado en Brasil. Las primeras introducciones a Guatemala se hicieron alrededor de 1,970. El fruto no se desprende fácilmente de la rama, una ventaja para las zonas donde la maduración coincide con períodos de lluvias intensas. Se adapta bien en altitudes de 609 a 1,371 metros sobre el nivel del mar en la Boca Costa; de 1,067 a 1,674.4 metros de altitud en la zona Central, Oriental y Norte del país. Es una variedad que necesita de buen programa de manejo, especialmente la fertilización (Soto 2012; ANACAFE 2004).

## **2.2.5 Fertilización del café**

### **2.2.5.1 Fertilización tradicional al suelo**

El cafeto requiere de al menos 16 elementos nutritivos, llamados elementos esenciales; tres de ellos son: el carbono, hidrógeno y oxígeno, la planta los obtiene del agua y del aire, mientras que los trece restantes son tomados del suelo a través del sistema radicular, pudiendo ser absorbidos también por vía foliar. Los elementos, pueden agruparse en primarios, secundarios y menores de acuerdo a las cantidades en que son requeridos por la planta (Soto 2012).

La fertilización consiste en aplicar e incorporar en el suelo la dosis recomendada de fertilizante, con base en el resultado del análisis, posterior a remover (picar) la capa superior del sustrato en la bolsa o taburete, teniendo cuidado de no aplicarlo en el pie de la planta (Soto 2012).

### **2.2.5.2 Elementos primarios**

Son los que absorben en altas cantidades, tal como el nitrógeno, fósforo y potasio, por lo general la mayoría de los suelos cafetaleros del país son deficientes en nitrógeno. En algunos suelos, derivados de cenizas volcánicas o con valores de pH menores a 5.5, pueden estar también deficientes en fósforo, en cambio al potasio, se le encuentra en niveles adecuados (Soto 2012).

### **2.2.5.3 Elementos secundarios**

Se absorben en cantidades intermedias, como el calcio, magnesio y azufre. Son llamados elementos secundarios, porque se requieren menores cantidades en relación a los primarios.

Estos tres nutrientes (calcio, magnesio y azufre) son agregados al suelo cuando se aplican en las fórmulas completas, ya que forman iones acompañantes, como es el caso del sulfato de amonio, que además de nitrógeno lleva azufre, o cuando se usa como material de relleno sustancias que contienen considerables cantidades de calcio y magnesio (Soto 2012).

### **2.2.5.4 Elementos menores**

Son aquellos elementos que la planta los absorbe en pequeñas cantidades y son: El boro, zinc, cobre, hierro, manganeso, cloro y molibdeno (Soto 2012).

## **2.2.6 Fósforo**

### **2.2.6.1 El fósforo en la planta**

El fósforo se encuentra en todos los tejidos de la planta en concentración variable, según la parte del aparato vegetativo que se considere. Su valor medio, expresado en óxido de fósforo puede situarse entre los 0.5 y 1 % de materia seca (Navarro y Navarro 2003).

La mayor parte de este fósforo absorbido por la planta se da en forma ortofosfatos directamente como ácido fosfórico, y en una menor cantidad como iones fosfatos u óxido de fósforo. La absorción del primero es diez veces más rápida que la del segundo, teniendo en cuenta que en ello influye notablemente el pH del suelo. Bajo la forma de fosfatos de potasio y magnesio, se le encuentra en pequeña proporción, ya que mayoritariamente se halla formando parte de una gran variedad de combinaciones orgánicas integradas en los grupos: fosfolípidos, fosfoprotidos y fosfoglicidos (Navarro y Navarro 2003).

Los fosfolípidos forman una parte fundamental de la estructura del protoplasma, y por hidrólisis enzimática se desdoblán en sus constituyentes (Navarro y Navarro 2003).

Los fosfoprotidos son los constituyentes de los núcleos celulares. Por hidrólisis originan ácido fosfórico, acompañado de aminoácidos o bases púricas. Estas moléculas contienen un 10 % de ácidos nucleicos, y en estos el ácido fosfórico es uno de los componentes de los

nucleótidos integrantes, sirviendo de puente de enlace a la molécula de pentosa del nucleótido inmediato (Navarro y Navarro 2003).

Los fosfoglúcidos son ésteres obtenidos en la reacción del ácido fosfórico con diversos azúcares. Un gran número de estos se combina con el ácido fosfórico y juegan un papel preponderante en los metabolismos hidrocarbonados (Navarro y Navarro 2003).

### **2.2.6.2 Funciones del fósforo**

El fósforo es esencial para el crecimiento de las plantas. Se requiere para el funcionamiento normal de las membranas celulares, además de ser parte importante del ácido nucleico y el ATP, molécula que alimenta en su gran mayoría a los procesos metabólicos. El fósforo también participa en la producción y transporte de azúcares, grasas y proteínas (Yara, s.f).

Al suministrar fósforo en abundancia se promueve el crecimiento rápido, mayor tamaño de la hoja y el macollaje de la planta. También adelanta la maduración y estimula la producción de frutos, flores y semillas (Yara, s.f).

El fósforo interviene también en algunos procesos metabólicos de las plantas que se ven reflejados en los siguientes aspectos bioquímicos: Biosíntesis de los lípidos: Los lípidos son sintetizados a partir de la trifosfato obtenido como intermediario de uno de los productos de la glucólisis y del acetilcoenzima A, producido por descarboxilación oxidativa del ácido pirúvico. Las principales reacciones de estas síntesis tienen lugar en el citoplasma, lugar en el que el fósforo desempeña un papel muy importante (Navarro y Navarro 2003).

Otro proceso importante del metabolismo de las plantas en el que interviene el fósforo es la síntesis de clorofilas y compuestos carotenoides, ya que estos son sintetizados a partir de una unidad biológica: el isopentenil pirofosfato, cuyo precursor es el ácido mevalónico (Navarro y Navarro 2003).

### **2.2.6.3 Relación entre el fósforo y raíz**

El fósforo es particularmente importante para el desarrollo de las raíces. En las plántulas el fósforo asegura el rápido crecimiento de la raíz y la buena toma de otros nutrientes y de la humedad. En los invernaderos un suministro continuo de fósforo es esencial en el crecimiento sostenido de nuevas raíces para desarrollar la producción continua del fruto (Yara, s.f).

#### **2.2.6.4 Dinámica del fósforo en el suelo**

La mayor parte del fósforo normalmente presente en los suelos no es aprovechable por las plantas, debido a su gran insolubilidad. Por lo tanto, para que el fósforo pueda ser asimilado por la planta, es necesario que se encuentre como un ácido fosfórico en la disolución del suelo (Navarro y Navarro 2003).

Normalmente en todos los suelos la cantidad de fosfato asimilable que contiene la disolución es muy pequeña (en la mayor parte de los casos del orden de 0.1 a 1 mg de ácido fosfórico por litro). Esta cantidad dependerá de la modificación del equilibrio dinámico que mantiene la disolución con los compuestos inorgánicos insolubles por un lado, y la formación y descomposición de la materia orgánica por otro (Navarro y Navarro 2003).

Los suelos que son por lo general bajos en contenido de fósforo, necesitan mayores tasas de aplicación de fósforo que la cantidad que se requiere para mantener el crecimiento de la planta durante la temporada. Esto es muy importante para acumular reservas del suelo, ya que las plantas captan menos del 20% del fósforo que se aplica como fertilizante en el año de aplicación (Yara, s.f).

Características predominantes como pH bajo y alta capacidad de fijación de fósforo son limitantes químicas reconocidas en suelos tropicales de importancia agrícola tales como Ultisoles, Oxisoles y Andepts. Las condiciones químicas mencionadas hacen que las prácticas de fertilización realizadas en estos suelos y en particular la aplicación de materiales fosfatados resulten de muy bajos niveles de eficiencia, y en consecuencia, costosa si se compara con suelos de mejores características químicas (Moncada, Puentes y Mesa, 1991).

Cuando la tasa de fósforo aplicada es menor que el fósforo eliminado en los productos agrícolas, los niveles de fósforo en el suelo decaen (Yara, s.f).

### **2.2.7 Silicio**

#### **2.2.7.1 Importancia del silicio**

El silicio es considerado uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre, sin embargo, debido a la meteorización, este silicio natural es insuficiente para desempeñarse como nutriente benéfico de algunos cultivos, por lo que es indispensable una fertilización complementaria. Los suelos altamente lixiviados, ácidos, meteorizados, con bajos niveles de silicio intercambiable, son considerados suelos pobres en silicio disponible para las plantas. El silicio es absorbido por medio de las raíces, junto con el agua de la disolución del suelo y es traslocado en el xilema. Las cantidades de silicio como fertilizante que se deben aplicar a

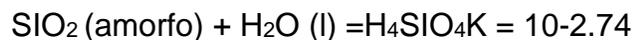
un cultivo aún no han sido determinadas en específico para cada uno, pero los experimentos indican que mientras mayor sea la cantidad de silicio soluble presente en el suelo, mejores serán los beneficios para la planta y el suelo (Brady 1992).

El uso agrícola intensivo y extensivo del suelo, provoca el desequilibrio de nutrientes contenidos en él, dado que una parte significativa es removida por la cosecha, el desarrollo vegetativo del cultivo y de la maleza, la lixiviación y la erosión eólica e hídrica. El silicio, así como otros nutrientes, es extraído del suelo. La extracción de silicio activo de los suelos agrícolas por cada cosecha es en promedio de 40 a 300 kilogramos por hectárea. Esto trae como consecuencia una disminución de silicio y un aumento del aluminio, causando un incremento en la acidez del suelo (Quero, E. s.f.).

### 2.2.7.2 Solubilidad del silicio

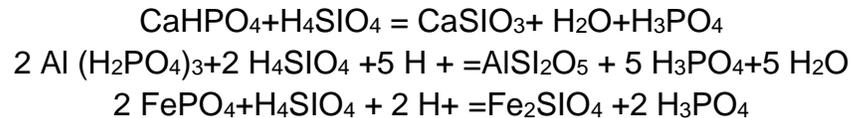
Los óxidos de muchos metales reaccionan con el agua para formar bases y los óxidos de no metales reaccionan con al agua para formar ácidos. Por ejemplo, el dióxido de carbono gaseoso reacciona con el agua para formar ácido carbónico, mientras que el óxido de azufre forma el ácido hidrosulfuroso (Quero, E. s.f.).

De manera muy similar, el dióxido de silicio amorfo, reacciona con el agua para formar ácido silícico, como se muestra en la ecuación:



El silicio es un compuesto sólido que puede ser amorfo o asumir diferentes formas cristalinas polimorfitas, incluyendo cristobalina, cuarzo y tridimita. El ácido silícico realmente se forma como el resultado de la intemperización química, de las rocas compuestas por minerales aluminosilicatos tales como los feldespatos y micas más que por solución de dióxido de silicio amorfo o cristalino. Sin embargo, cuando la solubilidad es excedida, se forma silicio amorfo, formando lentamente un precipitado gelatinoso o coloide (Quero, E. s.f.).

El silicio que se libera al medio en forma soluble, principalmente es el monómero ácido ortosilícico, el cual puede polimerizarse y formar coloides. El ácido ortosilícico, y las cadenas poliméricas son capaces de disolver el fósforo y el hierro, presentes en los fertilizantes y en el suelo en la forma de fosfatos de aluminio o de carbonatos, dicho proceso se ilustra en la ecuación:



Así también el ácido ortosilícico y sus polímeros pueden crear gradientes de concentración, facilitando la movilización de los minerales a los sitios donde ocurre la demanda (Quero, E. s.f.).

### 2.2.7.3 Beneficios del silicio

El silicio está presente en las plantas en cantidades equivalentes a aquellos elementos macronutrientes tales como calcio, magnesio y fósforo, y con frecuencia en los pastos en niveles más altos que cualquier otro constituyente inorgánico (Epstein 1999).

El silicio juega un papel importante en la planta, debido a que controla el desarrollo del sistema radicular, la asimilación y distribución de nutrientes minerales, incrementa la resistencia de la planta al estrés abiótico (alta y baja temperatura, viento, alta concentración de sales y metales pesados, hidrocarburos, aluminio, etc.) y biótico (insectos, hongos, bacterias y virus) (Epstein 1999).

Una buena concentración de silicio en el suelo y la aplicación de minerales ricos mediante el proceso de fertilización, tiene como resultado grandes beneficios que permiten una solución rentable a la economía en la producción agrícola (Quero, E. s.f.).

A continuación, se muestran detalladamente algunos de los beneficios al aplicar silicio:

- El silicio incrementa la resistencia del suelo contra la erosión del viento y agua. También ayuda a incrementar la masa radicular. La aplicación de silicio mineral al suelo, restaura y remedia su estructura, incrementa la capacidad de retención de agua (de 30 a 100%) y la capacidad de intercambio catiónico, sobre todo en pH mayor a 7.0. También se incrementa la estabilidad ante la erosión al promover la formación de agregados coloidales. El silicio ayuda al desarrollo del sistema radicular de la planta y puede incrementar la masa de raíces de un 50 a 200%, por lo que también estimula el amacollamiento (mayor número de tallos por semilla) (Quero, E. s.f.).
- El silicio protege a las plantas contra el ataque de las enfermedades, hongos e insectos: La acumulación de silicio en los tejidos de la epidermis en forma polimérica, orgánica y cristalina, permite proteger y fortalecer mecánica y bioquímicamente a los tejidos de la planta. El silicio se ha empleado eficazmente para controlar numerosas

enfermedades causadas por hongos y ataques de insectos, así como actúan los pesticidas y fungicidas, pero sin efectos negativos para el medio ambiente (Quero, E. s.f.).

- El silicio incrementa la productividad y calidad de las cosechas agrícolas: Desde el año 1848, numerosos reportes de investigación y la producción comercial en campo han demostrado los beneficios al obtener cosechas superiores, mediante la fertilización con silicio, tal como en la producción de arroz del 15 a 100%, maíz del 15 a 35%, trigo del 10 a 30%, cebada del 10 a 40%, caña de azúcar del 55 a 150%, diversos frutales como el aguacate, mango, del 40 a 70%, zarzamora, guayaba, hortalizas, chile del 50 a 150% y otros, como el frijol, pastos forrajeros, también se promueven beneficios al suelo para mantener una agricultura sustentable (Quero, E. s.f.).
- El tratamiento del suelo con sustancias con silicio biogeoquímicamente activo optimiza la fertilidad del suelo a través de mejorar la retención y disponibilidad del agua, sus propiedades físicas y químicas y de mantener los nutrientes en forma disponible para la planta (Quero, E. s.f.).
- El silicio incrementa la resistencia de la planta a la salinidad: La fertilización con silicio puede reducir el estrés causado por la salinidad en plantas cultivadas. Aunque existen pocas hipótesis que expliquen el efecto del silicio sobre el estrés salino (Quero, E. s.f.).
- El silicio restaura áreas contaminadas por metales pesados e hidrocarburos: Los fertilizantes minerales ricos en silicio tienen la capacidad de neutralizar el efecto tóxico de metales pesados y restaurar la fertilidad de la tierra. En numerosos experimentos de campo e invernadero se ha demostrado que materiales ricos en silicio pueden usarse como la parte integral de la nueva tecnología para la purificación y restauración de suelos contaminados con aceites y productos derivados de estos (Quero, E. s.f.).
- El silicio incrementa la resistencia a la sequía en las plantas: La fertilización con silicio puede optimizar el aprovechamiento del agua de riego en un 30 a 40% y ampliar los intervalos del riego sin efectos negativos sobre las plantas (Quero, E. s.f.).

### **2.2.8 Relación del silicio y fósforo**

García (2012), citado por Carrillo (1987), ha demostrado que el fósforo, como nutrimento en las primeras etapas de desarrollo del cafeto, es el responsable de formar cafetos

vigorosos y con buen sistema de raíces, y promotor de la floración y desarrollo del fruto en la etapa de producción. En el almácigo, García (2012), citado por Carrillo (1987), encontró respuesta positiva al fósforo.

El elevado grado de intemperización de nuestros suelos (tropicales) reduce de la misma manera que de silicio disponible para las plantas, así como la disponibilidad de fósforo en el suelo. La diferencia es que la reducción de la disponibilidad del silicio ocurre debido a las pérdidas por lixiviación, en tanto que la disponibilidad del fósforo disminuye por la fijación. La gran mayoría de nuestros suelos tienen gran poder de fijación del fósforo; lo que los hace grandes competidores con las plantas por el fósforo suministrado por el fertilizante (García 2012).

Cada vez que se suministran fertilizantes fosfatados en el suelo, se tienen pérdidas por fijación. Entre otros factores, esta pérdida se incrementa cuando mayor haya sido la intemperización sufrida por el suelo, y cuando más arcillosa sea su textura. Algunos autores citan pérdidas de hasta un 70% del fósforo aplicado en suelos del Brasil (García 2012).

Algunas prácticas disminuyen el problema y mejoran la asimilación del fósforo, tales como: el encalado, la siembra directa, la aplicación localizada de fuentes de fósforo soluble y el uso de fuentes de fósforo con solubilidad gradual (Chueiri 2004).

Se ha demostrado también una notable correlación silicio y fósforo. El suministro al suelo de fertilizantes ricos en silicio solubles incrementa la asimilación del fósforo por parte de la planta, esto es posiblemente debido a un intercambio de los fosfatos absorbidos a los hidróxidos por silicatos. En suelos con características ácidas y pobres en silicio resulta muy apropiado adicionar escorias básicas de defosforilación, 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 fósforo (Navarro y Navarro 2000).

### **2.2.9 Antecedentes**

#### **Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia:**

Se realizó una investigación en el vivero El Edén, municipio de Chinchiná, Colombia, en el cultivo del café, con el objetivo general de evaluar la respuesta de plántulas en almácigo, a la aplicación de diferentes dosis de silicio. En un suelo de origen volcánico se estableció un experimento a plena exposición solar y plántulas de café variedad Colombia. El diseño experimental utilizado fue en arreglo factorial, teniendo una parcela conformada por 4 tratamientos de 64 plantas cada uno (Caicedo y Chavarriaga 2008).

En el experimento los tratamientos recibieron una dosis de 0, 3, 6 y 9 gramos de dióxido de silicio al 90% por kilogramo de mezcla, incorporado al suelo antes de la siembra. Dos meses después de la siembra, al lado de la planta se aplicó una dosis de 0 y 3 gramos de DAP o fosfato de amonio (Caicedo y Chavarriaga 2008).

Los resultados ratificaron la influencia directa del silicio en complemento al DAP, en un mayor crecimiento y desarrollo de los colinos, al igual que mayor número de hojas, lo que influyó necesariamente el peso seco total. Esto fue reflejado en los tratamientos correspondientes a 6 gramos de silicio más 3 gramos de DAP y 9 gramos de silicio más 3 gramos de DAP (Caicedo y Chavarriaga 2008).

#### **Efecto de diferentes concentraciones de silicio, adicionado al suelo en el cultivo de chile habanero a cielo abierto:**

Se estableció una parcela de 2450 metros cuadrados, con una densidad total de 1736 plantas, se aplicaron tres concentraciones de Silicio 200, 400, y 600 gramos por planta, y el testigo, cada tratamiento consistió de 434 plantas, la aplicación se realizó al momento del trasplante.

Las variables evaluadas fueron, diámetro del tallo y altura de la planta, desde la primera semana hasta la última cosecha a intervalos de 8 días. Se realizó el registro de flores por planta (Cárdenas 2013).

La fuente de silicio fue a partir de un producto comercial con silicio amorfo activo expresado como  $\text{SiO}_2$  con una concentración de 31 a 34%. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y a la prueba de medias Tukey, ambas a un nivel de significancia del 5% de probabilidad, utilizando el software estadístico SAS System (Cárdenas 2013).

Los mejores resultados se presentaron con la concentración de silicio a 200 g por planta, lográndose obtener hasta 255 flores y 235 frutos por planta, con 94.43 cm en altura y 2.13 cm al diámetro. En todas las condiciones con silicio se observa un efecto positivo, excepto cuando se adicionó 600 gramos por planta donde el número de flores disminuyó, entre las diferentes concentraciones de silicio utilizadas no se presentaron diferencias significativas entre las variables evaluadas (Cárdenas 2013).

### **Respuesta de la caña de azúcar a la adición de 6 dosis crecientes de silicato de calcio, ciclo planta, en un ultisol de Pérez Zeledón**

Se estableció un experimento en La Fortuna de San Pedro (Finca El Porvenir) de Pérez Zeledón (560 metros sobre el nivel del mar), donde se evaluó la incorporación de seis dosis de silicio de calcio. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde la parcela total fue de 70 metros cuadrados y la útil de 42 metros cuadrados (3 surcos de 10 m de largo). La fertilización base aplicada en ciclo planta fue de 150 kilogramos por hectárea de nitrógeno, óxido fosfórico y óxido de potasio respectivamente (Mesen, Chaves, Barrantes 1996).

Los resultados no evidenciaron diferencias significativas de las dosis aplicadas respecto al testigo para ninguna de las variables agroindustriales evaluadas. Se determinó un leve mejoramiento de la calidad de los jugos hasta las 2.0 toneladas métricas de  $\text{CaSiO}_4$ .

La producción de caña en toneladas métricas por hectárea fue linealmente incrementada hasta 2.5 toneladas métricas, dosis que superó al testigo en 2.46 toneladas métricas de caña por hectárea equivalente al 3.12%. El azúcar por su parte aumentó también linealmente sus toneladas hasta las 2.0 toneladas métricas, al producir 2,7 toneladas métricas por hectárea equivalente al ocho por ciento más respecto al testigo (Mesen, Chaves, Barrantes 1996).

La relación económica de los tratamientos no tiene en este caso lógica. Es de importancia evaluar esta fuente en suelos meteorizados y con características edáficas limitantes en el contenido de silicio, ya que el elemento ha mostrado importancia en otros países donde ha sido evaluado en plantaciones de caña de azúcar (Mesen, Chaves, Barrantes 1996).

## 2.3 Marco referencial

### 2.3.1 Municipio de Barberena

El municipio de Barberena registra alturas que van desde 732 a 2,195 metros, la cabecera municipal se encuentra 1,069 m de altitud y su clima generalmente es templado, y cálido en época seca. Sus temperaturas oscilan entre 18.8 y 27.8 grados centígrados, con una media de 22.4 grados centígrados. La precipitación pluvial por año es de 1,990 mm y la humedad relativa es de 70.3%, factor que, entre otros, contribuye a crear el ambiente adecuado para el cultivo del café, que es su principal producto agrícola (MAGA 1998).

El comportamiento climático durante la investigación, se describe en el cuadro 5 que comprendió de Julio a Noviembre de 2015

Cuadro 5. Datos del comportamiento climático durante la investigación.

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
mm lluvia	271	275	378	304	56
°C	22.3	22.1	21.9	21.7	20.8

Fuente: Clima, Barberena. Climate-Data.org

### 2.3.2 Suelos del municipio de Barberena

Los suelos del municipio de Barberena son profundos, bien drenados, desarrollados sobre un flujo lodoso, o lahar, mafico pedregoso, en un clima húmedo-seco. Ocupan relieves ondulados a inclinados, a elevaciones medianas en el sureste de Guatemala (Simmons 1950). Están asociados con los suelos Moran, pero se distinguen fácilmente de estos porque los moran están desarrollados sobre ceniza pomácea y los de Barberena sobre lahar pedregoso. El suelo en el que se desarrolló el experimento posee la clase textural de un suelo Franco Arcilloso Arenoso, con un pH de 7.2.

El orden del suelo identificado en el municipio de Barberena donde se llevó a cabo el experimento pertenece a los Ultisoles, los cuales su descripción es la siguiente: Son suelos de zonas húmedas templadas a tropicales sobre antiguas superficies intensamente meteorizadas; suelos enriquecidos en arcilla (MAGA 1998).

### **2.3.3 Elaboración de almácigos de café en la región IV de ANACAFE**

Según estudio realizado a 64 muestras de almácigos de todas las regiones del país realizado por ANACAFE se evidencia el tratamiento que realiza para la elaboración de almácigo y es aplicado de manera universal en todas las regiones de Guatemala. Para la elaboración de un almácigo de buena calidad es el primer paso y fundamental para obtener plantaciones productivas de café; por lo que se debe tomar en cuenta el tamaño de la bolsa, el tipo de sustrato, características de la raíz pivotante, características de las redcillas, desarrollo del foliar y la presencia de nematodos; asimismo es necesario contar con personal capacitado el cual sea capaz de utilizar tecnología desarrollada para mejorar la sostenibilidad de las plantas en el campo. Tradicionalmente existen dos sistemas de elaboración: uno en bolsas de polietileno y otro en el suelo (Gaitán 2011).

#### **2.3.3.1 Almácigo en bolsa**

El uso de una bolsa de tamaño apropiado, permite a la planta un buen desarrollo del sistema radicular hasta su establecimiento en campo definitivo. La bolsa más recomendada es la de polietileno de las siguientes medidas: 6 por 8" o de 7 por 10" para una postura y de 6 por 10 o 8 por 10" para dos posturas.

El tipo de sustrato recomendado es aquel que tiene textura franca o suelta, para favorecer el desarrollo de la raíz pivotante y el sistema radicular en general. Este tipo de sustrato permite el movimiento del agua dentro de la bolsa y reducen la posibilidad de agrietamiento, el cual generaría la oxidación de las raíces y el cambio de elementos a formas tóxicas para la planta como el hierro y manganeso; efecto que puede ser observado al utilizar sustratos arcillosos o de textura pesada (Gaitán 2011). Es recomendable utilizar suelos provenientes de áreas que permitan hacer una mezcla equilibrada de arcilla, arena y limo. Si el suelo es arcilloso se debe agregar arena y si es muy arenoso se debe agregar arcilla para que sea un suelo franco (Padilla 2005).

Las malformaciones en la raíz pivotante son muy frecuentes como consecuencia a una mala siembra. Estas condiciones no permiten el desarrollo ni sostenibilidad de la planta en el campo. El control de nematodos es indispensable para garantizar el crecimiento de la planta, debido que dicho insecto es capaz de generar lesiones y/o destrucción del sistema radicular (Padilla 2005).

El crecimiento de la raíz es limitado por el tamaño de la bolsa. Cuando la raíz toca el fondo de la bolsa se produce un doblamiento de ésta en la forma L; tendrá efectos negativos en el anclaje de las plantas adultas y en la absorción de nutrientes causando raquitismo.

El tratamiento del sustrato, específicamente para el control de nematodos, se hace con flor de muerto (*Tagetes sp.*) molida, misma que se incorpora durante la mezcla del material para el llenado de bolsas. También puede aplicarse tabaco molido (uso restringido, para casos muy necesarios y localizados), a razón de tres a cinco gramos por bolsa. Para la desinfección del suelo aplicar antes del trasplante caldo bordelés (1 onza de sulfato de cobre más 1 onza de cal dolomítica por galón de agua), a razón de 50 centímetros cúbicos por bolsa (Farfán 2011).

El tiempo óptimo para realizar el trasplante es cuando la plántula está en la etapa de soldadito (el tallo conserva aún el pergamino), debiendo enfatizar en los siguientes aspectos:

- a. Selección de plántulas sanas y con buena conformación de raíces.
- b. Evitar la deshidratación.
- c. Durante el trasplante, tener cuidado de no enterrar demasiado las plántulas y hacer poda de la raíz cuando ésta sea demasiado larga (Farfán 2011).

## **2.4 OBJETIVOS**

### **2.4.1 Objetivo general**

1. Evaluar la disponibilidad en el suelo y contenidos de fósforo en plantas de café, en respuesta a la aplicación de silicio.

### **2.4.2 Objetivos específicos**

1. Evaluar el efecto del silicio sobre la respuesta en el crecimiento de las plantas de café.
2. Evaluar los contenidos de fosforo en plantas de café al finalizar la investigación.
3. Evaluar los contenidos de fosforo disponible en el suelo previo a la investigación.
4. Evaluar económicamente a través de costos parciales la aplicación de silicio en el plan de nutrición del cultivo de café.

## **2.5 HIPÓTESIS**

1. Todos los tratamientos con silicio aplicados tienen incremento en la altura, peso fresco y seco de hojas y raíces en las plantas de café.

2. Todos los tratamientos con silicio tendrán incremento en la acumulación de fósforo en las plantas de café.
3. Todos los tratamientos con silicio lograrán liberar la cantidad de fósforo necesario para contribuir al crecimiento adecuado de las plantas de café.
4. El costo del tratamiento con silicio es directamente proporcional al crecimiento de las plantas, secundario a la liberación de fósforo por acción del silicio.

## 2.6 METODOLOGÍA

### 2.6.1 Material experimental

El experimento fue realizado en el municipio de Barberena, Santa Rosa, en la finca el Hato. El material utilizado fue café (*Coffea arabica* L.) Variedad Catuaí, en vivero (2 meses).

La variedad Catuaí es de porte bajo, pero más alta que Caturra, las ramas laterales forman un ángulo cerrado con el tallo principal, entrenudos cortos. El fruto no se desprende fácilmente de la rama, lo que es una ventaja para las zonas donde la maduración coincide con períodos de lluvias intensas (Guerra 2006). Se adapta muy bien en rangos de altitud de 609 a 1371 metros sobre el nivel del mar, en la Boca Costa; de 1066 a 1676 metros sobre el nivel del mar en la zona central, Oriental y Norte del país. Es una variedad de alta producción que requiere un buen programa de manejo, especialmente en fertilización (Guerra 2006).

A esta variedad se le aplicaron dos productos que contienen silicio en diferentes cantidades los cuales son:

Armurox conformado por péptidos de silicio soluble, su composición p/v es de:

- Aminoácidos (Péptidos) 5.10%
- Silicio (Si) 4.80%
- Heptagluconato sódico 3.90%
- Ingredientes inertes 86.20%

TecnoSilix Mg-Si conformado por silicio, calcio, magnesio y elementos menores, su composición p/p es de:

- Oxido de silicio 30%
- Oxido de magnesio 15%

## 2.7 Tratamientos

En la investigación se utilizaron 2 productos que contenían silicio, cada uno en 4 concentraciones lo que generó 8 tratamientos que para su estudio se compararon contra el testigo al cual no se le aplicó nada (cuadro 6).

Cuadro 6. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Kilogramos por hectárea
Testigo Absoluto	0
3 cc Si (TecnoSilix Mg-SL)	900
6 cc Si (TecnoSilix Mg-SL)	1800
9 cc Si (TecnoSilix Mg-SL)	2700
6 cc Si (Armurox)	1800
9 cc Si (Armurox)	2700
12 cc Si (Armurox)	3600
15 cc Si (TecnoSilix Mg-SL)	4500
15 cc Si (Armurox)	4500

## 2.8 Variables de respuesta

### 2.8.1 Biometría de las plantas

Para esta variable los datos fueron:

1. Peso fresco de raíz (gramos).
2. Peso seco de raíz (gramos).
3. Longitud de la planta (centímetros).

Para la determinación de dichos datos fue necesario extracción de dos plantas de cada repetición (6 en total), se limpió cuidadosamente la tierra contenida en las raíces y con una cinta métrica se midió la longitud total de la planta. Asimismo se pesó el contenido de la raíz, la materia fresca y seca en gramos de la raíz utilizando una balanza digital.

### **2.8.2 Porcentaje de fósforo en la planta**

Para el análisis foliar, en el cual se determinó la cantidad de fósforo, se extrajeron una a dos hojas de dos plántulas por repetición que conformaron la unidad experimental.

Se determinó el porcentaje de fósforo en el tejido foliar tomando mediante el análisis de laboratorio por el método de digestión seca, el cual se realizó en las instalaciones del laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana” de la FAUSAC.

### **2.8.3 Análisis de la información**

Para cada variable de respuesta se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), y donde se encontró diferencia significativa se realizó la prueba de Tukey con un  $\alpha = 0.5$  y contrastes ortogonales, como software estadístico para el análisis se utilizó INFOSAT.

## **2.9 Unidad de muestreo**

Cada unidad experimental estuvo conformada por 10 bolsas de almacigo sembradas dos bolsas de ancho y cinco de largo.

## **2.10 Diseño experimental**

Los 9 tratamientos evaluados fueron establecidos en un diseño de bloques completos al azar (DBA) con tres repeticiones. Al encontrar diferencias significativas se procedió a realizar una prueba múltiple de medias Tukey y Contrastes ortogonales para ver el efecto de productos respecto al testigo y entre los tratamientos.

## **2.11 Modelo estadístico**

Se utilizó el modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

En donde:

- $Y_{ij}$ : Variable de respuesta
- $\mu$  = Media general del experimento
- $T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento
- $B_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima repetición (bloque)
- $E_{ij}$  = Error experimental asociado a la  $ij$ -ésima unidad experimental

## 2.12 Manejo agronómico del experimento

El café es un cultivo muy rústico que se adapta a una gran variedad de condiciones agroclimáticas, sin embargo debe estar dentro de un rango de 12 a 33 grados centígrados; tratando de exponerse a la luz solar de manera indirecta o difusa en menor intensidad. Los suelos del cultivo de café deben tener una fertilidad media, donde la calidad de la arcilla tendrá un efecto sobre la fijación y aprovechamiento del potasio por lo que los suelos deben ser profundos, permeables, friables y de buena textura, bien aireados y con contenido adecuado de arcilla (Caicedo 2008).

En el caso de la finca el Hato, se realizan varias metodologías para mejorar la nutrición de las plantas; se utilizó Sulfomag como fuente de potasio, magnesio y azufre. Asimismo se utilizó Armurox y TecnoSilix Mg-Si como abonos adicionales para la evaluación del experimento.

El manejo del experimento se realizó de acuerdo a la tecnología que utiliza ANACAFE para el manejo de almácigos de la zona, asegurando la sanidad de las plantas y que la única variable será la aplicación de las diferentes dosis de silicio como liberador de fósforo.

### 2.12.1 Llenado de bolsa

Llenado de bolsas de polietileno negro de 7 por 10 pulgadas y orificio para drenaje; con la mezcla que utiliza la finca (50% suelo, 25% pulpa de café más 25% arena de río).

### 2.12.2 Distribución de las bolsas

Las 10 bolsas en el área del experimento se colocaron en doble hilera con una separación de cuarenta a cincuenta centímetros de distancia entre la doble hilera.

### **2.12.3 Desinfección del sustrato**

Antes del trasplante se desinfectaron las bolsas aplicando Mocap para el control de insectos y nematodos, utilizando una bomba de mochila 15 días antes de la siembra.

### **2.12.4 Trasplante de las plántulas**

El trasplante de las plantas se realizó cuando se encontraban en estado de soldadito utilizando plántulas sanas, vigorosas y bien conformadas.

Las plántulas se expusieron al aire durante el menor tiempo posible. Se aplicaron los diferentes tratamientos en cada bolsa utilizando una jeringa para tomar en cuenta los centímetros cúbicos necesarios para cada aplicación, para esto, dependiendo del tratamiento al que pertenecía la plántula, se incorporó en la primera fase la mitad de las dosis de los productos con silicio seleccionados (3 cc, 6 cc, 9 cc y 15 cc de Tecnosilix Mg-Si y 6 cc, 9 cc, 12 cc y 15 cc de Armurox).

### **2.12.5 Plan nutricional**

Se fertilizó con una cantidad de 500g de 20-20-0 en 15 litros de agua, a los 30, 60 y 90 días del trasplante de las plantas de café.

Para complementar una buena nutrición fue necesario el uso de fertilizante foliar, el cual fue administrado cada 30 días con un máximo de 4 aspersiones, se inició a partir del primer mes del trasplante de las plantas durante toda la etapa del experimento, la cantidad utilizada fue de 1.5 centímetros cúbicos de Bayfolan Forte diluido en medio litro de agua.

### **2.12.6 Riego**

Durante la realización del experimento, se aplicaron riegos tres veces por semana.

### **2.12.7 Control de malezas**

Para el control de malezas dentro de la bolsa se realizó de manera manual cada 15 días, para eliminar las malezas de la calle se utilizó el azadón. Asimismo se aplicó Alaclor disuelto en agua, es un herbicida pre emergente dirigido a la bolsa cuando la planta se encontraba en estado de mariposa.

### 2.12.8 Manejo de aplicación del silicio

Se realizaron dos aplicaciones de los tratamientos con TecnoSilix Mg-Si y Armurox aportando las dosis de silicio que fueron estudiadas (3cc, 6cc, 9cc, 12cc, y 15cc respectivamente). Se aplicó al suelo previo al trasplante y la segunda mitad en septiembre a los 60 días del trasplante.

### 2.12.9 Toma de datos

La toma de datos finales se realizó sobre las dos plántulas centrales de la unidad experimental a los 6 meses de las plántulas.

## 2.13 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según el cuadro 7 de análisis de varianza se observa diferencias significativas al 5% de probabilidad ( $P \leq 0.05$ ) en las variables evaluadas, por lo que se procedió a realizar una comparación múltiple de medias tukey y contrastes ortogonales, para poder determinar cuál de los tratamientos de silicio tuvo algún efecto en el desarrollo durante la etapa de almácigo en plántulas de café.

Cuadro 7. Resumen del análisis de varianza.

Cuadrados medios					
FV Variables	Altura	Peso fresco aéreo	Peso fresco raíz	Peso seco aéreo	Peso seco raíz
Tratamiento	2.63*	90.68*	9.29*	19.59*	6.14*
Error	0.52	24.99	1.58	4.54	

\*Diferencia significativa

Se esperaba que tras la aplicación de los diferentes tratamientos lo cuales tenían como elemento el silicio generaría una mejora en el crecimiento de las plántulas de café, debido al efecto que éste posee sobre la liberación de fósforo para que éste favoreciera el crecimiento

de la misma, al realizar el análisis de varianza existió diferencia significativa para las variables evaluadas, pero al realizar la prueba de medias se observa que el testigo estuvo dentro del grupo que mostro los mayores valores para cada una de las variables evaluadas (anexo 2).

Asimismo, se analizó el crecimiento en centímetros de la planta comparado con el tratamiento administrado, obteniendo los datos del cuadro 8.

Cuadro 8. Crecimiento de la plántula en centímetros de los tratamientos evaluados.

<b>Tratamiento</b>	<b>Crecimiento (cm)</b>
Ta (testigo)	9.03
Tb (3cc TecnoSilix)	8.2
Tc (6cc TecnoSilix)	8.13
Td (9cc TecnoSilix)	8
Te (6cc Armurox)	7.3
Tf (9cc Armurox)	7.7
Tg (12cc Armurox)	6.4
Th (15cc TecnoSilix)	7.37
Ti (15cc Armurox)	6

El crecimiento de las plantas fue similar en las que se encontraron expuestas al tratamiento con silicio, sin importar la marca administrada, se puede evidenciar la poca efectividad de los tratamientos aplicados comparado con el testigo.

En cuanto a la eficacia de los tratamientos con silicio, se realizó una comparación entre ambos productos que aportan silicio, se pudo evidenciar una mejora en los parámetros analizados en cuanto al crecimiento de las plantas con el producto TecnoSilix Mg-Si (cuadro 9).

Cuadro 9. Medias de las variables evaluadas.

TecnoSilix	Altura	7.93 cm
	Peso fresco aéreo	20.29 g
	Peso fresco raíz	7.06 g
	Peso seco hojas	8.81 g
	Peso seco raíz	2.67 g
Armurox	Altura	6.85 cm
	Peso fresco aéreo	15.85 g
	Peso fresco raíz	7.43 g
	Peso seco hojas	6.82 g
	Peso seco raíz	2.63 g

Junto con el tratamiento, también fue aplicado 500 gramos de fertilizante químico cuya composición fue 20-20-0 el cual fue suministrado a los 30, 60 y 90 días del trasplante de los soldaditos a las bolsas de almacigo; La aplicación pudo afectar o enmascarar el efecto de liberación del fósforo según lo que se esperaba por parte del silicio.

En el Anexo 1 de la prueba múltiple de medias utilizando contrastes ortogonales pudo determinarse que existe diferencia significativa al 5% al comparar producto contra producto. Como pudo observarse en el cuadro 3, los tratamientos en los cuales se utilizó TecnoSilix Mg-Si contra Armurox reflejaron diferencia significativa para las variables altura, peso fresco y seco aéreo, sin embargo al analizar el peso fresco de raíz y el peso seco de raíz no reflejó diferencia significativa con relación al testigo. Asimismo se evidenció una diferencia significativa en las variables altura, peso fresco y seco aéreo, pero ninguno de los tratamientos superó al testigo.

### 2.13.1 Porcentaje de fósforo en la planta

El comportamiento esperado era que posteriormente al aplicar silicio en el medio de cultivo (bolsa de almacigo) se tendría mayor cantidad de fósforo para la plántula favoreciendo el crecimiento de la misma, sin embargo se realizó una muestra en el tejido foliar para la

determinación de la concentración de fósforo a los 6 meses de trasplante como puede observarse en los Anexos 3 y 4 indicando que las plantas asperjadas con los tratamientos no tuvieron efecto en la concentración de fósforo comparadas con el testigo.

### 2.13.2 Análisis económico del experimento

Al iniciar el experimento, se determinó un presupuesto parcial, cuadro 10, debido que no se contó con la totalidad de los costos de producción, únicamente aquellos que varían en función a los tratamientos evaluados; el resto de los factores son constantes. Los tratamientos para realizar el análisis marginal con los resultados elegidos y determinando, posteriormente, la tasa marginal de retorno.

Para estimar lo que es el rendimiento se basó en el número de plantas en bolsa con 3 cruces a un precio de Q2.00 y con dos cruces a Q1.75; lo que respecta al precio de los productos, tomando como base la oferta y demanda; para determinar los costos, fueron tomados en cuenta los egresos que se llevaron en el proceso productivo de la planta (cuadro 10).

Cuadro 10. Presupuesto parcial en Quetzales para el almácigo de café, calculado para una hectárea. Elaborado en Marzo 2015.

Concepto	Testigo	Tecnosilix Mg-Si 3cc	Tecnosilix Mg-Si 6cc	Tecnosilix Mg-Si 9cc	Armurox 6cc	Armurox 9cc	Armurox 12 cc	Tecnosilix Mg-Si 15cc	Armurox 15cc
Rendimiento	3600	3800	3500	3800	3900	3900	3900	3900	3800
Precio	2.0	1.75	2.0	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Beneficio neto	7200	5600	7000	6650	6825	6825	7000	6825	6650
Costos variables									
Precio producto	60	110	110	110	120	120	120	110	120
Mano de obra	100	180	180	180	200	200	200	200	200
Costo total	160	290	290	290	320	320	320	320	320

La tasa marginal de retorno utilizado como parámetro para evaluar la rentabilidad del proyecto de investigación, la cual tiene como finalidad determinar el rendimiento por unidad; fue estimada tomando valores del presupuesto parcial el cual se presenta en el cuadro 11. Sin embargo, puede observarse que el tratamiento sin aplicación de productos tiene un beneficio neto mayor comparado con los otros.

Cuadro 11. Análisis de dominancia para los tratamientos de los productos con silicio y testigo.

Tratamientos	Costos variables (Quetzales)	Beneficio neto
Testigo	160	7200 D*
Tecnosilix Mg-Si 3cc	290	5600 ND**
Tecnosilix Mg-Si 6cc	290	7000 ND**
Tecnosilix Mg-Si 9cc	290	6650 ND**
Armurox 6cc	320	6825 ND**
Armurox 9cc	320	6825 ND**
Armurox 12cc	320	7000 D*
Tecnosilix Mg-Si 15cc	320	6825 ND**
Armurox 15cc	320	6650 ND**

\*Dominancia \*\* No dominancia

Con los resultados obtenidos se determinó la tasa marginal de retorno, según se puede observar en el cuadro 12.

Cuadro 12. Tasa marginal de retorno.

Beneficio neto	Costos variables	Beneficio neto	Costos variables	Tasa marginal de retorno
7200	160	200	130	65%
7000	290			

La tasa marginal de retorno es de 65% y es para el tratamiento del testigo comparado contra Tecnosilix Mg-Si 6cc.

## 2.14 CONCLUSIONES

1. La aplicación de los diferentes tratamientos que adicionaban silicio al suelo bajo las condiciones que se encontraba el experimento; contenido aceptable de fósforo según el análisis de suelo (anexo 3), un porcentaje alto de fijación de fósforo (anexo 5), no mostró mejoría en el crecimiento de la plántula, como establece la literatura, debido que no se observó una diferencia significativa con un 0.5 de probabilidad en los parámetros altura peso seco raíz, peso seco, peso aéreo, peso fresco y peso fresco de raíz en relación al testigo.
2. La absorción de fósforo en el tejido foliar de las plántulas posterior a la exposición del silicio aplicado en los tratamientos del estudio, no mostró diferencia significativa comparado con el tratamiento testigo, por lo que no se observó el beneficio del mismo en el desarrollo y crecimiento de la planta.
3. En el análisis de los contrastes Tecnosilix Mg-Si con dosis baja (6cc) y dosis alta (15cc) dio una mejor altura, peso fresco y seco aéreo, sin embargo, la tendencia de crecimiento con respecto a la cantidad administrada de silicio no se obtuvo.

## 2.15 RECOMENDACIONES

1. Determinar las concentraciones necesarias (superiores e inferiores) de silicio para la liberación de fósforo en suelos con características edáficas limitantes de fósforo y potasio para mejorar el crecimiento de la planta de café.
2. En futuras investigaciones, no aplicar fertilizantes granulados ni foliares ya que es posible que alteren o enmascaren el resultado esperado.
3. Dar seguimiento a la investigación con otra etapa del cultivo, ya que en etapa de vivero no se vio mejoría alguna.

## 2.16 BIBLIOGRAFÍA

1. AGREQUIMA. 2012. Impacto social y económico del sector agrícola guatemalteco sobre la economía nacional. Guatemala. Consultado 20 mar 2015. Disponible en <http://www.agrequima.com.gt/images/stories/presentaciones-iv/agrequima-estudio-190412.pdf>
2. ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT). 1993. Suelos de la agroindustria cafetalera de Guatemala; región sur. Guatemala, ANACAFE / Universidad de Georgia Athens, Departamento de Agronomía. 79 p.
3. \_\_\_\_\_. 1995. Hombres de café. Guatemala. 44 p.
4. \_\_\_\_\_. 2002. Manual de caficultura. 2 ed. Guatemala. 169 p.
5. \_\_\_\_\_. 2004. Manual de caficultura, datos socioeconómicos del cultivo del café en Guatemala. Guatemala. 52 p.
6. Astorga, C; Topart, P; Bertrand, B; Lashermes, P. 2002. La caracterización de las variedades de café (*Coffea arabica*) por los marcadores moleculares: ¿mito o realidad?. Boletín PROMECAFE no. 93, p. 9-13.
7. Brady, NC. 1992. The nature and properties of soil. 10 ed. New York, US, MacMillan Publishing. 750 p.
8. Caicedo, L; Chavarriaga, W. 2008. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. Agronomía Colombiana 15(1):3-4.
9. Cárdenas, A. 2013. Efecto de diferentes concentraciones de silicio, adicionado al suelo en el cultivo de chile habanero a cielo abierto. Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan 2(2): 92-96.
10. Carrillo P; Ignacio F. 1987. Boletín Técnico, No. 12. Chinchiná, Colombia, CENICAFE. p. 35-49.
11. Chalfoun, SM. 1997. Doenças do cafeeiro: importância, identificação e métodos de control. Lavras, Brasil, UFLA / FAEPE. p. 25-34.
12. Chueiri, WA. 2004. El fósforo en los suelos tropicales. Revista el Productor Consultado 20 mar 2015. Disponible en <http://www.revistaelproductor.com/setiembre2003/fertilización>
13. Epstein, E. 1999. Silicon. Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50:641-64.

14. Farfán, V; Serna, CA. 2011. Almácigos para caficultura orgánica: alternativas y costos. Chinchiná, Colombia, CENICAFÉ, Avances Técnicos no. 452, 8 p.
15. Furcal, G; Parmenides, B. 2012. Efecto del silicio en la fertilidad del suelo en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) var. CR 4477. Costa Rica, Escuela Agronomía, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 78 p.
16. Gaitán, B; Villegas, G. 2011. Almácigos de café: calidad fitosanitaria manejo y siembra en el campo. Chinchiná, Colombia, CENICAFÉ. p. 8–12.
17. García B, D. 2012. Efecto de la aplicación de dosis de silicio más abonos orgánicos en la poda de rehabilitación en plantas de café variedad Catimor en el distrito de Alonso de Alvarado Roque - provincia de Lamas. Perú, Mundi Prensa. 70 p.
18. Guerra G, MT. 2006. Sistematización de las experiencias obtenidas en las aplicaciones foliares de boro (b), zinc (zn), potasio (k) y sus mezclas, en el cultivo de café (*Coffea arabica*). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 34 p.
19. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1983a. Diccionario geográfico de Guatemala. Francis Gall comp. Guatemala, Tipografía Nacional de Guatemala. tomo 1, 810 p.
20. \_\_\_\_\_. 1983b. Diccionario geográfico de Guatemala. Francis Gall comp. Guatemala, Tipografía Nacional de Guatemala. tomo 2, 1083 p.
21. Jones, S. 1987. Sistemática vegetal. 2 ed. México, McGraw Hill. 527 p.
22. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 1998. Caracterización del departamento de Santa Rosa. Guatemala. 45 p.
23. Mesen, R; Chaves, M; Barrantes, J. 1996. X congreso nacional agronómico ii congreso de suelos. Costa Rica. 1 p.
24. Moncada, J; Puentes, O; Mesa, L. 1991. Efecto del silicio sobre la disponibilidad de fósforo en un Andept y un Oxisol. *Agronomía Colombiana* 8(2):317-321.
25. Navarro, E; Navarro, G. 2003. Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. España, Mundi Prensa. 487 p.
26. Navarro, S; Navarro, G. 2000. Química agrícola. Barcelona, España, MundiPrensa. p. 424-427.
27. Padilla, C. 2005. Manual de caficultura orgánica. El Salvador, UCRAPROBEX / FIAGRO / Fundación para la Innovación de la Tecnología Agropecuaria. p. 47–54.
28. Quero, E. s.f. Nueva tecnología para optimizar la producción agrícola tecnificada y tradicional y mejorar la calidad agrícola de los suelos. Michoacán, México, Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. 16 p.

29. Régil J, JP. 2014. Eficiencia del ácido silícico para favorecer la absorción de fósforo en plantas de palma africana, variedad Deli x Nigeria, etapa de vivero. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 43 p.
30. Sánchez, PA. 1976. Properties and management of soils in the tropics. Chichester, Inglaterra, Wiley. 41 p.
31. Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH. 1950. Clasificación de reconocimientos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1,000 p.
32. Sondal, M; Nakamura, T; Sharp, WR. 1991. The physiology of silicon on rice. Taipei, Taiwan, Food Fertilization Technology Center. Technical Bull. no. 25.
33. Soto M, KR. 2012. Selección de genotipos promisorios de café (*Coffea arabica* L.) basados en caracteres agromorfológicos, resistencia a plagas y enfermedades en finca Las Flores, Barberena, Santa Rosa, Guatemala. Tesis Ing.Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 76 p.
34. YARA, NW. s.f. Manual básico de nutrición vegetal y suelos. Oslo, Norway, Yara International ASA. p. 12-45.

## 2.17 Anexos

### 2.17.1 Anexo 1. Contrastes ortogonales

Cuadro 13A. Análisis estadístico para las variables evaluadas.

Cuadrados medios					
Contraste	Altura	Peso fresco aéreo	Peso fresco raíz	Peso seco aéreo	Peso seco raíz
Teconsilix vs Armurox	6.93*	118.19*	0.79	23.62*	0.01
Tecnosilix vs Testigo	2.95*	2.61*	0.83	18.25*	1.7E-06
Armurox vs testigo	11.44*	72.09*	0.12	19.59*	3.2E-03

### 2.17.2 Anexo 2. Análisis de varianza (ANDEVA)

#### 2.17.2.1. Análisis de la varianza para altura.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura	27	0.77	0.62	9.50

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	26.99	10	2.70	5.22	0.0018
Tratamiento	21.02	8	2.63	5.08	0.0028
Repetición	5.98	2	2.99	5.78	0.0129
Error	8.28	16	0.52		
Total	35.28	26			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 2.08972**

Error: 0.5176 gl: 16

Tratamiento	Medias			
15cc Armurox	6.00	A		
12cc Armurox	6.40	A	B	
6cc Armurox	7.30	A	B	C
15cc Tecnosilix	7.37	A	B	C
9cc Armurox	7.70	A	B	C
9cc TecnoSilix	8.00	A	B	C
6cc TecnoSilix	8.13		B	C
3cc TecnoSilix	8.20		B	C
Testigo	9.03			C

**Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0.05)**

### 2.17.2.2 Análisis de varianza (ANDEVA) para peso fresco aéreo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso Fresco aéreo	27	0.69	0.50	27.12

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	892.50	10	89.25	3.57	0.0116
Tratamiento	725.42	8	90.68	3.63	0.0135
Repetición	167.08	2	83.54	3.34	0.0612
Error	399.8716	24.9			
Total	1292.38	26			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 14.52098**

*Error: 24.9922 gl: 16*

Tratamiento	Medias		
6cc Armurox	11.03	A	
9cc TecnoSilix	13.76	A	B
3cc TecnoSilix	14.39	A	B
12cc Armurox	15.35	A	B
9cc Armurox	18.41	A	B
15cc Armurox	18.61	A	B
Testigo	21.33	A	B
6cc TecnoSilix	25.83		B
15cc Tecnosilix	27.16		B

**Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )**

### 2.17.2.3 Análisis de varianza (ANDEVA) para peso fresco raíz.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso Fresco Raíz	27	0.75	0.59	17.23

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	74.83	10	7.48	4.74	0.0030
Tratamiento	74.33	8	9.29	5.89	0.0013
Repetición	0.50	2	0.25	0.16	0.8554
Error	25.24	16	1.58		
Total	100.08	26			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 3.64849**

*Error: 1.5778 gl: 16*

Tratamiento	Medias		
3cc Tecnosilix	4.84	A	
6cc Armurox	5.37	A	
9cc TecnoSilix	5.60	A	
15cc Armurox	6.85	A	B
Testigo	7.65	A	B
12cc Armurox	7.94	A	B
6cc TecnoSilix	8.14	A	B
9cc Armurox	9.55		B
15cc TecnoSilix	9.67		B

**Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )**

#### 2.17.2.4. Análisis de varianza (ANDEVA) para peso seco aéreo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso seco aéreo	27	0.72	0.54	26.46

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	182.54	10	18.25	4.02	0.0067
Tratamiento	156.70	8	19.59	4.32	0.0062
Repetición	25.84	2	12.92	2.85	0.0876
Error	72.61	16	4.54		
Total	255.15	26			

**Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 6.18769**

*Error: 4.5381 gl: 16*

Tratamiento	Medias			
6cc Armurox	5.03	A		
3cc TecnoSilix	5.80	A	B	
9cc TecnoSilix	5.93	A	B	C
12cc Armurox	6.53	A	B	C
15cc Armurox	7.63	A	B	C
9cc Armurox	8.10	A	B	C
Testigo	9.93	A	B	C
6cc TecnoSilix	11.47		B	C
15cc TecnoSilix	12.04			C

**Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )**

### 2.17.2.5. Análisis de varianza (ANDEVA) para peso seco raíz.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso seco raíz	27	0.76	0.61	13.37

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	6.29	10	0.63	5.00	0.0022
Tratamiento	6.17	8	0.77	6.14	0.0011
Repetición	0.12	2	0.06	0.47	0.6324
Error	2.01	16	0.13		
Total	8.30	26			

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 1.02941**

*Error: 0.1256 gl: 16*

Tratamiento	Medias			
3cc TecnoSilix	1.99	A		
6cc Armurox	2.00	A		
9cc TecnoSilix	2.24	A	B	
15cc Armurox	2.50	A	B	C
Testigo	2.67	A	B	C
12cc Armurox	2.89	A	B	C
6cc TecnoSilix	3.03		B	C
9cc Armurox	3.13		B	C
15cc Tecnosilix	3.40			C

**Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )**

### 2.17.2.6 Análisis de Contrastes Ortogonales para altura.

#### Contrastes

Tratamiento	SC	gl	CM	F	Valor p
Tecnosilix vs Armurox	6.93	1	6.93	13.40	0.0021
Total	6.93	1	6.93	13.40	0.0021

### 2.17.2.7 Análisis de Contrastes Ortogonales para peso fresco aéreo.

#### Contrastes

Tratamiento	SC	gl	CM	F	Valor p
Tecnosilix vs Armurox	118.19	1	118.19	4.73	0.0450
Total	118.19	1	118.19	4.73	0.0450

### 2.17.2.8 Análisis de Contrastes Ortogonales para peso fresco raíz.

#### Contrastes

Tratamiento	SC	gl	CM	F	Valor p
Tecnosilix vs Armurox	0.79	1	0.79	0.50	0.4888
Total	0.79	1	0.79	0.50	0.4888

### 2.17.2.9 Análisis de Contrastes Ortogonales para peso seco aéreo.

#### Contrastes

Tratamiento	SC	gl	CM	F	Valor p
Tecnosilix vs Armurox	23.62	1	23.62	5.21	0.0365
Total	23.62	1	23.62	5.21	0.0365

### 2.17.2.10 Análisis de Contrastes Ortogonales para peso seco raíz.

#### Contrastes

Tratamiento	SC	gl	CM	F	Valor p
Tecnosilix vs Armurox	0.01	1	0.01	0.06	0.8075
Total	0.01	1	0.01	0.06	0.8075

### 2.17.2.11 Análisis de Contrastes Ortogonales para altura.

#### Contrastes

Tratamiento	SC	gl	CM	F	Valor p
Testigo vs Tecnosilix	2.95	1	2.95	5.70	0.0297
Testigo vs Armurox	11.44	1	11.44	22.10	0.0002
Total	14.16	2	7.08	13.68	0.0003

### 2.17.2.12 Análisis de Contrastes Ortogonales para peso fresco aéreo.

#### Contrastes

Tratamiento	SC	gl	CM	F	Valor p
Testigo vs Tecnosilix	2.61	1	2.61	0.10	0.7508
Testigo vs Armurox	72.09	1	72.09	2.88	0.1088
Total	146.56	2	73.28	2.93	0.0822

### 2.17.2.13 Análisis de Contrastes Ortogonales para peso fresco raíz.

#### Contrastes

Tratamiento	SC	gl	CM	F	Valor p
Testigo vs Tecnosilix	0.83	1	0.83	0.53	0.4792
Testigo vs Armurox	0.12	1	0.12	0.08	0.7857
Total	1.23	2	0.62	0.39	0.6832

#### 2.17.2.14 Análisis de Contrastes Ortogonales para peso seco aéreo.

##### Contrastes

Tratamiento	SC	gl	CM	F	Valor p
Testigo vs Tecnosilix	3.03	1	3.03	0.67	0.4256
Testigo vs Armurox	23.19	1	23.19	5.11	0.0381
Total	35.56	2	17.78	3.92	0.0412

#### 2.17.2.15 Análisis de Contrastes Ortogonales para peso seco raíz.

##### Contrastes

Tratamiento	SC	gl	CM	F	Valor p
Testigo vs Tecnosilix	1.7E-06	1	1.7E-06	1.3E-05	0.9971
Testigo vs Armurox	3.2E-03	1	3.2E-03	0.03	0.8747
Total	0.01	2	4.3E-03	0.03	0.9663

## 2.18 Anexo 3.



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
 LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



**INTERESADO:** CRISTIAN NAJERA  
**PROCEDENCIA:** BARBERENA, SANTA ROSA  
**FECHA DE INGRESO:** 22/5/2015

### ANALISIS QUIMICO

IDENTIFICACION	pH	ppm					Meq/100 gr					%	
		P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O
RANGO ADECUADO	6-6.5	12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	20-25	4-8	1.5-2	---	0.27-0.38	75-90	4-5
M-1	7.2	10.64	2.00	3.00	32.50	30.50	27.27	8.48	3.66	0.13	2.67	54.78	3.65

### ANALISIS FISICOS

IDENTIFICACION	%			CLASE TEXTURAL
	Arcilla	Limo	Arena	
M-1	21.92	27.30	50.78	FRANCO ARCILLO ARENOSO



CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA  
 CÓDIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1788

Figura 4A. Análisis de suelo

## 2.19 Anexo 4.

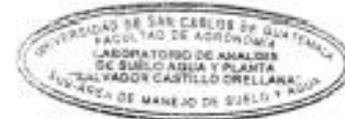


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE AGRONOMÍA  
 LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



**INTERESADO:** JOHANS CRISTIAN NAJERA  
**PROCEDENCIA:** BARBERENA, SANTA ROSA  
**FECHA DE INGRESO:** 14/1/2016  
**CULTIVO:** CAFE

IDENTIFICACION		% P
M-1	T1	0.21
M-2	T2	0.16
M-3	T3	0.18
M-4	T4	0.15
M-5	T5	0.15
M-6	T6	0.19
M-7	T7	0.17
M-8	T8	0.19
M-9	T9	0.18



CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 EDIFICIO UNIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA  
 CODIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL: (502)24189308, (502) 24188000 EXT 1562 Ó 1769

Figura 5A. Análisis de tejido para determinar el porcentaje de fósforo

## 2.20 Anexo 5.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE AGRONOMÍA  
 LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: JOHANS CRISTIAN NAJERA  
 PROCEDENCIA: BARBERENA, SANTA ROSA  
 FECHA DE INGRESO: 14/1/2016  
 CULTIVO: CAFE

## ANALISIS DE FIJACION

IDENTIFICACION	% P
M-1	89.87



CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 EDIFICIO UNIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA  
 CODIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL: (502)24189308, (502) 24188000 EXT 1562 Ó 1769

Figura 6A. Análisis de fijación de fósforo.

## 2.21 Anexo 6

En el anexo 6 se muestra la distribución de los tratamientos (Ta, Tb, Tc, Td, Te, Tf, Tg, Th, Ti), las 3 repeticiones y bloques en el campo.

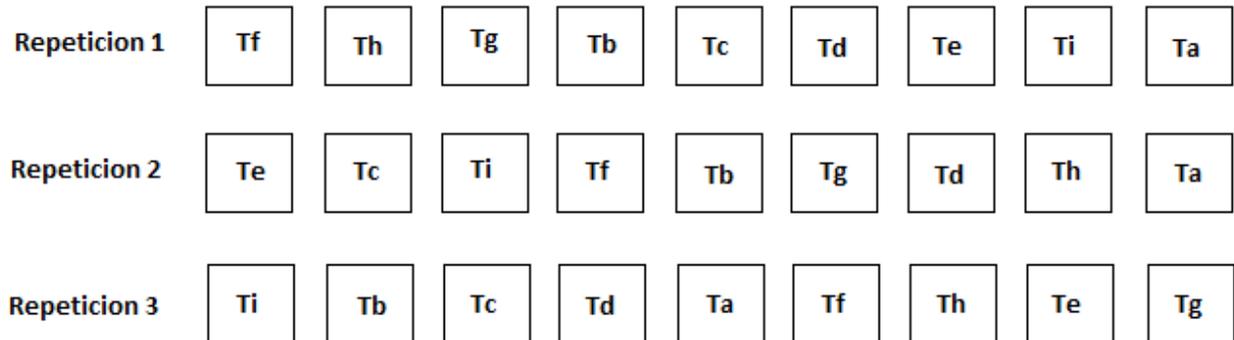


Figura 7A. Croquis de campo.

Tratamientos: a, b, c, d, e, f, g, h, i = 9

Bloques o repeticiones: 1, 2, 3 = 3

Unidades experimentales:  $9 \times 3 = 27$



**Servicio realizado para Transmerquim de Guatemala S.A, en Barberena, Santa Rosa, Guatemala C. A.**

### **3.1 PRESENTACION**

A continuación se presenta el servicio que se desarrolló durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de Agronomía para el fortalecimiento técnico de la empresa: capacitaciones sobre el uso de fertilizantes foliares con aminoácidos, sales, orden de mezcla y forma de aplicación.

Dentro del servicio de capacitación como parte teórica, se llevó a cabo para brindar apoyo técnico a los caficultores, encargados de fincas, agroservicios con el objetivo de dar a conocer y capacitar sobre la fertilización foliar así mismo productos de la empresa que son de interés para el desarrollo de los cafetales y promover las aplicaciones de fertilizaciones foliares aplicando el plan GTM café, indicando el uso adecuado y así poder tener una mejor producción.

La elaboración de parcelas demostrativas, sirvió como parte práctica, para demostrar la efectividad de las fertilizaciones foliares utilizando el plan nutricional GTM café.

### **3.2 OBJETIVOS**

#### **3.2.1 Objetivo general**

1. Capacitación en el uso de fertilizantes foliares en el cultivo de café, a los caficultores del municipio de Barberena de la región IV de ANACAFE para mejorar su producción y disminuir las deficiencias nutricionales.

### **3.3 MARCO TEÓRICO**

#### **3.3.1 Capacitación**

La capacitación es un proceso que posibilita un aporte de conocimientos capaces de modificar los comportamientos propios de las personas y de la organización a la que pertenecen. Es considerada una herramienta que posibilita el aprendizaje y por esto contribuye a la corrección de actitudes de una persona en su área de trabajo. Es una actividad que debe ser sistemática, planeada, continua y permanente que tiene el objetivo de proporcionar el conocimiento necesario y desarrollar las habilidades (aptitudes y actitudes)

necesarias para los que ocupan un puesto en las organizaciones, puedan desarrollar sus funciones y cumplir con sus responsabilidades de manera eficiente y efectiva, esto es, en tiempo y en forma (Alles 2010).

Desde el momento en que se propuso la calidad como modelo de gestión a los empresarios japoneses, en la década de los 50 del siglo XX, el papel de los trabajadores en las organizaciones productivas cambio radicalmente (Mendoza 2005).

A partir del esquema de la reacción en cadena que provoca la calidad, propuesta por Deming (1989) hacia la competitividad de la empresa, donde se afirma que la calidad conduce inicialmente a la productividad, porque se cometen menos errores, como se observa en la figura 8, surge la necesidad de capacitar a un individuo para que realicen bien las actividades desde la primera vez. Pero además de ésta capacitación permanente, se plantea que los individuo requieren de participación en la administración de procesos (Mendoza 2005).

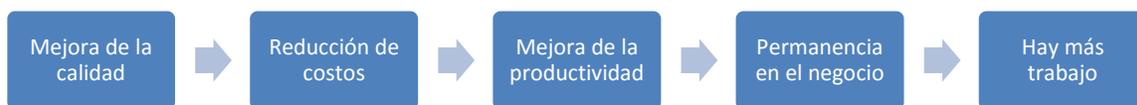


Figura 8. Reacción en cadena que provoca la calidad.

La capacitación es para los puestos actuales y la formación o desarrollo es para los puestos futuros, con frecuencia se confunden, puesto que la diferencia está más en función de los niveles a alcanzar y de la intensidad de los procesos. La capacitación ayuda a los empleados a desempeñar su trabajo actual y los beneficios de éstos pueden extenderse a toda la vida laboral o profesional de la persona y pueden ayudar a desarrollar a la misma para responsabilidades futuras (Alles 2010).

El desarrollo, por otro lado ayuda al individuo a manejar las responsabilidades futuras con poca preocupación porque lo prepara para ello a más largo plazo o a partir de funciones que puede estar ejecutando en la actualidad (Alles 2010).

### **3.3.2 Importancia de la capacitación**

La capacitación se torna una necesidad cuando existe una brecha que impide, dificulta o atrasa el logro de metas, propósitos y objetivos de una organización y ésta es atribuible al desarrollo de las actividades del personal. Los nuevos conocimientos implican siempre, nuevas responsabilidades en todas y cada una de las acciones inherentes al rol que desarrolla la persona en la organización (Alles 2010).

### **3.3.3 Planeación estratégica y capacitación**

Es un plan estructurado, unificado, comprensible e integral, diseñado para asegurar que los objetivos básicos de la empresa sean alcanzados, implica integrar las principales metas, objetivos y políticas de una organización y a la vez establecer una secuencia lógica de las acciones a realizar para lograr un objetivo (Alles 2010).

La capacitación deberá definir y establecer objetivos claros, retadores, alcanzables y medibles a corto, mediano y largo plazo de capacitación; alineados con la estrategia general de la organización (Mendoza 2005).

Para que la capacitación sea efectiva en una organización, deberá cumplir con una función importante de la organización, formar y educar en forma sistemática a los trabajadores por lo que debe ser un proceso constante para el personal (Alles 2010).

### **3.3.4 Principios de la capacitación**

La capacitación, implica una serie de puntos que por ser indiscutibles para que la misma sea exitosa, los cuales se describen a continuación:

#### **3.3.4.1 La participación**

Es fundamental que todos los capacitados participen en forma activa de las acciones que se desarrollan en los cursos. Por ello, además de exposiciones magistrales, es necesario que todas las capacitaciones tengan un espacio programado para permitir la participación de todos los integrantes del curso (Alles 2010).

### **3.3.4.2 La responsabilidad**

Los participantes de una capacitación deben reflejar responsabilidad. Dicha responsabilidad es para la persona que capacita como la que recibe dicha capacitación. La responsabilidad debe darse en todos los aspectos que se pueden citar: 1) puntualidad, 2) Imagen, 3) Entorno, 4) Organización, 5) Material a entregar, 6) Actitudes siempre positivas, 7) Vocabulario utilizado, 8) Duración debe ser la prometida (Alles 2010).

### **3.3.4.3 La actitud de investigación**

Esta actitud debe estar presente en ambos lados de la capacitación, no se tiene el conocimiento de todas las consultas que se realizarán por parte de los participantes, por lo que se debe tener una actitud de investigación que posee el capacitador (Alles 2010).

### **3.3.4.4 El espíritu crítico**

El personal que es capacitado debe estar presente, si no se tiene presencia espontáneamente se debe incitar la participación con preguntas directas por parte del capacitador para promover el análisis crítico de la actividad realizada (Alles 2010).

### **3.3.4.5 La gestión cooperativa**

La respuesta de temas propuestos en grupos, en general los grupos llevan a la resolución de temas de manera muy práctica y completa, el aporte de todos lleva a resoluciones completas de problemas complejos y ayuda a la capacitación de la organización (Alles 2010).

### **3.3.4.6 Capacidad para aprendizaje y evaluación**

La evaluación previa al inicio de una sesión de aprendizaje, ayuda al capacitador a determinar el nivel de cada uno de ellos respecto a los temas dados. Asimismo, se puede evaluar constantemente de manera rápida la captación de los temas durante el desarrollo de las actividades, las cuales ayudan a ir redefiniendo las condiciones en caso de resultar necesario (Alles 2010).

### 3.3.5 Etapas para impartir capacitación

#### 3.3.5.1 Diagnóstico de las necesidades de capacitación

Detectar o diagnosticar las necesidades de capacitación es el primer paso en el proceso de capacitación, ésta etapa contribuye a que la empresa no corra el riesgo de equivocarse al ofrecer una capacitación inadecuada, lo cual redundaría en gastos innecesarios. Para diagnosticar las necesidades de capacitación se deben realizar análisis a los tres niveles organizacionales que se señalan a continuación (Chiavenato 2007).

1. Análisis en toda la organización: es aquél que examina a toda la compañía para determinar en qué área, sección o departamento, se debe llevar a cabo la capacitación. Se deben tomar en cuenta las metas y los planes estratégicos de la compañía, así como los resultados de la planeación en recursos humanos.
2. Análisis de tareas y procesos: se analiza la importancia y rendimiento de las tareas del personal que va a incorporarse en las capacitaciones, los procesos de trabajo, las condiciones de operación, entre otras.
3. Análisis de la persona: dirigida a los empleados individuales, cuestionando, ¿a quién se necesita capacitar? y ¿qué clase de capacitación se necesita? Hay que comparar el desempeño del empleado contra los estándares establecidos (Chiavenato 2007).

La principal preocupación del administrador de la capacitación, deberá ser de donde obtener la información fuente para realizar un diagnóstico de necesidades de capacitación (Chiavenato 2007). La información se deberá extraer principalmente de la planeación estratégica de la organización que es en donde se establecen los objetivos a corto, mediano y largo plazos y las estrategias y tácticas a implementar para alcanzar esos compromisos; a partir de ahí se deberá clarificar que recursos serán necesarios, incluyendo principalmente a los humanos, en ese momento el administrador de recursos humanos deberá involucrarse para analizar si cuenta con las competencias necesarias para cumplir con la planeación estratégica, si tiene los talentos necesarios y de no ser así, entonces deberá implementar sus propias estrategias para hacerse llegar del talento necesario, de aquí se podría decidir si se contrata a personas que tienen una formación ya establecida o desarrollar al que tiene en la organización (Chiavenato 2007).

#### 3.3.5.2 Desarrollo de los planes y programas

Segunda etapa del proceso de capacitación, que a su vez se compone de cinco subprocesos, que son: 1) establecimiento de los objetivos de la capacitación, 2) estructuración de contenidos de la capacitación, 3) diseño de actividades de instrucción, 4)

selección de recursos didácticos y 5) diseño de un programa o curso de capacitación (Chiavenato 2007).

### **3.3.5.3 Establecimiento de los objetivos de capacitación**

El desarrollo de los planes y programas de capacitación deberán estar enfocados a: 1) los objetivos generales de la capacitación: lo que la organización quiere lograr mediante la capacitación de su personal; 2) quién necesita ser capacitado: tanto en lo general como en lo particular, cualquier aprendizaje específico que incremente la efectividad de las funciones del personal o desarrolle las habilidades necesarias, y 3) los resultados del aprendizaje: lo que se espera que cada persona capacitada sea capaz de hacer y de saber en las diferentes etapas del proceso y al final de la capacitación. Los principales objetivos a los que debería estar enfocada la capacitación son: 1) preparar a las personas para la realización inmediata de diversas tareas del puesto; 2) brindar oportunidades para el desarrollo personal continuo y no sólo en sus puestos actuales, sino también para otras funciones más complejas y elevadas, y 3) cambiar la actitud de las personas, sea para crear un clima más satisfactorio entre ellas o para aumentarles la motivación y volverlas más receptivas a las nuevas tendencias de la administración (Chiavenato 2007).

Al definir y establecer objetivos de aprendizaje es recomendable que éstos sean claros, retadores, cuantificables, pero también alcanzables, adecuándolos al área de aprendizaje en que se pretenden aplicar y desde luego, que estén planteados en forma correcta, al igual que las actividades a realizar que permitirán a su vez alcanzarlos y finalmente, definir y establecer las medidas de control para lograr facilitar el proceso de evaluación de si fueron o no alcanzados o cumplidos y de qué manera se realizan (Chiavenato, 2007).

### **3.3.5.4 Estructuración de los contenidos de la capacitación**

El contenido de la capacitación se constituye de acuerdo con la evaluación de necesidades y los objetivos de aprendizaje pueden proponerse la enseñanza de habilidades específicas, de suministrar conocimientos necesarios o de influencia en las actitudes. Independientemente del contenido, el programa debe llenar las necesidades de la organización y de los participantes (Werther y Davis 1998).

### **3.3.5.5 Diseño de las actividades de instrucción**

Para diseñar el contenido de las actividades de capacitación, habrá que recurrir a una técnica didáctica llamada diseño instruccional, ésta técnica permite desarrollar material para la enseñanza en forma sistémica, una vez que se han detectado las necesidades de

capacitación y se tienen claros los objetivos de la misma, se procede a determinar los contenidos de un plan o programa de capacitación, porque se sabe a quién está dirigido, que deficiencias va a corregir, que habilidades se van a desarrollar, etc. Incluyendo además las técnicas didácticas o de instrucción para los adultos mejor conocida como andragogía (Chiavenato 2007).

Este enfoque sistemático garantiza que: 1) realmente exista necesidad de capacitación, 2) los eventos de aprendizaje estén bien diseñados, 3) se desarrollen materiales de alta calidad para la capacitación, 4) los eventos de aprendizaje se ejecuten utilizando estrategias o enfoques apropiados y 5) los eventos de aprendizaje se evalúen para garantizar el cumplimiento del aprendizaje (Chiavenato 2007).

#### **3.3.5.6 Selección de recursos didácticos**

Una vez considerados los principios básicos que pueden ayudar o propiciar el aprendizaje dadas las características del grupo a capacitar, es momento de seleccionar las técnicas didácticas más adecuadas, éstas son formas o métodos que debe utilizar el instructor o facilitador al pretender transmitir sus conocimientos con el propósito de que la información sea entendida y/o asimilada por los aprendices (Chiavenato 2007).

#### **3.3.5.7 Diseño de un programa o curso de capacitación**

Determinar la metodología y técnicas didácticas a utilizar consiste en encontrar las formas más fáciles y adecuadas para transmitir los conocimientos por parte del capacitador, deben basarse en desarrollar las competencias o habilidades requeridas por el puesto, a través de la exposición verbal, el debate, la demostración y la práctica activa, complementada con películas, documentales, videos y ejercicios prácticos en la medida de lo posible. Todo esto se requiere porque las habilidades sólo pueden desarrollarse mediante la práctica constante y discusiones de grupos. Esto implica desarrollar material didáctico de apoyo para todas y cada una de las unidades que comprenderá el curso (Chiavenato 2007).

#### **3.3.6 Fertilizantes foliares**

Como se hace referencia en el capítulo I, la fertilización foliar se ha convertido en una práctica común e importante para los productores, porque corrige las deficiencias nutrimentales de las plantas, favorece el buen desarrollo de los cultivos y mejora el rendimiento y la calidad del producto (Meléndez 2002).

La fertilización foliar no substituye a la fertilización tradicional de los cultivos, pero sí es una práctica que sirve de respaldo, garantía o apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo que no se pueden abastecer mediante la fertilización común al suelo (Kannan 2010).

El objetivo de las capacitaciones en el uso de fertilizantes foliares en el cultivo de café, a los caficultores del municipio de Barberena de la región IV de ANACAFE, fue impartida para mejorar su producción y disminuir las deficiencias nutricionales.

### **3.4 METODOLOGÍA**

#### **3.4.1 Recursos utilizados**

Para las capacitaciones y las parcelas demostrativas se utilizaron trifoliales, marcadores, rotafolio, libretas para que caficultores anotaran, computadoras, cañonera, panfletos, insumos.

#### **3.4.2 Actividades realizadas**

1. Se realizó la planeación estratégica para asegurar que los objetivos y temas de las capacitaciones a impartir fueran alcanzados. El contenido se definió en base al diagnóstico realizado, se abordaron los temas: sobre nutrición foliar para el cultivo de café, sales, orden de mezcla y forma de aplicación.
2. Se determinaron las fechas para realizar la actividad de capacitación, así mismo se estableció la finca donde se realizó la parcela demostrativa.
3. Se realizó la convocatoria para llevar a cabo las capacitaciones.
4. Se llevó a cabo la elaboración del material que se impartió para los capacitados (rotafolios, presentaciones, preguntas etc) habiendo detectado las necesidades de conocimiento.
5. Con la ayuda de técnicos de ANACAFE, encargados de finca y agroservicios se realizó la conformación de los grupos para la capacitación
6. Durante la capacitación se mantuvo la participación de los capacitados de forma activa, asimismo se mantuvo una actitud responsable entre ambas partes.

7. Luego de impartir la capacitación se realizó una serie de preguntas y respuestas para aclarar cualquier duda de los capacitados sobre los temas que se hablaron. Esto sirvió para evaluar si el contenido fue claro y conciso.
8. Luego con el acompañamiento de los encargados o dueños de finca se llenaron los registros que tenían con relación a la producción ya que cada uno de ellos conoce los productos e insumos que se utilizan y las áreas donde aplican.
9. Se reconoció el área, donde se realizaron las parcelas, se tomaron fotografías del estado en que se encontraban las plantas.
10. Se realizaron las 4 aplicaciones según el tiempo planificado para cada una de ellas.
11. Se llevó el control de la utilización de insumos agrícolas durante las aplicaciones.
12. Se llevó control sobre la de nutrición y enfermedades foliares en la parcela.

### 3.4.3 Plan GTM de Café.

A continuación se presenta el programa de fertilización foliar para las distintas etapas fenológicas del cultivo de café (cuadro 14, 15, 16 y 17), el cual fue implementado en las parcelas demostrativas, con el fin de reforzar los planes de nutrición de los caficultores. Para dar a conocer los beneficios del programa GTM café, se realizó una gira de campo donde se observó la mejoría del cultivo utilizando este programa.

Cuadro 14. Etapa de pre floración.

Producto	Cantidad	
	BOMBA (16 Litros)	TONEL (200 litros).
Sulfato de zinc	80 g	1 kg
Solubor	40 g	0.5 kg
Sulfato de magnesio	160 g	2 kg
Terra Sorb Foliar	80 cc	1 Litro
Ácido cítrico	40 g	0.5 kg
Adherente	16 cc	200 cc

Cuadro 15. Etapa de post floración.

Producto	Cantidad	
	BOMBA (16 Litros)	TONEL (200 litros).
Solubor	40 g	0.5 kg
Sulfato de magnesio	160 g	2 kg
Amoroux + Optimus	40 cc más 40 cc	0.5 litro más 0.5 litro
Ácido cítrico	40 g	0.5 kg
Adherente	16 cc	200 cc

Cuadro 16. Etapa de llenado de grano.

Producto	Cantidad	
	BOMBA (16 Litros)	TONEL (200 litros).
Nitrato de potasio	160 g	2 kg
Sulfato de magnesio	160 g	2 kg
Amoroux + Optimus	40 cc más 40 cc	0.5 litro más 0.5 litro
Ácido cítrico	40 g	0.5 kg
Adherente	16 cc	200 cc

Cuadro 17. Etapa de llenado de grano (Aplicación 2).

Producto	Cantidad	
	BOMBA (16 Litros)	TONEL (200 litros).
Nitrato de potasio	320 g	4 kg
Sulfato de magnesio	160 g	2 kg
Optimus	56 cc	0.7 litros
Ácido cítrico	40 g	0.5 kg
Adherente	16 cc	200 cc

### 3.5 RESULTADOS

1. Se capacitaron a 26 caficultores en el departamento de Santa Rosa, respecto a fertilización foliar, sales, orden de mezcla y forma de aplicación. La capacitación se realizó para lograr un cambio en la forma tradicional de manejo de la fertilización foliar.
2. Los caficultores que participaron en el proceso de la elaboración de las parcelas conocieron las ventajas de la aplicación de las sales. Asimismo, productos que contienen aminoácidos con el fin de promover las reservas nutricionales y fisiológicas para la planta.
3. Se capacitaron a los caficultores sobre las buenas prácticas para la aplicación de fertilizantes foliares logrando que tomaran lecturas de pH, realizaran el orden de mezcla adecuados y así obtuvieron una correcta solución y aplicación adecuada.
4. Las parcelas demostrativas, las cuales tuvieron el fin de dar a conocer de una manera práctica los efectos positivos del plan GTM café, mejoraron la calidad de las plantas.
5. Se dio a conocer que la prevención es el mejor remedio para evitar daños severos en los cafetales, en el caso de la roya.

### 3.6 EVALUACIÓN

1. Se capacitaron 26 personas en teoría y práctica, entre ellos encargados, técnicos y propietarios sobre fertilización foliar, uso de sales, su importancia y beneficios para las plantas de café.
2. Se visitaron 3 parcelas demostrativas a las cuales se les implementó el plan GTM café en su manejo nutricional de fertilización foliar, con esto se cumplió la parte práctica y teórica de las capacitaciones, observándose los resultados en campo y así mismo explicar la mejora que se obtuvo al aplicar los productos foliares de GTM.

### 3.7 BIBLIOGRAFÍA

1. Alles, M. 2010. Dirección estratégica de recursos humanos, gestión por competencia. 2 ed. Argentina, Granica. p. 11-17.
2. Chiavenato, I. 2007. Administración de personal, el capital humano de las organizaciones. 8 ed. México, McGraw-Hill. p. 389–410.
3. Deming, E; Medina, JN. 1989. Calidad, productividad y competitividad: una salida de la crisis. España, Ediciones Díaz de Santos. p. 119–136.
4. Fernández, V; Sotiropoulos, T; Brown, P. 2015. Fertilización foliar: principios científicos y práctica de campo. Paris, Francia, Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA). p. 49–82.
5. Kannan, S. 2010. Foliar fertilization for sustainable crop production. 4 ed. US, Sustainable Agriculture Reviews. p. 341–375.
6. Meléndez, G; Molina, E. 2002. Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. p. 9–15.
7. Mendoza, NA. 2005. Manual para determinar necesidades de capacitación y desarrollo. 5 ed. México, Trillas. p. 19–22.
8. Werther, Jr; William, B; Davis, K. 1998. Administración de personal y recursos humanos. 4 ed. México, McGraw-Hill Interamericana. p. 43–57.

### 3.8 ANEXOS



Figura 9A Planta estresada, antes de la primera aplicación.



Figura 10A Momento de preparación, agregando sales.



Figura 11A Momento de la aplicación.



Figura 12A Planta luego de la aplicación.



Figura 13A Visita de la planta después de la segunda aplicación.



Figura 14A Momento de la parte teórica de la capacitación.

No.	Nombre	Teléfono	Ubicación	E-mail
1	Paola Guibel	23672827	Toluca	guel@elpecho@telcel.com
2	Amelior Martínez	5319-9779	San Lorenzo de op.	marcelior@netcom.com
3	FRANCISCA	40306668	San Lorenzo de op.	francisco2002@gmail.com
4	Guillermo Martínez	5206-7215	Amatitlán	guillermo.frisit@telcel.com
5	Longe Quirós	40534063	San Lorenzo de op.	longequiros@telcel.com
6	DAVE ARDIAO	55519132	San Lorenzo de op.	ardiao@netcom.com
7	Miguel Ángel	59095000	San Lorenzo de op.	MARLEPA5702@yahoo.es
8	Stano ERSIC	51070800	Colonia C.C.	ES@ECC.COM.BY
9	JUAN NOLAN	5414 2509	San Lorenzo de op.	JUAN@netmail.com
10	Humberto	40854142	San Lorenzo de op.	UM_HN@netmail.com
11	Guillermo	22046288	San Lorenzo de op.	W.W.ESPINOZA@netmail.com
12	J. A. Zamora	53082791	San Lorenzo de op.	Zamora@netmail.com
13	Verónica Castillo	55164911	Municipio de San Lorenzo de op.	veronica.castillo@telcel.com
14	Luis F. Caballero	55241354	San Lorenzo de op.	luisf.caballero@netmail.com
15	LUIS GALVEZ	52041204	LOS ESCLAVOS	lucabambal@netmail.com
16	Luis Galvez Jr.	30385013	LOS ESCLAVOS	lgalvez511@hotmail.com
17	Carlos Ferrera del	55042084	Tec. San Lorenzo de op.	
20	Miguel VESINIC	5100455	REPUBLICA	ECCO@ECCO@HOTMAIL.COM
21	Kenny Monterrosa	46729118	Barberena	Kenny.Monterrosa@gmail.com
22	Miguel Ángel	58873961	San Lorenzo de op.	
23	PRESEL BECERRA	59124308	LA ESCUELA DE SAN LORENZO DE OP.	
24	RODOLFO JERONIMO	55104949	LOS ESCLAVOS DE SAN LORENZO DE OP.	
25	Juan Carlos Ferrera del	5027502	CHILAP	Juan@telcel.com
26	Luis Fernando PIVARAL	52131983	LOS ESCLAVOS	LUISFPIVARAL@GMAIL.COM

Figura 15A Listado de participantes.