



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA: EFECTO DE UN COMPUESTO A BASE DE SILICIO,
SOBRE EL MANEJO FITOSANITARIO DEL CULTIVO DE
CACAO CCN-51**

AUTOR: BUSTOS CUEVA, GEOVANNY SANTIAGO

DIRECTOR: Ing. VACA PAZMIÑO, EDUARDO PATRICIO

SANTO DOMINGO - ECUADOR

2017



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“EFECTO DE UN COMPUESTO A BASE DE SILICIO, SOBRE EL MANEJO FITOSANITARIO DEL CULTIVO DE CACAO CCN-51”** realizado por el señor **GEOVANNY SANTIAGO BUSTOS CUEVA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **GEOVANNY SANTIAGO BUSTOS CUEVA** para que lo sustente públicamente.

Santo Domingo, 08 de marzo de 2017

ING. EDUARDO PATRICIO VACA PAZMIÑO

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **GEOVANNY SANTIAGO BUSTOS CUEVA**, con cédula de identidad N° 172310211-5, declaro que este trabajo de titulación **“EFECTO DE UN COMPUESTO A BASE DE SILICIO, SOBRE EL MANEJO FITOSANITARIO DEL CULTIVO DE CACAO CCN-51”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Santo Domingo, 08 de marzo de 2017



GEOVANNY SANTIAGO BUSTOS CUEVA

172310211-5



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN

Yo, **GEOVANNY SANTIAGO BUSTOS CUEVA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“EFECTO DE UN COMPUESTO A BASE DE SILICIO, SOBRE EL MANEJO FITOSANITARIO DEL CULTIVO DE CACAO CCN-51”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Santo Domingo, 08 de marzo de 2017

GEOVANNY SANTIAGO BUSTOS CUEVA

172310211-5

DEDICATORIA

Dedico este presente trabajo a Dios, por brindarme la oportunidad de superarme alrededor de todos mis seres queridos, y que gracias a la fe que he mantenido siempre, puedo reconocer que Él camina a mi lado.

A mi padre Carlos Bustos y mi madre Fanny Cueva, excelentes personas que gracias a su amor hicieron de mí un hombre lleno de virtudes y cualidades que distinguen la calidad humana de donde provengo.

A mis hermanos, Cristian y Ander, por ser mi compañía durante todas las etapas de mi vida, y demostrarme de alguna u otra forma su cariño fraternal.

A mis amigos y compañeros de trabajo, que han demostrado un compromiso de unión sólido.

A la vida, porque sin ella no habría podido sentir todo aquello que me llena de felicidad.

Santiago Bustos Cueva

AGRADECIMIENTO

Agradezco al prestigioso IASA II – Santo Domingo, al permitirme el honor de formarme profesionalmente en la carrera de Ingeniería Agropecuaria.

A mi director de tesis el Ing. Patricio Vaca Pazmiño, persona a la cual considero uno de los cimientos más importantes de mi vida profesional.

A la empresa Fermagri y su colaborador el Ing. José Haro, por brindar el apoyo técnico y económico para la realización de este estudio.

Al Ing. Vinicio Uday por su colaboración como biometrista de este trabajo.

Al Ing. Galo Chiriboga y esposa Ana Jaramillo, por confiar en nuestra capacidad técnica y contribuir al desarrollo tecnológico de la provincia.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. El cacao en el mundo.....	4
2.2. El cacao en el Ecuador	4
2.3. El cultivo de cacao	5
2.3.1. Generalidades.....	5
2.3.2. Características agroclimáticas.....	5
2.3.3. Variedades.....	5
2.3.3.1. Criollos.....	6
2.3.3.2. Forasteros amazónicos.....	6
1) Cultivar CCN-51	6
2.3.3.3. Trinitarios.....	6
2.4. Enfermedades principales en cacao.....	7
2.4.1. Moniliasis.....	7
2.4.1.1. Historia y distribución geográfica.....	7
2.4.1.2. Agente causal.....	7
2.4.1.3. Sintomatología.....	7
2.4.1.4. Epidemiología.....	9
2.4.1.5. Ciclo de vida	9

2.4.1.6.	Manejo de la Moniliasis.....	10
1)	Control cultural	10
2)	Control químico	10
3)	Control biológico	10
2.4.2.	Mazorca Negra.....	11
2.4.2.1.	Epidemiología.....	11
2.4.2.2.	Ciclo de vida	12
2.4.2.3.	Manejo de la mazorca negra	12
2.4.3.	Escoba de Bruja.....	12
2.4.3.1.	Epidemiología.....	13
2.4.3.2.	Ciclo de vida	13
2.4.3.3.	Manejo de la escoba de bruja.....	14
2.4.4.	Cherelle Wilt	14
2.5.	Nutrición en cacao.....	15
2.5.1.	Macronutrientes.....	16
2.5.1.1.	Nitrógeno	16
2.5.1.2.	Fósforo	16
2.5.1.3.	Potasio.....	17
2.5.2.	Micronutrientes	17
2.5.2.1.	Azufre	17
2.5.2.2.	Calcio	18
2.5.2.3.	Magnesio.....	18
2.5.2.4.	Boro	18
2.5.2.5.	Manganeso	19
2.6.	El silicio en la naturaleza.....	19
2.6.1.	Silicio en el Suelo	20
2.6.2.	Silicio en la Planta.....	20
2.6.2.1.	Cuerpos de Si en las plantas	21
2.6.3.	Absorción foliar del silicio.....	21
2.6.3.1.	Aplicación foliar de la solución fertilizante.....	23
2.6.3.2.	Penetración de la solución en la lámina foliar	23

2.6.3.3.	Entrada al apoplasto.....	23
2.6.3.4.	Absorción dentro del simplasto	24
2.6.3.5.	Distribución y translocación de nutrientes.....	25
2.7.	El silicio en la agricultura.....	26
2.7.1.	Beneficios del Si en los controles fitosanitarios	26
2.8.	Fitosil.....	28
2.8.1.	Propiedades Físico-Químicas.....	28
3.	METODOLOGÍA.....	29
3.1.	Ubicación del área de investigación.....	29
3.1.1.	Ubicación política	29
3.1.2.	Ubicación geográfica	30
3.1.3.	Ubicación ecológica.....	30
3.2.	Materiales	30
3.2.1.	Materiales de campo	30
3.3.	Métodos	31
3.3.1.	Diseño experimental.....	31
3.3.1.1.	Factores a probar.....	31
3.3.1.2.	Tratamientos a comparar	31
3.3.1.3.	Tipo de diseño.....	31
3.3.1.4.	Repeticiones.....	31
3.3.1.5.	Características de las unidades experimentales	31
3.3.1.6.	Croquis del diseño	32
3.3.2.	Análisis estadístico.....	33
3.3.2.1.	Esquema de análisis de varianza.....	33
3.3.2.2.	Coefficiente de variación	33
3.3.2.3.	Análisis funcional	33
3.3.3.	Análisis económico	33
3.3.4.	Variables a medir	34
3.3.5.	Métodos específicos de manejo del experimento.....	35
3.3.5.1.	Fase de implantación	35
3.3.5.2.	Fase de aplicación de tratamientos	36

3.3.5.3. Fase de evaluación de tratamientos	37
4. RESULTADOS	38
4.1. Análisis químico de suelo.....	38
4.2. Análisis foliar	41
4.3. Mazorcas sanas	45
4.4. Chereles sanos	49
4.5. Incidencia de Moniliasis.....	52
4.6. Incidencia de mazorca negra	54
4.7. Incidencia de cherele wilt.....	55
4.8. Mazorcas enfermas vs temperatura	56
4.9. Chereles vs temperatura	57
4.10. Producción vs precipitación.....	58
4.11. Análisis económico.....	60
5. DISCUSIÓN	61
5.1. Análisis de laboratorio.....	61
5.2. Mazorcas sanas	62
5.3. Chereles sanos	63
5.4. Incidencia de moniliasis	63
5.5. Incidencia de mazorca negra	64
5.6. Incidencia de cherele wilt.....	64
6. CONCLUSIONES	64
7. RECOMENDACIONES.....	65
8. BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición elemental de las plantas en base seca	22
Tabla 2. Clasificación de plantas acumuladoras de silicio.....	24
Tabla 3. Propiedades físico-químicas de Fitosil	28
Tabla 4. Materiales y equipos	30
Tabla 5. Tratamientos comparados en el estudio	31
Tabla 6. Esquema de análisis de varianza.....	33
Tabla 7. Análisis químico inicial del suelo	38
Tabla 8. Análisis inicial vs análisis final de suelo	39
Tabla 9. Análisis foliar inicial.....	41
Tabla 10. Análisis foliar inicial vs tratamientos aplicados	42
Tabla 11. Resumen del ADEVA mazorcas sanas durante el estudio.....	45
Tabla 12. ADEVA del número de mazorcas sanas de la octava fecha de muestreo.....	46
Tabla 13. ADEVA del número de mazorcas sanas de la novena fecha de muestreo.....	47
Tabla 14. ADEVA del número de mazorcas sanas de la décima fecha de muestreo.....	48
Tabla 15. ADEVA del número de mazorcas sanas de la onceava fecha de muestreo	49
Tabla 16. Resumen del ADEVA de chereles sanos durante el tratamiento	50
Tabla 17. ADEVA del número de chereles sanos de la séptima fecha de muestreo.....	50
Tabla 18. ADEVA del número de chereles sanos de la octava fecha de muestreo.....	51
Tabla 19. Resumen del ADEVA de incidencia de moniliasis durante el tratamiento	52
Tabla 20. Porcentajes de incidencia de moniliasis.....	53
Tabla 21. Resumen del ADEVA de incidencia de mazorca negra durante el tratamiento	54
Tabla 22. Porcentajes de incidencia de mazorca negra.....	54
Tabla 23. Resumen del ADEVA de cherele wilt durante el tratamiento	55
Tabla 24. Porcentajes de incidencia de cherele wilt	56
Tabla 25. Tratamientos vs costo beneficio (USD).....	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comparación de contenidos de N, P, Si en suelo. Análisis inicial y final	40
Gráfico 2. Comparación de contenidos de K, Mg, Ca y S en el suelo. Análisis inicial y final	40
Gráfico 3. Comparación del contenido foliar de silicio inicial vs tratamientos	42
Gráfico 4. Comparación del contenido de N foliar inicial vs tratamientos	43
Gráfico 5. Comparación del contenido foliar de P inicial vs tratamientos	43
Gráfico 6. Comparación del contenido foliar de K inicial vs tratamientos	44
Gráfico 7. Comparación del contenido inicial de Ca foliar vs tratamientos	44
Gráfico 8. Análisis del promedio de mazorcas sanas de la octava fecha de muestreo	46
Gráfico 9. Análisis del promedio de mazorcas sanas de la novena fecha de muestreo ...	47
Gráfico 10. Análisis del promedio de mazorcas sanas de la décima fecha de muestreo .	48
Gráfico 11. Análisis del promedio de mazorcas sanas de la onceava fecha de muestreo	49
Gráfico 12. Análisis del promedio de chereles sanos de la séptima fecha de muestreo ..	51
Gráfico 13. Análisis del promedio de chereles sanos de la octava fecha de muestreo	52
Gráfico 14. Análisis de regresión de moniliasis vs tratamientos	53
Gráfico 15. Análisis de regresión de mazorca negra vs tratamientos	55
Gráfico 16. Análisis de regresión de incidencia de cherele wilt vs tratamientos.....	56
Gráfico 17. Mazorcas enfermas vs temperatura periodo Julio-Diciembre 2016	57
Gráfico 18. Chereles afectados vs temperatura periodo Julio-Diciembre 2016.....	58
Gráfico 19. Producción vs precipitación periodo Julio-Diciembre 2016.....	59

RESUMEN

El uso del silicio como activador natural de la respuesta inmune de las plantas, se considera una de las alternativas de mejora en la producción agrícola y contribuye a la reducción de daños provocados al ambiente. Se realizó el estudio en una plantación de cacao CCN-51 de 5 años de edad, ubicada en el km 18 vía Santo Domingo-Quevedo, coordenadas UTM Norte: 9959169 y Este: 692480 a 344 m de altitud, con temperatura de 25°C, HR 85% y velocidad del viento 1 m/s. El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de la aplicación foliar de diferentes dosis de silicio y su respuesta relacionada a la sanidad de la mazorca de cacao; esto en un periodo productivo de 6 meses. Se aplicaron los siguientes tratamientos: T0 0 L/ha, T1 0,5 L/ha, T2 1,0 L/ha, T3 1,5 L/ha y T4 2,0 L/ha. Se empleó un DBCA con cuatro repeticiones por tratamiento, teniendo un total de 20 parcelas con 9 plantas de cacao cada una. De cada parcela se seleccionó 1 planta central para la toma quincenal de las variables. Al cabo de 4 meses, se observaron diferencias significativas en el número de mazorcas sanas y su continuidad durante 4 fechas de muestreo, alcanzando la dosis de 1,5 L/ha el mayor promedio de mazorcas sanas, pero no estadísticamente diferente a T0. El análisis estadístico según Duncan no encontró diferencias en el porcentaje de incidencia de enfermedades de la mazorca frente a la aplicación de silicio. Finalmente el análisis económico nos demostró la ventaja costo/beneficio en T3 sobre los demás tratamientos, concluyendo que aunque no se encontró el mejor tratamiento, se pudo determinar la rentabilidad alcanzada por el número de mazorcas extras en T3.

PALABRAS CLAVE:

- **SILICIO CACAO**
- **FITOLITO**
- **CACAO CCN 51**
- **FITOSIL**
- **FITOSIL CACAO**

ABSTRACT

The use of silicon as a natural activator of the immune response of plants is considered one of the alternatives for improvement in agricultural production and contributes to the reduction of damages caused to the environment. The study was carried out in a 5-year-old CCN-51 cacao plantation located at km 18 avenue Santo Domingo-Quevedo, coordinates UTM North: 9959169 and East: 692480 at 344 m altitude, with a temperature of 25 ° C , HR 85% and wind speed 1 m / s. The objective of the investigation was to study the effect of the foliar application of different level of silicon and its response related to the health of the cocoa cob; This in a productive period of 6 months. The following treatments were applied: T0 0 L / ha, T1 0.5 L / ha, T2 1.0 L / ha, T3 1.5 L / ha and T4 2.0 L / ha. A DBCA was used with four replicates per treatment, with a total of 20 plots with 9 cocoa plants each. From each plot, 1 central plant was selected for biweekly sampling of the variables. At the end of 4 months, significant differences were observed in the number of healthy ears and their continuity during 4 sampling dates, reaching the dose of 1.5 L / ha the highest average of healthy ears, but not statistically different from T0. Statistical analysis according to Duncan did not find differences in the incidence of diseases of the cob against the application of silicon. Finally, the economic analysis showed us the benefit / cost advantage in T3 over the other treatments, concluding that although the best treatment was not found, it was possible to determine the profitability achieved by the number of extra cobs in T3.

KEYWORDS:

- **SILICON CACAO**
- **PHYTOLITH**
- **CACAO CCN 51**
- **FITOSIL**
- **FITOSIL CACAO**

EFFECTO DE UN COMPUESTO A BASE DE SILICIO, SOBRE EL MANEJO FITOSANITARIO DEL CULTIVO DE CACAO CCN-51

1. INTRODUCCIÓN

Estudios recientes demuestran que al menos una variedad de *Theobroma cacao* L., tiene su punto de origen en la alta Amazonía, siendo usado hace más de 5000 años en la región que correspondería a Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. Se sabe que a partir de la llegada de los españoles a las costas del pacífico, ya se observaban árboles de cacao, los mismos que eran cultivados y utilizados por los nativos mucho antes de la llegada de los europeos (Anecacao, 2015).

En el país se desarrollan dos tipos de cacao; la variedad nacional, productora del cacao arriba y reconocido mundialmente por su aroma floral, producido exclusivamente por Ecuador (Ecuacocoa, 2016), no obstante a partir de investigaciones en búsqueda de una variedad resistente y tolerante a problemas fitopatológicos, se desarrolló el cultivar CCN-51, reconocido por sus características de alto rendimiento para la extracción semielaborados, ingredientes esenciales para la producción a escala de chocolates y otros (ProEcuador, 2016). Datos emitidos por SINAGAP, registran en 2016 una superficie de siembra de 584 303 has con un rendimiento de 0,56 Tm/ha, y de las cuales 100 mil familias han sido beneficiadas (Magap, 2016).

La producción de cacao se realiza principalmente en la Costa y Amazonía del Ecuador. Las provincias de mayor producción son Los Ríos, Guayas, Manabí y Sucumbíos. Ecuador ocupa el séptimo lugar como País Productor Mundial de Cacao (PPMC), siendo el primero en el mercado mundial del cacao fino y de aroma con más del 70% de la producción global (ProEcuador, 2016).

Siendo el cultivo de cacao unos de los principales ingresos de miles de familias desde inicios de la colonia, no está exento al ataque de enfermedades limitantes de la producción como la Moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), Mazorca negra (*Phytophthora* sp.) y Escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa* Aime & Phillips-Mora), cuyos efectos causan hasta el 60% de la pérdida de producción (Pico et al., 2012).

La mayoría de plantaciones cacaoteras del país son manejadas de forma integral puesto que en su mayoría la producción está destinada a la exportación como grano de cacao y semielaborados, a países destino como Estados Unidos con una gran participación en 2015 (39%), Holanda (14%), Malasia (9%), México (8%), entre otros (Anecacao, 2016).

El método convencional para el control de enfermedades fúngicas se basa en una aplicación descontrolada de pesticidas químicos, creyendo que es la más adecuada y eficaz entre las demás, pero sabemos bien que esto no protege nuestra salud, ni mucho menos al medio ambiente y a la economía de los productores, perjudicando así nuestra capacidad de competencia. Entonces compartiendo la idea mencionada por Magdama (2010), queda como opción alcanzar una productividad aceptable, bajo la presión de las enfermedades fitopatológicas.

Es necesaria la búsqueda de alternativas que reduzcan la incidencia de las enfermedades que cada vez son más virulentas y causando mayores pérdidas económicas para el productor. Al encontrarnos en una era de mejoras agronómicas en pro del medio ambiente, se hacen válidos todos los esfuerzos para el desarrollo de una agricultura más ecológica.

Con la finalidad de emplear nuevas alternativas en la prevención y control de plagas y enfermedades en cacao, se hace énfasis en el uso de sustancias que mejoren la respuesta inmune de la planta. Se considera importante el uso de activadores naturales como el Silicio (Si), puesto que muchas investigaciones lo señalan como compuesto estructural de las paredes celulares, reforzando el tejido epidérmico de hojas y raíces. El silicio mejora la barrera epidérmica de la planta contra la penetración del estilete en parásitos, y en patógenos dificulta la penetración del micelio en el proceso de instalación de enfermedades criptogámicas (SEPHU, 2009).

El silicio (Si), es un elemento químico metaloide, es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno (O), tal vez por ello no es tomado en cuenta como un elemento esencial para el desarrollo de organismos fotosintéticos, siendo un tema en debate hasta la actualidad (Quero, 2008).

Agronómicamente, la aplicación de compuestos a base de silicio soluble, cuentan como alternativa de activador de la respuesta inmune de la planta, generando indirectamente un control ante patógenos causantes de las enfermedades del cultivo en estudio.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El cacao en el mundo

El cacao se cultiva exclusivamente en zonas tropicales cercanas a la línea ecuatorial, debido a las exigencias climáticas que demanda el cultivo. Esta banda se extiende por África occidental, partes de Centro y Sudamérica y el Sudeste de Asia (United Cacao, 2016).

El cacao es uno de los cultivos alimenticios que desde el punto de vista tecnológico e industrial ha tenido un avance más lento. Sin embargo, es apreciado por su magnífico sabor y características nutricionales únicas. Es más, se ha considerado un producto de lujo, debido a sus diversas presentaciones, pero siendo siempre accesible a todo público.

La demanda mundial, representada por las moliendas rastreadas por The International Cocoa Organization (ICCO), ha pasado de 1 millón de toneladas a un estimado de 4,3 millones de toneladas durante el período 1961 - 2014, una tasa compuesta anual del 2,7 por ciento. El consumo de productos de confitería de chocolate está fuertemente ligada a los ingresos per cápita, con una respuesta más elástica demostrado en los países de menores ingresos (United Cacao, 2016).

2.2. El cacao en el Ecuador

El Ecuador es el primer productor de cacao fino y de aroma con una participación mundial mayor al 70% (ProEcuador, 2013). De la producción nacional, aproximadamente el 87% corresponde a grano seco, un 12% como producto semielaborado de cacao (pasta, licor, manteca, polvo y chocolate) (Vázquez y Saltos, 2013).

El cacao ecuatoriano tiene una constante demanda y es reconocido a nivel mundial, principalmente por Estados Unidos y Europa. Sin embargo, aunque el cacao del Ecuador ya está en el mercado asiático, se prevé el aumento de exportaciones a dicho sector. Para el 2020 se estima que el chocolate se convierta en un alimento

suntuario, lo que le favorecería notablemente al país como una oportunidad más de crecimiento (Anecacao, 2015).

El potencial de producción y exportación de cacao del Ecuador es muy alto, razón por la cual es necesario mantener una buena comunicación y articulación entre todos los actores de la cadena. Se asume que el cacao y elaborados son una fuerza generadora de ingresos, pues cerca de 500 000 familias dependen del rubro, generando este año US\$ 700 millones para la economía del Ecuador (Anecacao, 2015).

2.3. El cultivo de cacao

2.3.1. Generalidades

El cacao perteneciente a la familia de las Esterculaceae y al género *Theobroma*. Es una planta de característica leñosa arbórea de hábito perenne. Este género es proveniente del griego que significa “alimento de los dioses”; la palabra cacao deriva del maya “cacau”. Su nombre científico es *Theobroma cacao* L. Su importancia productiva recae en sus mazorcas, las mismas que contienen sus semillas en forma de almendras, las cuales se utilizan para la elaboración del chocolate (Ecured, 2016).

2.3.2. Características agroclimáticas

La planta de cacao requiere de un clima húmedo (70% - 100%), con altas precipitaciones y de temperatura alta (18°C - 32°C), razón por la cual su distribución geográfica se sitúa en lo que corresponde a la franja ecuatorial. Generalmente se desarrolla en ambientes sombríos, pues de esta manera se preserva la humedad en el cultivo necesaria para su crecimiento, no obstante el desarrollo de enfermedades por excesos de humedad y el control de luz solar, son consideraciones a tomar para el manejo de sombra (ICCO, 2013).

2.3.3. Variedades

En la actualidad se comercializan tres tipos de cacao: el criollo, el forastero y el trinitario.

2.3.3.1. Criollos

De ellos se obtiene el cacao de mayor calidad, pero su producción representa menos de un 10% del total mundial. Se cultivan en México, Nicaragua, Venezuela, Colombia, Ecuador, Madagascar y Comores (ICCO, 2013).

2.3.3.2. Forasteros amazónicos

Son los cacaos más corrientes; su producción alcanza el 70% del total mundial. Se cultivan en Ghana, Nigeria, Costa de Marfil, Brasil, Costa Rica, República Dominicana, Colombia, Venezuela y Ecuador (ICCO, 2013).

1) Cultivar CCN-51

Luego de años de investigación y esfuerzo por encontrar un cacao de alta productividad y resistente a la enfermedad escoba de bruja, Homero Castro Zurita en el año de 1960, crea el cultivar de cacao CCN (Colección Castro Naranjal), destacándose el lote 51 de su colección clonal.

Básicamente la búsqueda de este cultivar consistía en seleccionar varios híbridos con las características deseadas. De todos los CCN seleccionados, a Castro le llamó la atención el CCN-51, ya que reunía todas las características buscadas por él durante tantos años (Fajardo, 2013). Al tener estrecha relación con los porcentajes de teobromina y acidez, se lo ha considerado procedente de la variedad forastero.

2.3.3.3. Trinitarios

Son híbridos obtenidos a partir de las variedades criollas y forasteras, pero con un rendimiento superior a éstas. Además, son más resistentes a las enfermedades que los criollos y tienen un aroma más fino que los forasteros. Actualmente representan el 20% de la producción mundial. Se cultivan básicamente en las mismas zonas productoras de cacao criollo (ICCO, 2013).

2.4. Enfermedades principales en cacao

2.4.1. Moniliasis

2.4.1.1. Historia y distribución geográfica

La Moniliasis del cacao fue descrita por primera vez en Ecuador en el año 1916, por J. B. Rorer. La región de Quevedo en Ecuador, Sur América, fue considerada por casi cien años como el centro de origen de esta enfermedad, pero estudios recientes realizados por el Dr. W. Phillips (2006) demuestran que la enfermedad se originó en la zona de Sopetrán (Antioquia), Colombia a finales del siglo XVIII. La enfermedad se encuentra distribuida en Centroamérica, en países como México, Honduras, Guatemala, Belice, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Dentro de Suramérica, se distribuye desde Surinam, Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. Una reciente evaluación en 2012, demostró que Brasil no reporta la presencia del patógeno (FHIA, 2012).

2.4.1.2. Agente causal

El patógeno causante de la Moniliasis es el hongo *Moniliophthora roreri* (Cif. & Par.) Evans, un hongo imperfecto de la clase Deuteromicete y del Orden Moniliales. Aún no se conoce su estado perfecto (sexual), por lo que se cree que su reproducción se realiza sólo asexualmente por conidios (esporas). Las esporas o semillas del hongo, son las únicas estructuras hasta ahora conocidas, capaces de causar infección (FHIA, 2012).

El hongo sólo ha sido encontrado atacando los frutos de los géneros *Theobroma* y *Herrania*.

2.4.1.3. Sintomatología

Los síntomas varían según la edad del fruto y las condiciones climáticas. Por lo general el síntoma característico es la aparición de la mancha marrón o “mancha de chocolate” sobre el fruto (Estrella y Cedeño, 2012). En frutos menores de dos meses se puede identificar una protuberancia o jiba brillante

sobre el ectocarpo. Después de la jiba, aparece una mancha café que se va extendiendo con mayor o menor rapidez según la susceptibilidad del material y sobre esta mancha empieza a aparecer una felpa blanca (filamentos vegetativos) (FHIA, 2012). Cuando el hongo tiende a madurar, la mancha café cambia a color crema con un aspecto acuoso, siendo esta la etapa más virulenta del hongo, pues las esporas son fácilmente dispersadas con el viento, y se reinician los procesos de infección en frutos sanos. La mancha puede comprometer a todo el fruto, provocando una masa acuosa sobre las semillas y por ende la pudrición de estas.

En frutos infectados a mitad de su desarrollo (3 a 4 meses), la enfermedad aparece primero en forma de pequeños puntos aceitosos, agrupados según la cantidad de esporas (conidios) que hayan llegado e infectado el fruto. En pocos días esos puntos se unen formando la mancha café. Estas esporas son tan abundantes que sólo en un centímetro cuadrado (como el tamaño de una uña), se cuentan desde 7 a 43 millones, bastando sólo una para iniciar la enfermedad en otro fruto sano siempre que las condiciones ambientales (humedad principalmente) favorezcan el establecimiento y desarrollo del hongo. (FHIA, 2012).

Otro síntoma es la maduración prematura de los frutos, cuando estos aún no alcanzan su tamaño y tiempo de cosecha.

2.4.1.4. Epidemiología

La infección por *M. royeri* es favorecido por climas donde las condiciones de humedad relativa son elevadas (cerca de 100% HR). A su vez, la germinación de esporas se favorece en ambientes con altas precipitaciones y temperaturas que oscilan entre 22 y 30°C. Es por eso, que en temporadas lluviosas su índice de proliferación e infección son mayores (Estrella y Cedeño, 2012).

El exceso de sombra o la falta de contacto directo con los rayos solares, son factores que determinan la capacidad de infestación del hongo en la plantación, por eso la importancia del manejo de la sombra, la aeración y el uso de labores culturales como podas y deshierbes.

Un fruto infectado es capaz de producir entre 6 a 7 billones de conidias durante 20 períodos de esporulación en ochenta días (Estrella y Cedeño, 2012). La mayor cantidad de conidias en el aire ocurre durante el día cuando sube la temperatura y baja el porcentaje de humedad en el ambiente (Yáñez, 2004).

2.4.1.5. Ciclo de vida

La sobrevivencia del patógeno empieza con los residuos de cosecha o mazorcas contaminadas por el hongo. Luego las conidias son diseminadas por el viento y el agua. El agua de lluvia tiene un papel importante en las infecciones a corta distancia. El movimiento involuntario de las esporas, producido por las labores de culturales y de cosecha, son razones para que se den nuevas infecciones. Las conidias se depositan sobre el fruto, germinan si hay agua o mueren por la radiación; estas al germinar pueden penetrar directamente a la cáscara del fruto (Phillips-Mora, 2006). El tiempo de infección puede ser de 3 a 8 semanas, pudiendo variar según la edad del fruto, la severidad del ataque, la susceptibilidad del árbol y las condiciones de clima, principalmente presencia de lluvias, mientras que en frutos tiernos,

en días lluviosos y calurosos, el período de incubación se acorta a tres semanas (FHIA, 2003).

2.4.1.6. Manejo de la Moniliasis

Las más favorecidas son el control cultural y control químico.

1) Control cultural

La práctica de control cultural consistente en la remoción de frutos enfermos; es la más importante para el control de la moniliasis. Se trata de eliminar las mazorcas con síntomas de la enfermedad, especialmente antes de la etapa de esporulación, con el objeto de impedir que el hongo alcance su etapa reproductiva.

El propósito fundamental de la remoción de mazorcas es disminuir la cantidad de esporas del hongo (inóculo) presente dentro del cultivo, con el fin de evitar la contaminación de las mazorcas que están en formación (Estrella y Cedeño, 2012).

2) Control químico

Para casos donde el patógeno es difícil de controlar, se ha sugerido el uso de controles químicos a partir del uso de fungicidas de contacto a base de cobre (Cu) y/o azufre (S), siempre y cuando se lo aplique en el momento adecuado, es decir, antes de la infección en mazorcas. En la mayoría de los casos, el método químico resulta costoso para el productor, además de los problemas causados al medio ambiente, puesto que el uso de estos pesticidas también afectaría a otros organismos vivos, incluso al ser humano.

3) Control biológico

El control biológico es la manipulación directa e indirecta por parte del hombre a los agentes vivos que de forma natural tienen capacidad de

control. Esta manipulación provoca un aumento de su capacidad de ataque sobre las enfermedades (Yáñez, 2004).

El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) viene trabajando en la búsqueda de materiales antagonistas con el organismo. En el año 2001 se pudo detectar algunos organismos potenciales antagonistas correspondientes a *Trichoderma koningii*. Se han desarrollado metodologías de multiplicación masiva de este antagonista y su comportamiento en el campo ha reducido casi totalmente la enfermedad, especialmente si se retiran las mazorcas enfermas de la plantación (Enríquez, 2004).

2.4.2. Mazorca Negra

Enfermedad causada por el hongo *Phytophthora sp.* la cual provoca daños importantes a nivel de frutos (también en distintas partes de la planta), particularmente en los cercanos a la madurez. Produce una mancha café de borde regular y de crecimiento rápido que llega a cubrir al fruto en pocos días, causando de manera interna pudrición de las semillas (CATIE, 2009).

En cacao se han reportado siete especies patógenas: *P. palmivora*, *P. megakarya*, *P. capsici*, *P. citrophthora*, *P. nicotianae* var. *Parasitica*, *P. megasperma* y *P. arecae*. (ICA, 2012).

2.4.2.1. Epidemiología

Los procesos de infección son por medio de esporas, las cuales demuestran mayor actividad virulenta con excesos de humedad y variaciones bruscas de temperatura en el ambiente. Las esporas son transportadas por el salpique de lluvia, las corrientes de agua, el viento, las hormigas, etc. El contacto directo entre los frutos sanos y enfermos también es una fuente importante de contagio (CATIE, 2009).

2.4.2.2. Ciclo de vida

La enfermedad es de rápida progresión y amenaza a mazorcas de distinta edad. Una vez infectado el fruto, los primeros síntomas se observan a los cinco días, a manera de puntos café oscuro en cualquier parte de la mazorca. Luego de tres días la mancha café cubre todo el fruto y empieza a formarse los micelios blancos, que a partir de tres días de su colonización y maduración, pueden producir esporas viables e infectar nuevos frutos (CATIE, 2009).

2.4.2.3. Manejo de la mazorca negra

En Ecuador la mazorca negra del cacao, se controla de manera similar a Moniliasis, ya que de hecho, los agricultores usan en mayor medida controles culturales para controlar ambas enfermedades. Según el manual técnico de CATIE (2009), las labores culturales de mayor éxito son:

- Efectuar las podas con el ánimo de bajarle altura al cultivo, en el tiempo adecuado.
- Mantener el cultivo libre de malezas.
- Mantenimiento o instalación del sistema de drenaje, en caso de que las condiciones del suelo lo exijan.
- Realizar el RE-SE (recolección semanal de frutos enfermos cada ocho días).

2.4.3. Escoba de Bruja

Es una enfermedad causada por el hongo basidiomycete *Moniliophthora perniciosa* (Aime & Phillips-Mora), la cual causa el crecimiento anormal de brotes tiernos, sean estos cojinetes florales, brotes, mazorcas y granos. A medida que avanza la enfermedad, los tejidos de la planta se agrandan e inicialmente son verdes, ya que a medida que avanza la anomalía los brotes se secan, dando la apariencia de una escoba (Pico et al., 2012).

En Ecuador la enfermedad apareció en 1917, trayendo como consecuencia la pérdida en la producción del 40% en cinco años (SENASICA, 2013).

2.4.3.1. Epidemiología

M. pernicioso pertenece a un orden de hongos saprófitos y habitantes de la rizosfera. En plantaciones comerciales sin presencia de la plaga, se observan buenos rendimientos en etapas iniciales del cultivo, no obstante, la incidencia de escoba de bruja aumenta con el incremento de la actividad meristemática (SENASICA, 2013).

Las basidiosporas son los únicos propágulos capaces de infectar a hojas, flores, frutos y tallos. El desarrollo de la enfermedad tiene complejidad en ambientes de alta humedad, puesto que se requieren 8 a 16 horas de constante humedad y temperaturas de 20 a 30 grados centígrados, para dar lugar a la formación de nuevos cuerpos fructíferos (SENASICA, 2013).

Las esporas son liberadas por la noche, cuando la humedad relativa puede mantenerse cerca del 80%, ya que los basiodiocarpos pueden mantenerse turgentes y liberar entre 2 y 4 días dependiendo de las condiciones climáticas, con una producción estimada de 3,5 millones de esporas por cada seta (SENASICA, 2013).

Los brotes tiernos son los más susceptibles a la infección; a medida que estos se desarrollan se vuelven más resistentes. La infección en frutos, se favorece con las películas de agua que se forman sobre estos. La espora puede germinar a partir de las 3 horas a 22-24 °C (SENASICA, 2013).

2.4.3.2. Ciclo de vida

La infección solo ocurre en tejidos en crecimiento activo. Existen dos fases que distinguen a *M. pernicioso*, la primera ocurre cuando este ataca a tejidos jóvenes produciendo hipertrofia e hiperplasia, y vive como un parásito obligado en forma intracelular. La segunda fase, ocurre cuando el tejido muere, y el hongo cambia sus hábitos y crece como un saprófito.

En frutos, el tiempo de incubación del hongo dura 6 semanas aproximadamente. A partir de su aparición, la corteza y la médula de la mazorca empieza a crecer, debido al desequilibrio hormonal.

Los tejidos con el síntoma “escoba de bruja”, aparecen a causa de la pérdida de dominancia apical, formando brotes axilares que le dan ese aspecto. Los tejidos infectados permanecen de color verde en un periodo relativamente corto. Luego empiezan a secarse desde los ápices y a tornarse de color marrón en aproximadamente 6 semanas. Cuando el tejido muere, el micelio se fragmenta formando clamidosporas, y de la “escoba seca” se formarían basiodiocarpos, después de 4 semanas de incubación (SENASICA, 2013).

2.4.3.3. Manejo de la escoba de bruja

Al no poderse manejar las condiciones climáticas de la plantación, se emplearía un control integrado para evitar la proliferación de este patógeno (Parra et al., 2008). Entre las prácticas de manejo recomendadas se encuentran:

- Evitar el traslado de material enfermo, hacia plantaciones sanas.
- Mantener el equilibrio de sombra y humedad en la plantación.
- Remover las “escobas” y frutos infectados a tiempo.
- Proteger a los frutos en los primeros tres meses de formación, a base de fungicidas cúpricos.

2.4.4. Cherelle Wilt

También conocido como “marchitamiento prematuro en cacao”. Aun no se define con exactitud un organismo como agente causal, sin embargo se considera que este problema es debido a un desequilibrio fisiológico. Se postula que la marchitez surge como resultado de la falta de hormonas producidas por el endospermo, causando una disminución en la absorción de agua y nutrientes, permitiendo con ello el marchitamiento (McKelvie, 2016).

La enfermedad se caracteriza por un cese en el desarrollo y crecimiento de los frutos jóvenes (chereles), seguido de un secamiento y arrugamiento. Los frutos se toman amarillos y luego negros; posteriormente, se momifican y se infectan con hongos.

Los frutos enfermos no producen una línea de abscisión que provoque la caída de los mismos, sino que este marchitamiento está precedido o acompañado por un arrugamiento y/o contracción del pedicelo del fruto. La enfermedad genera pérdidas del 70% en plantaciones con deficiente manejo agronómico (Reyes et. al., 1965).

La marchitez de frutos se encuentra aparentemente relacionada con dos factores: a) Factores relacionados con déficit de agua en el suelo demostrado por los altos porcentajes de frutos marchitos durante las épocas de sequía. b) Factores de competencia de nutrientes en el vegetal, manifestados por las pérdidas sucedidas 1 o 2 meses posteriores a una gran formación de frutos (Reyes et. al., 1965).

Como métodos de control se recomienda manejar planes de fertilización adecuados, y evitar el uso excesivo de compuestos fitohormonales. Así mismo, eliminar frutos muertos y secos (Batista, 2009).

2.5. Nutrición en cacao

Muchos países de América y África son grandes productores de cacao. A lo largo de muchos años se ha enfatizado en estudios relacionados a la fertilización del cultivo. En Trinidad estudios sobre fertilización, distintas densidades de siembra y sombra, señalan la importancia de utilizar mezclas completas de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). En Brasil estudios demuestran que una fertilización balanceada en cacao bajo sombra, produce bajos incrementos en producción, mientras que en cultivos a plena exposición solar tiene como resultado grandes incrementos de producción con la ayuda de la fertilización (Uribe et al, 1998).

Es notorio que la fotosíntesis es más intensa en un cultivo sin sombra, por lo tanto la respuesta frente a una fertilización completa genera buenos rendimientos. Por el momento siguen siendo escasos los estudios de fertilización edáfica y foliar en Ecuador, que determinen una correcta dosificación de nutrientes.

2.5.1. Macronutrientes

Estos deben ser aplicados en grandes cantidades dependiendo de la fertilidad original de los suelos. Pueden existir suelos pobres en nutrientes debido a la extracción por medio de cultivos anteriores, o simplemente ser pobres de forma natural. Sin embargo, un cultivo demostrará bajos rendimientos y sintomatologías que indicarían una baja fertilidad. Aquí radica la importancia de realizar estudios químicos y físicos de suelos para de esta manera mejorar la productividad del cultivo.

2.5.1.1. Nitrógeno

Es el motor de crecimiento de la planta, necesario para la formación de aminoácidos y proteínas a través de procesos metabólicos. La planta lo absorbe del suelo en forma de nitrato (NO_3) y amonio (NH_4), y en leguminosas también puede ser absorbido como nitrógeno atmosférico (N_2). Es importante en todos los procesos de desarrollo de la planta, por ende un buen suministro de nitrógeno contribuye a lograr altos rendimientos. (Pinargote, 2015). El amarillamiento general de la planta es un claro síntoma de deficiencia de nitrógeno.

2.5.1.2. Fósforo

El fósforo es un nutriente primario, necesario para la síntesis de energía en las células. El fósforo juega un papel vital en todos los procesos que requieran transferencia de energía. No existe otro nutriente que lo reemplace, de ahí la importancia de aplicarlo en grandes cantidades. El fósforo es absorbido por la planta principalmente como ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-), pero también se absorbe como ion fosfato secundario (HPO_4^{2-}). Su

deficiencia en plantas se observa como marchitamiento de hojas bajas y la disminución del tamaño en hojas nuevas (Hernandez, 2002).

2.5.1.3. Potasio

Se considera el segundo nutriente luego del nitrógeno, y dentro de todos los nutrientes esenciales, es el de mayor demanda por parte de los cultivos. Es absorbido como ion potasio (K^+), siendo esta su forma más simple. El potasio es necesario en un sinnúmero de procesos metabólicos, sobretodo en la osmo-regulación y la síntesis de ATP, y se considera como el nutriente de la calidad, ya que afecta al tamaño, forma y sabor de los frutos. Un claro síntoma de deficiencia de potasio, se puede observar como amarillamiento marginal en hojas medias y bajas. La mala calidad de los frutos es otro síntoma de carencia.

2.5.2. Micronutrientes

Son nutrientes aplicados en bajas cantidades, pero no dejan de ser esenciales puesto que un desbalance en micronutrientes provoca aún más problemas comparado a la deficiencia en macronutrientes. Las aplicaciones de micronutrientes deben ser usados técnicamente, debido a que los cultivos son más susceptibles a una intoxicación cuando estos son aplicados en cantidades excesivas.

2.5.2.1. Azufre

Es un elemento constituyente de muchas proteínas y enzimas. Contribuye a los procesos de respiración y oxidación. Comúnmente se encuentra en variables concentraciones en los fertilizantes edáficos, siendo absorbido por las plantas como dióxido de azufre (SO_2) o radical sulfato (Reyes y Capriles, 2000).

2.5.2.2. Calcio

Es un elemento poco móvil, que demuestra mayor movilidad fuera de la célula (apoplasto) que por dentro (simplasto). Las plantas lo absorben en forma de ion calcio CA^{+2} , y su acumulación se localiza en la lámina media de la pared celular. Aumenta la resistencia externa en la planta, sobretodo en frutos. Cumple un papel importante en la capacidad de intercambio catiónico de los suelos (Reyes y Capriles, 2000). La deficiencia de este elemento, se puede observar en plantas con deformaciones generalmente en raíces y tallo debido a su baja movilidad. La necrosis en corteza de los frutos es otro gran indicador de cuya deficiencia.

2.5.2.3. Magnesio

Forma parte de la molécula de clorofila, de ahí su importancia dentro de la captación de energía solar para el proceso de fotosíntesis. Es un gran activador enzimático y formador carbohidratos, proteínas, grasas y varias vitaminas. Las plantas absorben el magnesio de la solución del suelo como ion magnesio (Mg^{+2}) y su movimiento dentro de la planta es alto. La clorosis intervenal en hojas viejas es uno de los principales síntomas de deficiencia de magnesio (Cakmak y Yazici, 2010).

2.5.2.4. Boro

Se encuentra conformando tejidos en continuo crecimiento tales como meristemas, órganos florales, vasos conductores, formación de frutos, etc., lugares donde ocurre la división celular. (Reyes y Capriles, 2000). Aunque su requerimiento por parte de las plantas es relativamente bajo, no deja de ser importante en la reproducción ya que promueve la formación del tubo polínico y la activación del polen. Por tal razón, las deficiencias de boro se observan en meristemas y frutos con deformaciones.

2.5.2.5. Manganeso

El manganeso tiene un rol importante en algunas reacciones metabólicas como la respiración y la reducción de nitritos; de esta manera el nitrógeno pueda ser procesado por la planta (Reyes y Capriles, 2000). Participa en la fotosíntesis al contribuir en la síntesis de clorofila. Debido a esta función, las deficiencias de Mn pueden representarse como un amarillamiento de las hojas.

2.6. El silicio en la naturaleza

El silicio (Si), es el segundo elemento más abundante de la litosfera. En la corteza terrestre ocupa el 28%, precedido por el oxígeno (47%). Los elementos C, H, O, N, P y S son considerados mayoritarios en los seres vivos, mientras que el Si se considera elemento traza. No obstante, en algunas especies de algas verde-amarillas y diatomeas, se considera al silicio como elemento esencial para la formación de las paredes celulares conocidas como frústulas.

El silicio no se encuentra libre en la naturaleza y debido a su fuerte afinidad con el oxígeno produce varias formas de SiO_2 (vidrio de sílica, sílica amorfa, cristobalita y cuarzo) u otros silicatos, los cuales están combinados con varios metales (Al, Fe, Mn, Mg, entre otros). Se considera al silicio como el elemento más importante del siglo XXI, ya que es fundamental en la fabricación industrial. Debido a su alta composición en la corteza terrestre, se ha considerado como el elemento más “renovable” o “sostenible” (Álvarez y Osorio, 2014).

Investigaciones recientes, señalan al silicio como un elemento benéfico en la agricultura, puesto que en cultivos como arroz, caña de azúcar y demás gramíneas, han alcanzado buenos resultados (SEPHU, 2009).

Para que los organismos fotosintéticos como bacterias, algas y plantas asimilen silicio, este deberá estar en su forma soluble como ácido monosilícico (H_4SiO_4). A través del proceso de biosilicificación, se formarían compuestos sólidos, creando intracelular y extracelular, cuerpos de sílice amorfos ($\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$), algunas veces

descritos como fitolitos y ópalo. Estos cuerpos están inextricablemente unidos y/o son esenciales para el crecimiento, fuerza mecánica, rigidez, defensa de predadores y hongos, elasticidad, regulación metabólica y térmica, permitiendo un crecimiento confortable de las células, órganos y tejidos de las plantas (Quero, 2009).

2.6.1. Silicio en el Suelo

Aunque mayoritariamente el silicio tiene afinidad por los metales para formar complejos sólidos, también se encuentran presentes en la solución del suelo, no obstante son débilmente absorbidos por las plantas. Se describen tres grupos principales de compuestos de silicio solubles, estos son el ácido monosilícico, polisilícico y los compuestos órgano-silícicos. El ácido monosilícico (H_4SiO_4) predomina en las soluciones acuosas como la solución del suelo dentro de un rango de pH de 2 a 9, y es la forma en que las plantas pueden asimilarlo (Álvarez y Osorio, 2014).

2.6.2. Silicio en la Planta

Básicamente, el silicio es absorbido por las plantas como H_4SiO_4 y sus iones silicatos (H_3SiO_4). En las plantas, el Si es transportado de la raíz a los tallos, hojas y frutos por medio del torrente de agua de transpiración en el xilema, y en segunda instancia por medio de la difusión (Quero, 2008; Álvarez y Osorio, 2014). Una vez que es absorbido por la planta, el agua se pierde por la transpiración y el silicio se acumula en el haz de las hojas, vainas y corteza, formando una barrera mecánica (Hasing, 2007).

Grandes cantidades de silicio son adsorbidas por el cultivo de caña de azúcar (300-700 kg de Si ha⁻¹), arroz (150-300 kg de Si ha⁻¹), trigo (50-150 kg de Si ha⁻¹), frijol (100-200 kg de Si ha⁻¹) y maíz (200-350 kg de Si ha⁻¹), ocurriendo una alta acumulación de SiO_2 en la epidermis de las hojas (Quero, 2008).

Jones y Handreck (1967), después de analizar muchas plantas dividieron en tres grupos de acuerdo a los contenidos de silicio. Los valores más altos son de 10 a 15% en base seca que corresponden a gramíneas de zonas húmedas; entre 1-

3% aquellas gramíneas de zonas secas tales como centeno y avena, y la mayoría de las dicotiledóneas que tienen menos del 1% (Álvarez y Osorio, 2014).

2.6.2.1. Cuerpos de Si en las plantas

Muchos organismos fotosintéticos, bacterias, algas y plantas acumulan sílice en forma sólida, a través del proceso de biosilificación, creando intracelular y extracelular, cuerpos de sílice amorfos ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), algunas veces descritos como fitolitos y ópalo (*phyto*, planta y *lithos* roca, en griego) (Quero, 2009).

Estos cuerpos están inextricablemente unidos y/o son importantes para la tolerancia de las plantas a las enfermedades causadas por hongos y toxicidad causada por metales. En resumen, el sílice ayuda a la planta a sobrevivir en muchos tipos de estrés abiótico, tales como salinidad, toxicidad por metales, desbalance nutricional, sequia, radiación, alta temperatura, congelamiento y luz ultravioleta, y reduce el impacto de predadores de la planta (Quero, 2009).

Los tricomas, células epidérmicas especializadas que forman pelillos o tricomas, son las únicas estructuras celulares de las plantas que se conoce están totalmente cubiertas por silicio amorfo y que además mantienen actividad metabólica y posiblemente almacenen reservas para mantener el crecimiento (Quero, 2009).

2.6.3. Absorción foliar del silicio

Alrededor de 1850 se demostró que las plantas podían absorber nutrientes a través de las hojas. Esto gracias a los poros hidrofilitos que se encuentran en el haz y envés de las hojas. La cantidad de estos poros están íntimamente relacionados a la cantidad de estomas, determinando esto su capacidad de absorción vía foliar. Se sostiene que la fertilización vía foliar es menos contaminante y de más rápida asimilación frente a la fertilización edáfica, no obstante presenta limitantes en nutrientes que tienen que ser aplicados en grandes

cantidades. Por lo tanto la fertilización foliar debe ser considerada complementaria en ciertas etapas de desarrollo (Hasing, 2007).

Todas las plantas que crecen en el suelo tienen cantidades considerables de silicio en sus tejidos. El rango de concentración de silicio dentro de los tejidos de las plantas puede variar de 0,1% a 10% en base de materia seca. Aun cuando el contenido es mínimo (0,1%), todavía podrían ser comparables con la concentración de otros nutrientes tales como Azufre, Fósforo y Magnesio. Esto demuestra la esencialidad del nutriente silicio en las plantas (Álvarez y Osorio, 2014).

Tabla 1. Composición elemental de las plantas en base seca

Elemento	Rango	Observaciones
C (%)	45,0	
H (%)	6,0	
O (%)	45,0	
N (%)	0,5-0,6	
P (%)	0,15-0,5	Macronutrientes esenciales
S (%)	0,1-0,5	
K (%)	0,8-8,0	
Ca (%)	0,1-0,6	
Mg (%)	0,05-1,0	
Fe (mg/kg ⁻¹)	20-600	
Mn (mg/kg ⁻¹)	10-600	
Zn (mg/kg ⁻¹)	10-250	
Cu (mg/kg ⁻¹)	2-50	Micronutrientes esenciales
Ni (mg/kg ⁻¹)	0,05-5,0	
B (mg/kg ⁻¹)	0,2-800	
Cl (mg/kg ⁻¹)	10-80000	
Mo (mg/kg ⁻¹)	0,1-10	
Co (mg/kg ⁻¹)	0,05-10	Esencial en todos los sistemas de fijación de N ₂ .
Na (%)	0,001-8	Esenciales para algunas plantas, generalmente benéficos.
Si (%)	0,1-10	
Al (mg/kg ⁻¹)	0,1-500	Usualmente tóxico para plantas en suelos ácidos. Benéfico en algunos casos.

Fuente: Álvarez y Osorio (2014). *Silicio agrónomicamente esencial*.

2.6.3.1. Aplicación foliar de la solución fertilizante

Las hojas cuenta con una cutícula externa provistas de ceras hidrofóbicas, que impiden fuertemente el ingreso de líquidos, esto explica la razón por la cual se requiere del uso de soluciones detergentes que disminuyen la tensión superficial, y permiten el ingreso de las soluciones fertilizantes.

2.6.3.2. Penetración de la solución en la lámina foliar

Se han expuesto varias formas de penetración de nutrientes, una de estas es por medio de los poros hidrofílicos de la cutícula. La cantidad de poros es mayor en las paredes celulares, entre las células guardianes y las células subsidiarias de los estomas. La absorción de solutos a través de los estomas es poco probable, debido a que las células guardianes están cubiertas por una capa cuticular, no obstante esta penetración de solutos puede ser posible debido a que la capa cuticular contiene una baja concentración de ceras hidrofóbicas (Hasing, 2007).

2.6.3.3. Entrada al apoplasto

Los nutrientes ingresan a este lugar mediante la penetración de la capa externa cuticular (células epidermales exteriores) de la hoja y/o a través del xilema. La concentración de pH del apoplasto es determinante para el paso de los nutrientes al simplasto; cabe señalar que esto puede ser manejado con aditivos reguladores de pH de las soluciones foliares (Hasing, 2007). Luego de su ingreso, el silicio se acumula mediante la pérdida del agua por transpiración, dando paso a la formación de fitolitos, proceso el cual se conoce como silicificación. Se conoce como fitolitos aquellas partículas microscópicas de silicio acumuladas en el tejido epidermal (complejo silicio-celulosa) y en paredes celulares. Este contenido de silicio no es móvil, ya que una vez que se encuentra acumulado, su retorno a la solución del suelo es provocado cuando los restos de la planta se desprenden y descomponen en la superficie del suelo, conformando el ciclo bioquímico del silicio (Álvarez y Osorio, 2007). Esta teoría demuestra la formación de barreras mecánicas

permanentes en los tejidos epidermales de la planta, sobretodo en hojas y frutos.

La acumulación de silicio se relaciona con la transpiración, tasa y duración de crecimiento, pero la capacidad de absorción por raíces es más importante en la parte aérea. Se ha demostrado una variación en la acumulación de calcio y silicio entre especies de plantas. En las monocotiledóneas la concentración de silicio es mayor que la de calcio, mientras que dicotiledóneas es lo contrario, siendo la concentración de calcio más alta. Dependiendo de este fenómeno, se pueden clasificar a las plantas acumuladoras de silicio como: acumuladoras, intermedias y no acumuladoras. Se usan dos criterios para la clasificación: contenido de silicio (%) y relación Si/Ca (Álvarez y Osorio, 2007).

Tabla 2. Clasificación de plantas acumuladoras de silicio

	Tipos de plantas		
	Acumuladoras	Intermedia	No acumuladoras
Contenido de Si (%)	>1	1-0,5	<0,5
Relación Si/Ca	>1	1-0,5	<0,5
Grado de acumulación de Si	+	+/-	-

Fuente: Álvarez y Osorio (2014). *Silicio agronómicamente esencial*.

2.6.3.4. Absorción dentro del simplasto

La absorción de nutrientes por las hojas es claramente dependiente de factores externos como humedad, temperatura y luz. La absorción al simplasto esta mediada por energía y regulada por proteínas de transporte con H⁺-ATP. Esto aumenta la capacidad de absorción en la membrana (Hasing, 2007). La forma y velocidad de absorción depende de la planta. En el arroz se conoce que la forma en la que ingresa el Si es activa, siendo el ingreso del silicio aún más rápido que el del agua. En plantas de absorción pasiva como el pepino, el silicio ingresa a igual velocidad que el agua sin presentar cambios significativos de la concentración de silicio en el suelo,

mientras que en plantas selectivas como el tomate, el ingreso del silicio tiende a ser excluido (Álvarez y Osorio, 2014).

La absorción de Si involucra al menos dos procesos: transporte radial de Si desde la solución externa a las células corticales, y el transporte de Si desde las células corticales al xilema. La concentración de silicio que se transporte de las células corticales a xilema, difiere enormemente por el contenido de transportadores específicos con los que cuenta una especie vegetal. Es decir, en arroz existen un número mayor de transportadores de Si, hecho por el cual su acumulación es mayor en comparación a otras especies como pepino y tomate (Álvarez y Osorio, 2014).

2.6.3.5. Distribución y translocación de nutrientes

La distribución de los nutrientes dentro de la planta, depende de la movilidad de estos dentro del xilema y floema. Los nutrientes móviles como el nitrógeno, fosforo, potasio y magnesio se mueven de forma acropetal (xilema) y basipetal (floema), hacia cualquier órgano que se requieran en gran demanda. Los nutrientes como el calcio, azufre, hierro, entre otros, tienen baja movilidad por vía basipetal. Estos son mejor distribuidos por xilema, pero muestran su limitación hacia afuera de la hoja (Hasing, 2007).

El proceso de absorción y distribución del silicio en las plantas no es diferente de los demás elementos. Debido a que no es redistribuido una vez acumulado como ópalo, su translocación dentro de la planta es fuertemente dependiente de la corriente de transpiración. El silicio se acumula mayoritariamente en las paredes de las células epidermales cuando la concentración de ácido monosilísico es mayor de 2 mol/m^{-3} . A diferencia de otros elementos nutritivos el silicio se deposita, mas no se redistribuye en los tejidos en crecimiento debido a su naturaleza química como elemento inmóvil. Por esta razón, el silicio se acumula más en hojas viejas que en hojas jóvenes (Álvarez y Osorio, 2014).

El 90% del sílice absorbido se transforma en varios tipos de fitolitos o estructuras de silicio-celulosa. Los fitolitos acumulados de la hojarasca en descomposición, pueden constituir como una fuente de silicio reciclado que puede ser rápidamente incorporado a la solución del suelo. Las plantas juegan un papel importante en el ciclo global del silicio (Álvarez y Osorio, 2014).

2.7. El silicio en la agricultura

Todas las plantas que crecen en suelo contienen cantidades significativas de Si en sus tejidos, pero la concentración de silicio de la parte aérea de las plantas varía ampliamente entre las especies.

Las gramíneas y ciperáceas presentan alta acumulación de silicio. Especies de plantas de cucurbitáceas, urticales y commelináceas presentan acumulación intermedia de silicio, mientras que otras especies de plantas tienen baja acumulación (Álvarez y Osorio, 2014).

Los efectos benéficos del silicio se expresan más claramente bajo condiciones de estrés; como las plantas están sometidas constantemente a este tipo de condiciones durante el crecimiento, el elemento participa de manera activa disminuyendo diferentes tipos de causas por estrés, lo que conlleva a un aumento en la productividad. El silicio es el único elemento que no es tóxico para las plantas; no provoca daños cuando está acumulado en exceso, debido a sus propiedades de no disociarse a pH fisiológico (Álvarez y Osorio, 2014).

2.7.1. Beneficios del Si en los controles fitosanitarios

Como se ha mencionado, el silicio no ha sido incluido en la lista de los elementos esenciales para las plantas superiores. Diferentes trabajos científicos realizados por los centros de investigación más importantes del mundo han demostrado que las plantas son más susceptibles al estrés, tanto biótico como abiótico, cuando presentan deficiencias de Silicio (SEPHU, 2009).

Muchos trabajos publicados han confirmado el enorme potencial para aumentar la resistencia a plagas y enfermedades a través de una buena nutrición con silicio. En la Cuarta Conferencia Internacional del Silicio en la Agricultura (Suráfrica 2008), Bekker T.F. et al, (2007) presentaron una investigación sobre la aplicación en drench de silicio soluble (silicato de potasio) aplicado al suelo, consiguiendo un efecto inhibitorio del 100% sobre el crecimiento micelial, en el manejo de *Phytophthora cinnamomi* en aguacate (*Persea americana* M.). Por otra parte, las plantas tratadas con silicio tuvieron raíces y copas mucho más vigorosas.

Gatarayiha y Laing (2011), asumen una posible sinergia entre *Beauveria bassiana* (Bals) y el elemento silicio para el control de araña roja (*Tetranychus urticae* Koch) en berenjena. La aplicación de silicio aumenta la eficacia de *B. bassiana* y reduce el daño de la hoja por un 60% en comparación con los tratamientos en ausencia de Silicio. De alguna manera, el silicio crea mayor resistencia física frente al ataque del ácaro, y a su vez cumple la función de potenciar la virulencia de *B. bassiana* contra el patógeno.

Kablan et al (2012), demostró que el silicio podía ayudar a manejar la sigatoka negra en banano. Para esta investigación se probó el cultivo de banano (*Musa acuminata* Grande Naine AAA Cavendish) en medios de solución hidropónico con contenidos variantes de silicio. El silicio diluido en agua en forma de metasilicato de sodio, tuvo un efecto positivo sobre la curva de progreso de la enfermedad. En otras palabras, 34 días luego de la inoculación de conidios sobre las hojas del cultivo, el desarrollo del hongo fue disminuido significativamente en comparación a los tratamientos que no contenían silicio en su solución hidropónica. Otros trabajos reportaron eficacia contra la roya parda en caña de azúcar, mildiu polvoso en cucurbitáceas, marchitez por *Fusarium* en papa y *Piricularia* en arroz (Mejisulfatos, 2010).

Cuando se inicia una enfermedad, la planta dirige todo el silicio disponible al sitio de ataque para reforzar las células circundantes, pero el silicio es inmóvil una vez que se incorpora a la pared celular, puesto que debe existir un suministro

constante de Si asimilable para las plantas. La mayor parte de los suelos contiene menos de la mitad del silicio requerido, así que puede haber beneficios significativos en la aplicación foliar de silicio, asperjado al primer signo de una enfermedad. (Mejisulfatos, 2010).

2.8. Fitosil

Es un producto que presenta alta concentración de silicio soluble, a la que se han adicionado Fosfitos de Potasio, Calcio y Magnesio, que actúan sistémicamente dentro de la planta y tienen movimiento basipétalo y acropétalo, teniendo acción fungicida para el grupo de los Oomicetos. Estimula la producción de defensas y mejora la respuesta de la planta al ataque de plagas y enfermedades.

2.8.1. Propiedades Físico-Químicas

A continuación se presenta un cuadro representativo de las características físicas y químicas de Fitosil.

Tabla 3. Propiedades físico-químicas de Fitosil

Parámetro	Contenido
Silicio soluble (SiO ₂)	255 g/litro
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅)	200 g/litro
Potasio soluble en agua (K ₂ O)	80 g/litro
Calcio (Ca)	15 g/litro
Magnesio (Mg)	8 g/litro
Cobre (Cu)	0,5 g/litro
Zinc (Zn)	2 g/litro
Vitamina B1	1 g/litro

pH de la solución al 10%	4,0
Densidad a 20 °C	1,35 g/ml

Fuente: Fermagri/C.I. Efoltec S.A.

Este fósforo no actúa como nutriente en sus primeras etapas luego de la aplicación. La forma fosfito P_2O_3 va transformándose a la forma nutriente P_2O_4 lentamente (puede demorar hasta 3-4 meses) por tanto el fosfito podría acumularse en los tejidos solamente cuando se sobre dosifica el producto o las aplicaciones son demasiado frecuentes. Los demás iones acompañantes (Calcio, Potasio y Magnesio) si actúan como nutrientes de forma inmediata.

Al contrario, al tratar de incrementar la cantidad de silicio proveniente de silicatos de potasio o de sodio, que son formas altamente solubles, se pierden características importantes como el pH del producto, que tiende a elevarse hasta la alcalinidad. Una pequeña parte del silicio de FITOSIL proviene de silicato de potasio, siendo su principal materia prima un dióxido de tipo amorfo de origen orgánico, de alta y media solubilidad en agua, que va transformándose lentamente a ácido monosilícico.

Posee Zinc y Vitamina B1 como estimulador del sistema metabólico y sinergizadores de la absorción de silicio y el cobre como estimulador de la formación de fitoalexinas.

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del área de investigación

3.1.1. Ubicación política

Provincia: Santo Domingo de los Tsáchilas

Cantón: Santo Domingo

Parroquia: Luz de América

Sector: San Andrés 2

3.1.2. Ubicación geográfica

Coordenadas: UTM de la parcela

Norte: 9959169

Este: 692480

Elevación: 344 m.s.n.m

3.1.3. Ubicación ecológica

Zona de vida: dhT Bosque Húmedo Tropical

Altitud: 344 m

Temperatura: 24,1 °C.

Precipitación: 3 213 mm

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales de campo

Tabla 4. Materiales y equipos

Materiales		Insumos	Equipos
Pala	Vaso dosificador	Fitosil (Silicio soluble)	Motoguadaña
Tijera de podar	Bomba de mochila (20 L)	Fungicidas de contacto y sistémicos	Bomba nebulizadora de motor (20 L)
Cintas de color (marcador)	Guantes y mascarilla de protección	Herbicida	Balanza
Fundas plásticas	Gafas de protección	Adherente	GPS
Baldes	Machete		Cámara fotográfica

3.3. Métodos

3.3.1. Diseño experimental

3.3.1.1. Factores a probar

El factor en estudio fue el fertilizante foliar Fitosil, aplicado en 4 niveles cuantitativos sobre una plantación de cacao ramilla CCN-51 de 5 años de edad.

3.3.1.2. Tratamientos a comparar

Se presenta a continuación los tratamientos correspondientes al ensayo.

Tabla 5. Tratamientos comparados en el estudio

Tratamiento	Descripción
T0	Sin aplicación (Testigo)
T1	0,5 L de Fitosil/ha
T2	1,0 L de Fitosil/ha
T3	1,5 L de Fitosil/ha
T4	2,0 L de Fitosil/ha

3.3.1.3. Tipo de diseño

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) debido a la presencia de árboles frutales y ornamentales dentro de la plantación que influyen en sombra y humedad.

3.3.1.4. Repeticiones

Para los cinco tratamientos se realizaron cuatro repeticiones.

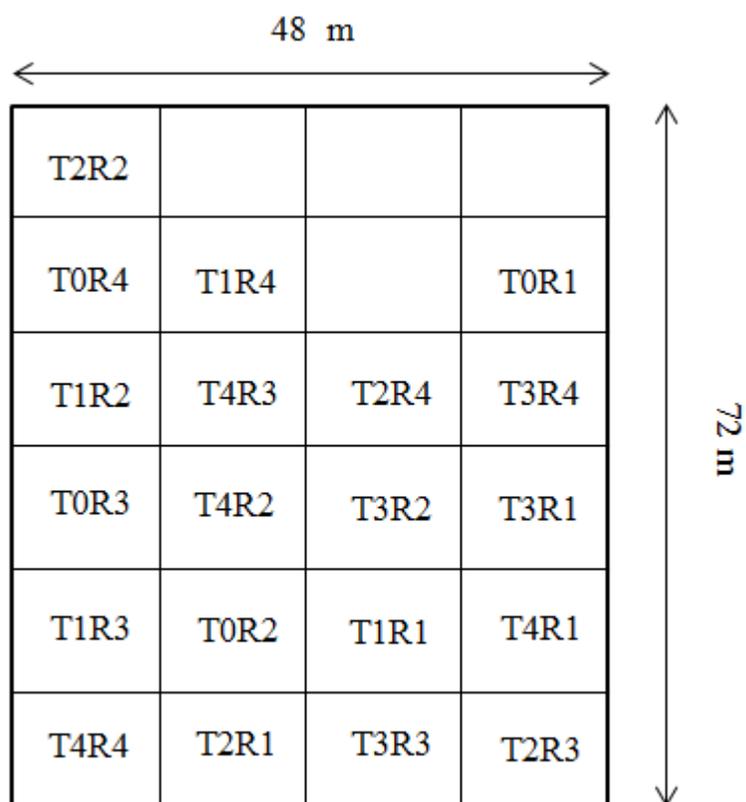
3.3.1.5. Características de las unidades experimentales

Número de unidades experimentales: 20

Área de las unidades experimentales: 144 m²

Largo:	12
Ancho:	12
Forma de la UE:	Cuadrada
Área total del ensayo:	3456 m ²
Largo:	48 m
Ancho:	72 m
Forma del ensayo:	Cuadrado

3.3.1.6. Croquis del diseño



3.3.2. Análisis estadístico

3.3.2.1. Esquema de análisis de varianza

Tabla 6. Esquema de análisis de varianza

Fuentes de Variación	Grados de libertad	
Tratamientos	(t-1)	4
Bloques	(r-1)	3
Error experimental	(t-1)(r-1)	12
Total		19

3.3.2.2. Coeficiente de variación

Para el cálculo del coeficiente de variación se utilizó la siguiente fórmula:

$$CV = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{X}} \times 100$$

Dónde:

CV: Coeficiente de variación

CMe: Cuadrado medio del error experimental

\bar{X} : Media de los tratamientos

3.3.2.3. Análisis funcional

Para el análisis funcional se utilizó la prueba de Duncan a un nivel de significancia del 0,05%.

3.3.3. Análisis económico

Para la determinación del análisis económico se utilizó el cálculo del valor costo/beneficio vs tratamiento.

3.3.4. Variables a medir

Mazorcas sanas.- Conteo del número de mazorcas sanas obtenidas por cada muestreo y tratamiento.

Chereles sanos.- Conteo del número de chereles sanos obtenidos por cada muestreo y tratamiento.

Incidencia de moniliasis.- Para cada tratamiento, se contó el número de mazorcas afectadas por Moniliasis y estas relacionándolas con el número total de mazorcas de la planta. Este valor se expresó en porcentaje según la fórmula:

$$IM = (m/N) \times 100$$

IM = Incidencia de Moniliasis (%)

m = Número de mazorcas con Moniliasis

N = Número total de mazorcas

Incidencia de mazorca negra.- Para cada tratamiento, se tomó en cuenta el número de mazorcas afectadas por Mazorca negra y estas relacionándolas con el número total de mazorcas contenidas en la planta. Este valor se expresó en porcentaje según la fórmula:

$$IN = (n/N) \times 100$$

IN = Incidencia de Mazorca Negra (%)

n = Número de mazorcas con Mazorca Negra

N = Número total de mazorcas

Incidencia de cherelle wilt.- Para cada tratamiento, se tomó en cuenta aquellos chereles afectados por Cherelle Wilt, y estas relacionándolas con el número total de chereles contenidos en la planta. Este valor se expresó en porcentaje según la fórmula:

$$IC = (c/C) \times 100$$

IC = Incidencia de Cherville Wilt (%)

c = Número de mazorcas con Cherville Wilt

C = Número total de chereles

3.3.5. Métodos específicos de manejo del experimento

3.3.5.1. Fase de implantación

Para iniciar con la implantación del ensayo, se hizo la delimitación de la parcela experimental, es decir, todo lo correspondiente al área del ensayo con sus respectivas subparcelas. Se aplicó un control mecánico de malezas sobre el terreno para facilitar la delimitación de tratamientos, seguido de un control químico usando glifosato a una dosis de 1L/ha. Cada tratamiento constó de 9 plantas, siendo la planta central la muestra de la unidad experimental para medición de las variables. Las subparcelas fueron identificadas con cintas de color verde en cada esquina y señalando con cinta de color rojo la planta central o muestra de la subparcela.

Se procedió a realizar labores culturales como desmalezado de la parcela cada 2 meses, deshierbes en planta y podas fitosanitarias quincenales, podas de mantenimiento y cosecha de frutos maduros.

También se realizó una toma de muestras (01/05/2016) de suelo y foliares de toda la parcela para evaluar los elementos nutricionales, incluido el elemento silicio (Si). Los análisis correspondientes a la investigación, fueron realizados en Quito, en el laboratorio AGRARPROJEKT S.A. del Dr. Karl Sponagel. El informe del análisis se recibió el 16 de Mayo de 2015, a 36 días posteriores al inicio de la investigación. Con la ayuda de estos resultados se elaboró un plan nutricional establecido para los 6 meses del estudio. Los resultados del análisis están representados en la Tabla 7.

Para la fertilización inicial se usó como fertilizante al producto Fercacao Gold de Fermagri, el mismo que cuenta con una fórmula de N15%, P5% y K 20%. Se utilizó 300 g por planta aplicados en tipo corona, dando un total de 54 kg de fertilizante aplicado en todo el estudio.

El día lunes 30 de Mayo de 2016 se realizó la primera aplicación de un fungicida protectante y curativo con la finalidad de reducir la incidencia de enfermedades presentes en el cultivo, dado que había un exceso en incidencia de moniliasis y escoba de bruja. El fungicida utilizado fue Metalaxil + Mancozeb (Ridomil Gold MZ – 68WP) a una dosis de 2,5 g/L, aplicado de forma foliar con la ayuda de una bomba nebulizadora de motor. Se determinó que las aplicaciones de fungicida se realizarían cada 2 meses en conjunto con la solución de los tratamientos (Fungicida + Fitosil).

3.3.5.2. Fase de aplicación de tratamientos

Una vez dada la fase de implantación, se sorteó la ubicación de las subparcelas para iniciar con la respectiva aplicación de tratamientos. Para el ensayo, todos los tratamientos recibieron el mismo manejo correspondiente a labores culturales antes mencionadas, puesto que se simularían las actividades realizadas propias del agricultor.

La aplicación de Fitosil fue exclusivamente por vía foliar, previamente preparado y calibrado el equipo de aspersión para optimizar su aplicación.

Preparación y calibración de Fitosil.- se utilizó una bomba nebulizadora de motor de 20 L de capacidad. Primeramente se colocó 10 L de agua en el tanque adicionando a esto Fitosil con la ayuda de un vaso dosificador. Al ser distintos tratamientos, se dosificó de la siguiente manera: T1: 25 cc Fitosil, T2: 50 cc Fitosil, T3: 75 cc Fitosil y T4: 100 cc Fitosil.

Finalmente aplicamos 0,5 cc/l de Fijador (Ecuafix) en la solución madre, y aforamos con agua la mezcla a un total de 14,5 litros que corresponderían a

cada tratamiento; esto considerando una aplicación de 400cc de solución por planta, cubriendo la mayor parte de hojas y frutos.

Aplicación de tratamientos.- se aplicó los tratamientos cada 21 días, considerando un ciclo productivo de 6 meses; esto con base a las experiencias del uso de este producto en otros cultivos. Durante el estudio se lograron realizar 9 aplicaciones. El día 1 de Agosto de 2016 se hizo la segunda aplicación de fungicida en conjunto con la tercera aplicación de Fitosil. El fungicida utilizado fue Clorotalonil (Daconil 720 SC) a una dosis de 3,5 cc/L. La tercera aplicación de fungicida se realizó el día 03 de Octubre de 2016 usando la molécula Pyraclostrobin (Comet EC), a una dosis de 2 cc/L en conjunto con la sexta aplicación de Fitosil. Finalmente el día 05 de Diciembre de 2016 se realizó la última aplicación de fungicida y Fitosil, usando nuevamente Clorotalonil (Daconil 720 SC) a una dosis de 3,5 cc/L.

3.3.5.3. Fase de evaluación de tratamientos

Previamente se tomó una línea base de las variables del estudio. Una vez iniciada la investigación, se realizó una medición de variables cada 15 días. Se realizaba una contabilización de chereles y mazorcas enfermas y se procedía a diferenciarlas por tipo de enfermedad (moniliasis, mazorca negra y cherele wilt); seguidamente se contabilizaban las mazorcas sanas. Para la toma de datos respectivo a cada tratamiento, se utilizó el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Matriz para la toma de datos

Información			
Toma de datos N°		Fecha	
TTO		Descripción	
Datos			
# Mazorcas sanas (M)			
# Chereles sanos (C)			
# Mazorcas con Moniliasis (m)			
# Mazorcas con Mazorca negra (n)			
# Chereles con Cherele Wilt (c)			

En total se hicieron 12 muestreos durante los seis meses del estudio. Una vez culminada la investigación, se hizo una segunda toma de muestras foliares (28/12/2016) para evaluar los contenidos de silicio en cada tratamiento. Se tomaron 5 muestras foliares correspondientes a los 5 tratamientos. Las hojas se tomaron de cada planta central (muestra) de todas las repeticiones. Los resultados de este análisis fueron recibidos el 10 de Enero de 2017 y están representados en la Tabla 8.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis químico de suelo

Tabla 7. Análisis químico inicial del suelo

Elemento	Unidad	Rango normal para cacao	Valor inicial
Nitrógeno total (N)	mg/kg	18 - 30	19,80
Fosforo (P)	mg/kg	16 - 25	7,80
Potasio (K)	mg/kg	90 - 160	49,50
Magnesio (Mg)	mg/kg	40 - 100	49,70
Calcio (Ca)	mg/kg	300 - 800	200,00
Azufre (S)	mg/kg	10 - 15	3,50
Silicio (Si)	mg/kg	-	11,90
Hierro (Fe)	mg/kg	11 - 25	52,20
Manganeso (Mn)	mg/kg	6 - 30	4,80
Cobre (Cu)	mg/kg	0,9 - 4,0	3,70
Zinc (Zn)	mg/kg	1,1 - 6,0	2,20
Boro (B)	mg/kg	0,15 - 0,60	0,20
Sodio (Na)	mg/kg	< 140	2,90
Cloruro (Cl)	mS/cm	< 210	6,50
pH (en KCl)		5,8 - 7,0	5,4

Laboratorio: Agrarprojekt S.A. Certificado por: Dr. Karl Sponagel

En nuestro primer análisis químico de suelo realizado el 16 de mayo 2016, encontramos un contenido total de silicio soluble en la solución del suelo de 11,9 mg/kg. Se observa deficiencia de macronutrientes como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y azufre (S). En micronutrientes, se encontró deficiencia en manganeso (Mn) y un exceso en hierro (Fe). Por último notamos una leve deficiencia en el pH del suelo (5,4) con respecto al rango recomendado para cacao.

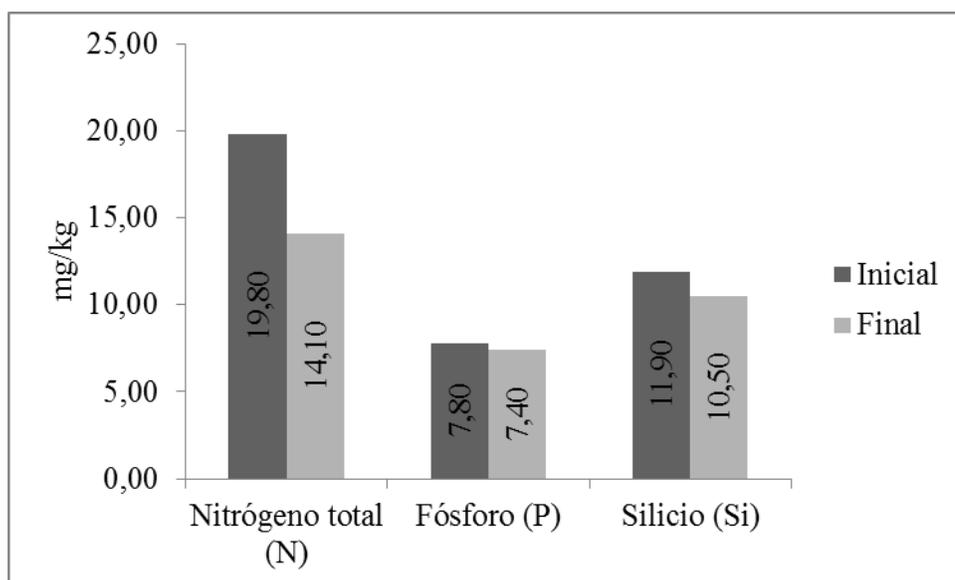
Tabla 8. Análisis inicial vs análisis final de suelo

Elemento	Unidad	Análisis inicial	Análisis final
Nitrógeno total (N)	mg/kg	19,80	14,10
Fosforo (P)	mg/kg	7,80	7,40
Potasio (K)	mg/kg	49,50	83,00
Magnesio (Mg)	mg/kg	49,70	58,50
Calcio (Ca)	mg/kg	200,00	275,00
Azufre (S)	mg/kg	3,50	3,60
Silicio (Si)	mg/kg	11,90	10,50
Hierro (Fe)	mg/kg	52,20	83,50
Manganeso (Mn)	mg/kg	4,80	7,50
Cobre (Cu)	mg/kg	3,70	5,80
Zinc (Zn)	mg/kg	2,20	4,70
Boro (B)	mg/kg	0,20	0,25
Sodio (Na)	mg/kg	2,90	5,10
Cloruro (Cl)	mS/cm	6,50	11,20
pH (en KCl)		5,4	5,4

Laboratorio: Agrarprojekt S.A. Certificado por: Dr. Karl Sponagel

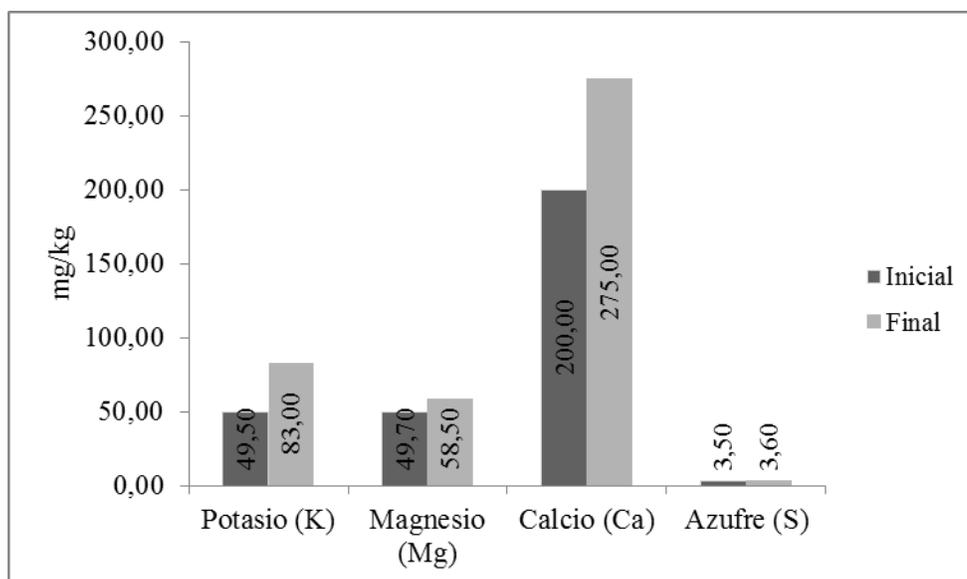
Seis meses después realizamos otro análisis químico de suelo, donde se observa un consumo de silicio de 1,4 mg/kg en relación al valor inicial (11,9 mg/kg). También se observa consumo de los macronutrientes nitrógeno y fósforo (Gráfico 1). En los macronutrientes potasio, magnesio y azufre se observan incrementos considerables; se supone que estos valores estarían relacionados a la aplicación de fertilizantes edáficos utilizados al inicio del ensayo. En cuanto al calcio, se presentó un incremento de 75,00 mg/kg, siendo esto considerable debido a la variabilidad de la muestra y los contenidos aportados por la acumulación de hojarasca. El pH de la solución del suelo se mantiene.

Gráfico 1. Comparación de contenidos de N, P, Si en suelo. Análisis inicial y final



En el presente gráfico pudimos apreciar que el consumo de estos elementos es bajo. Sin embargo este consumo es de esperarse en N y P, puesto que son requeridos en gran demanda por la planta. Debido a la época del año en la que hubo menor humedad en el suelo, y por consiguiente poca movilidad de nutrientes en la planta. Sería interesante comparar este consumo en relación a la época lluviosa.

Gráfico 2. Comparación de contenidos de K, Mg, Ca y S en el suelo. Análisis inicial y final



El presente gráfico nos refleja los valores iniciales y finales del análisis de laboratorio. Los valores aportados vía fertilización edáfica incrementaron los contenidos de K, Mg y S.

4.2. Análisis foliar

Tabla 9. Análisis foliar inicial

Elemento	Unidad	Rango normal para cacao	T0
Nitrógeno total (N)	%	1.90 – 2.50 %	2,00
Fosforo (P)	%	0.13 – 0.25 %	0,15
Potasio (K)	%	1.30 – 2.20 %	1,66
Magnesio (Mg)	%	0.20 – 0.50 %	0,47
Calcio (Ca)	%	0.90 – 1.20 %	1,43
Azufre (S)	%	0.17 - 0.20 %	0,19
Sodio (Na)	%	0.02 - 0.10 %	0,04
Hierro (Fe)	ppm(mg/kg)	60 – 200 ppm	140,00
Manganeso (Mn)	ppm(mg/kg)	50 – 300 ppm	70,00
Cobre (Cu)	ppm(mg/kg)	8 – 12 ppm	6,70
Zinc (Zn)	ppm(mg/kg)	20 – 100 ppm	149,00
Boro (B)	ppm(mg/kg)	25 – 70 ppm	48,00
Silicio (Si)	ppm(mg/kg)	-	136

Laboratorio: Agrarprojekt S.A. Certificado por: Dr. Karl Sponagel

En el primer análisis foliar realizado, el contenido de silicio en hojas fue de 136 ppm. En los macronutrientes se obtuvo valores que se encuentran dentro del rango normal para cacao, a excepción del calcio que se encuentra por encima del rango (>1,20%). Los contenidos en micronutrientes fueron aceptables según el rango establecido. El cobre se encontró en deficiencia (6,70 ppm) y el Zinc por encima del rango establecido (149 ppm) para el cultivo.

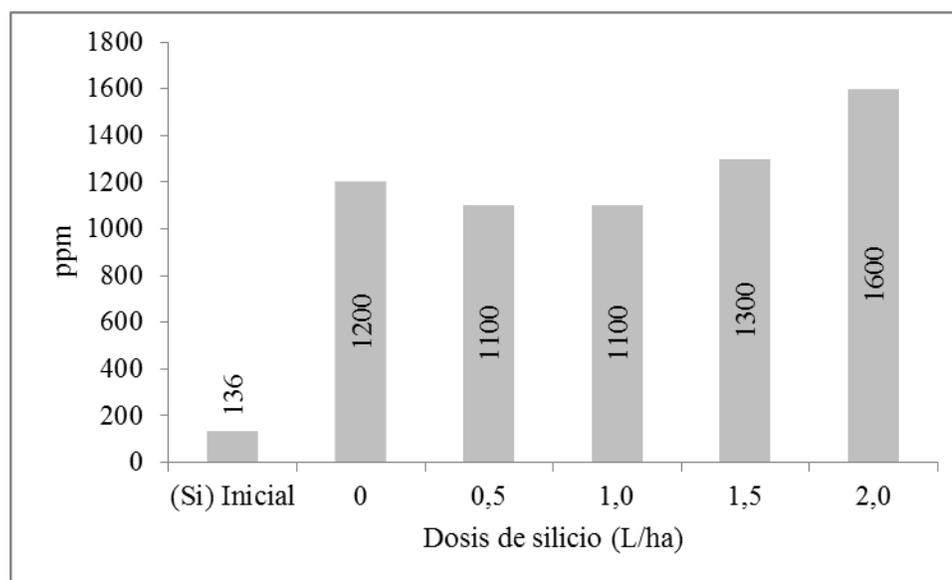
Tabla 10. Análisis foliar inicial vs tratamientos aplicados

Elemento	Unidad	Análisis foliar inicial	T0	T1	T2	T3	T4
Nitrógeno total (N)	%	2,00	1,94	2,06	2,01	2,06	1,98
Fosforo (P)	%	0,15	0,16	0,17	0,11	0,11	0,12
Potasio (K)	%	1,66	0,97	1,19	0,55	0,70	0,82
Magnesio (Mg)	%	0,47	0,53	0,50	0,46	0,50	0,52
Calcio (Ca)	%	1,43	1,91	1,60	2,50	2,58	2,52
Azufre (S)	%	0,19	0,19	0,18	0,14	0,18	0,18
Sodio (Na)	%	0,04	0,04	0,07	0,03	0,04	0,04
Hierro (Fe)	ppm(mg/kg)	140,00	120,00	135,00	110,00	120,00	125,00
Manganeso (Mn)	ppm(mg/kg)	70,00	108,00	75,60	144,00	123,00	97,20
Cobre (Cu)	ppm(mg/kg)	6,70	7,40	12,30	4,90	5,60	5,00
Zinc (Zn)	ppm(mg/kg)	149,00	61,60	48,60	31,40	47,20	53,80
Boro (B)	ppm(mg/kg)	48,00	51,40	53,40	60,80	53,80	56,00
Silicio (Si)	ppm(mg/kg)	136	1200	1100	1100	1300	1600

Laboratorio: Agrarprojekt S.A. Certificado por: Dr. Karl Sponagel

Con los resultados del informe emitido el 10 de enero de 2017, se indica el porcentaje de Silicio (Si) en materia de base seca para hojas de cacao los valores de 1200 ppm en T0, 1100 ppm para T1 y T2, 1300 ppm en T3 y 1600 ppm en T4.

Gráfico 3. Comparación del contenido foliar de silicio inicial vs tratamientos



Se observa una concentración normal para el elemento nitrógeno con valores que oscilan entre 1,94% a 2,06%. Se puede apreciar un consumo de N uniforme dentro de

todos los tratamientos. Al ser un nutriente en alta demanda, su consumo está determinado por la edad y época fisiológica del cultivo.

Gráfico 4. Comparación del contenido de N foliar inicial vs tratamientos

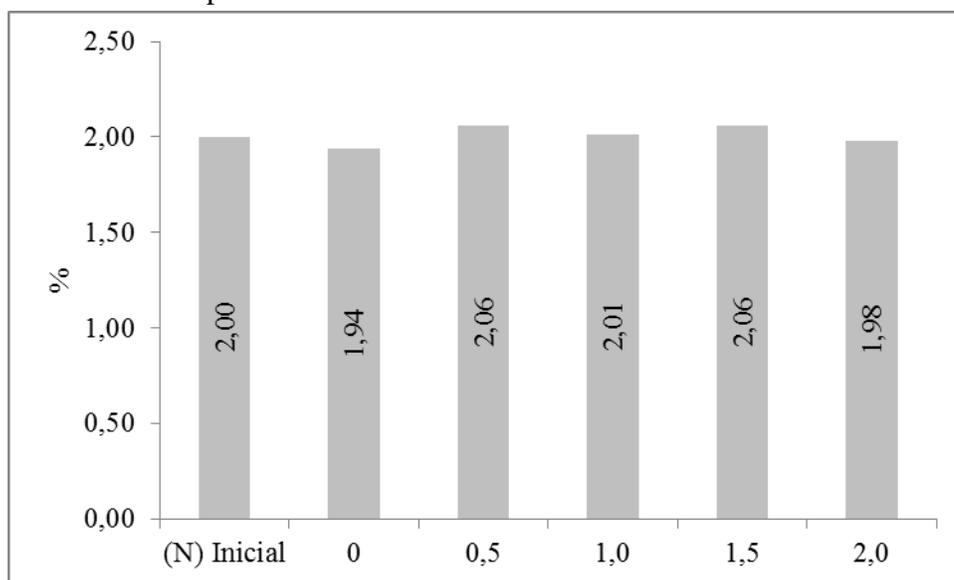
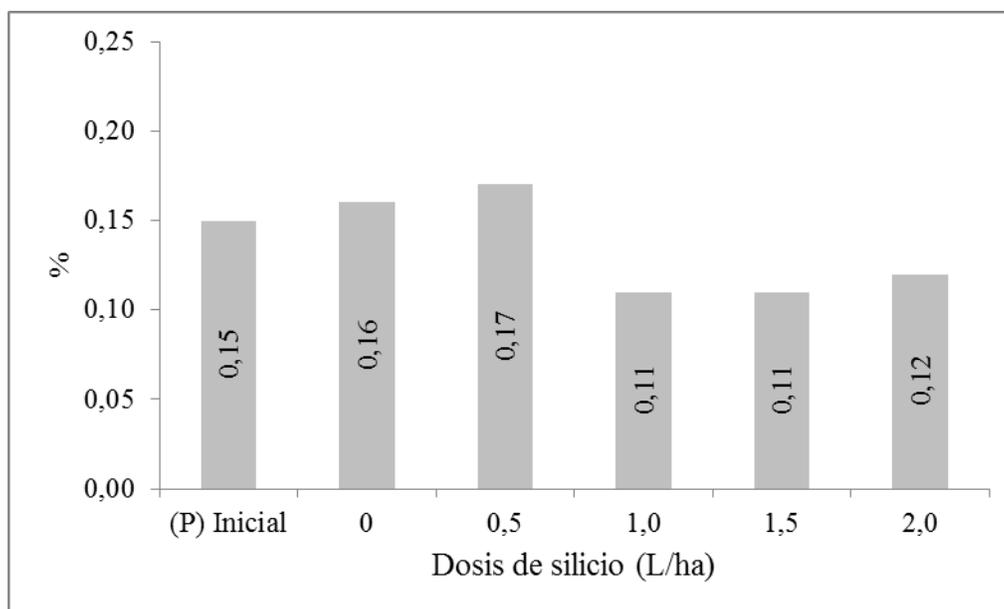
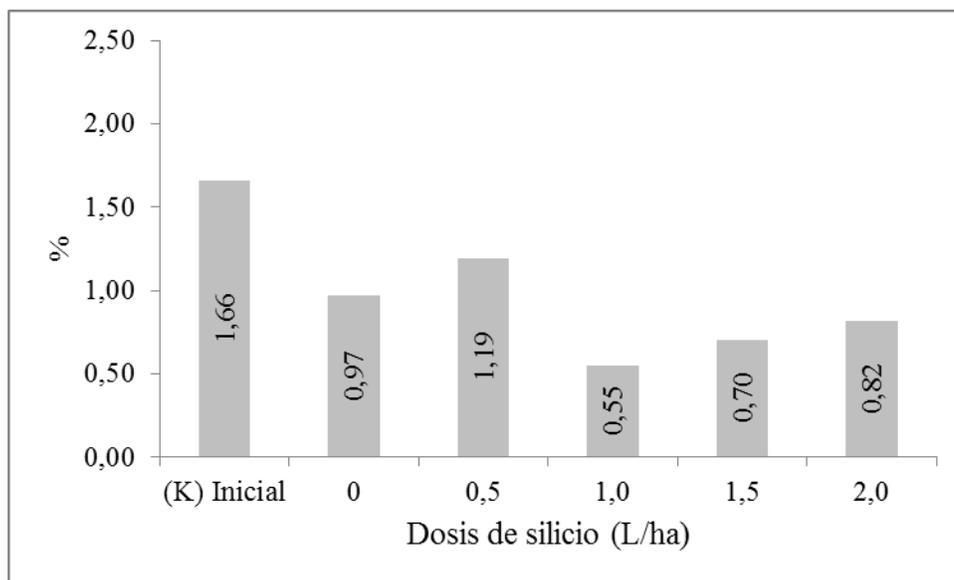


Gráfico 5. Comparación del contenido foliar de P inicial vs tratamientos



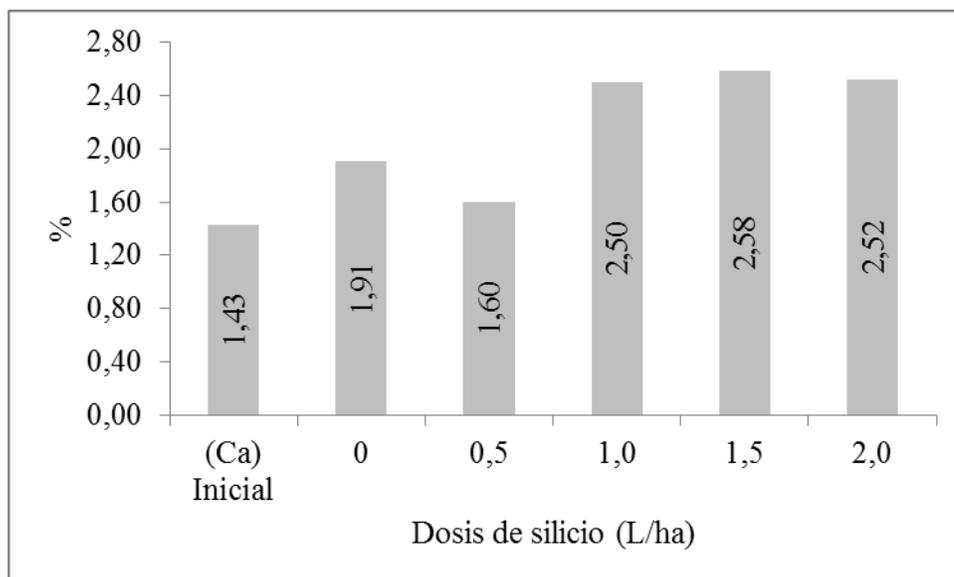
En este gráfico, podemos observar que el consumo de fósforo en T2, T3 y T4 es más bajo en relación a T0 y T1. Los contenidos de fósforo disminuyeron a medida que se incrementaron las dosis de silicio foliar.

Gráfico 6. Comparación del contenido foliar de K inicial vs tratamientos



Se observa un consumo de potasio en todos los tratamientos. Este consumo está relacionado a la extracción del nutriente debido a los procesos de formación y maduración de mazorcas en el transcurso del ensayo.

Gráfico 7. Comparación del contenido inicial de Ca foliar vs tratamientos



En el caso del calcio, los contenidos se encuentran en exceso puesto que sus contenidos sobrepasan el rango normal que requiere el cultivo. Basándose en la teoría expuesta por Ma y Takahashi (2002) citado por Álvarez y Osorio (2014), el cacao al

ser una especie dicotiledónea, tiene la particularidad de acumular mayor contenido de calcio en relación al contenido de silicio en tejidos. Caso contrario ocurre con monocotiledóneas, donde el contenido de silicio es mayor que el calcio.

4.3. Mazorcas sanas

En la tabla 11 se indican los 12 monitoreos correspondientes a cada muestreo, que en contexto es el periodo en que se evaluó el estudio con sus respectivas variables. A partir de la séptima fecha de muestreo (04/10/2016) hasta la fecha 12 (18/12/2016), se observan diferencias significativas entre tratamientos (dosis de silicio). Considerando que los tratamientos se aplicaron durante un periodo de seis meses, los efectos relacionados a sanidad de la mazorca se observaron a partir de los cuatro meses de iniciado las aplicaciones de silicio, los mismos que se mantuvieron hasta la finalización del ensayo.

Tabla 11. Resumen del ADEVA mazorcas sanas durante el estudio

Fuentes de variación	G. L.	Cuadrados medios											
		1.-	2.-	3.-	4.-	5.-	6.-	7.-	8.-	9.-	10.-	11.-	12.-
Bloque	3	3,21	1,63	0,65	0,82	1,37	3,53	1,46	2,92	7,61	11,10	9,76	7,80
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**
Dosis de silicio	4	2,76	2,57	1,06	0,62	0,30	0,84	1,35	7,09	12,69	11,35	9,38	8,36
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	ns
Error	12	6,82	7,36	4,89	3,04	1,77	2,94	0,43	1,86	2,20	2,29	2,20	2,16
Total	19												
CV		39,56	37,59	31,03	26,15	21,82	30,77	11,70	25,99	33,92	38,54	36,94	35,40

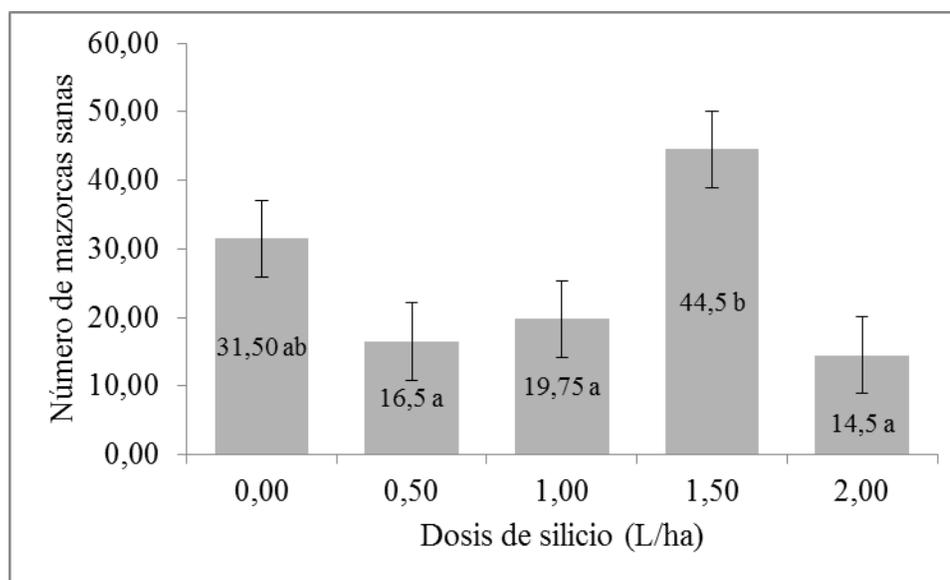
El ADEVA del número de mazorcas sanas de la octava fecha obtuvo un p-valor de 0,03, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta que usando distintas dosis de silicio aplicados vía foliar logran una diferencia significativa sobre el número de mazorcas sanas, por lo tanto, la aplicación de silicio al follaje si ejerce acción en la sanidad de la mazorca.

Tabla 12. ADEVA del número de mazorcas sanas de la octava fecha de muestreo

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	p-valor
Bloque	8,75	3	2,92	1,57	0,25 ns
Dosis de silicio	28,36	4	7,09	3,82	0,03 *
Error	22,26	12	1,86		
Total	59,37	19			
CV	25,99				

La prueba de significancia según Duncan al 0,05%, aplicada para el número de mazorcas sanas en la octava fecha de muestreo, demuestran que el valor de la media de T3 (1,5 L/ha) es de 44,5 mazorcas. Seguidamente se obtuvieron los siguientes promedios: 31,50 en T0, 19,75 en T2 y 16,5 en T1 siendo estos estadísticamente iguales. T4 (2,0 L/ha) con 14,5 mazorcas sanas, siendo este el tratamiento de menor efecto frente a las aplicaciones foliares de silicio.

Gráfico 8. Análisis del promedio de mazorcas sanas de la octava fecha de muestreo



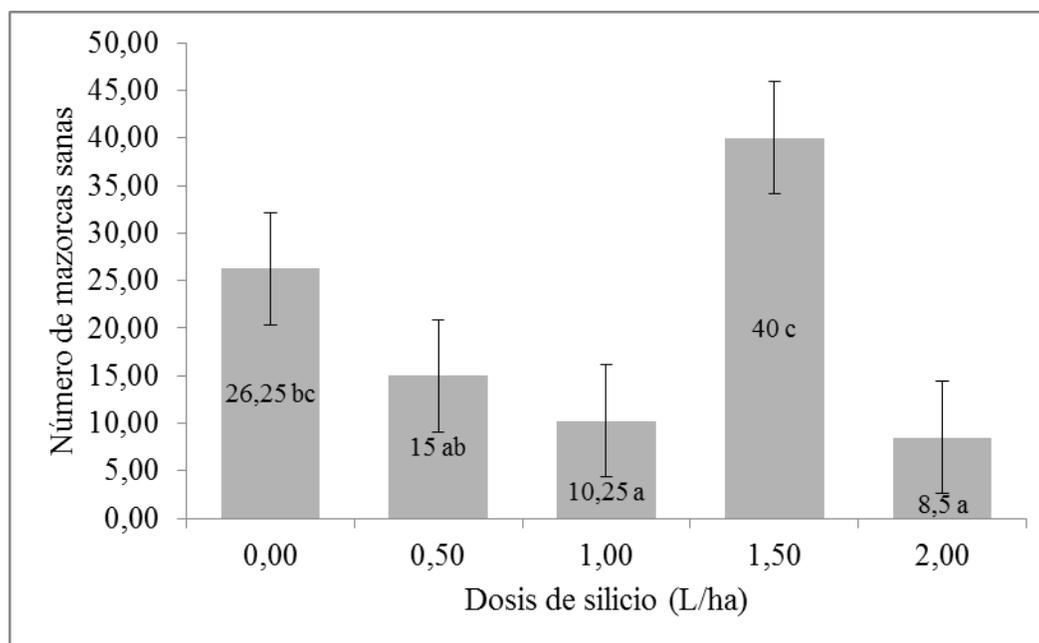
El ADEVA del número de mazorcas sanas de la novena fecha obtuvo un p-valor de 0,01. De igual manera se acepta que al usar distintas dosis de silicio aplicado vía foliar, se logra una diferencia significativa entre tratamientos.

Tabla 13. ADEVA del número de mazorcas sanas de la novena fecha de muestreo

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	p-valor
Bloque	22,84	3	7,61	3,46	0,051 ns
Dosis de silicio	50,77	4	12,69	5,77	0,003 *
Error	26,37	12	2,2		
Total	99,98	19			
CV	33,92				

La prueba de significancia según Duncan al 0,05%, aplicada en la novena fecha de muestreo, demuestra que T3 obtuvo una media de 40 mazorcas sanas por tratamiento, que es estadísticamente igual con los promedios de T0 (26,25). Los tratamientos con promedios más bajos son T1 (15), T2 (10,25) y T4 (8,5).

Gráfico 9. Análisis del promedio de mazorcas sanas de la novena fecha de muestreo



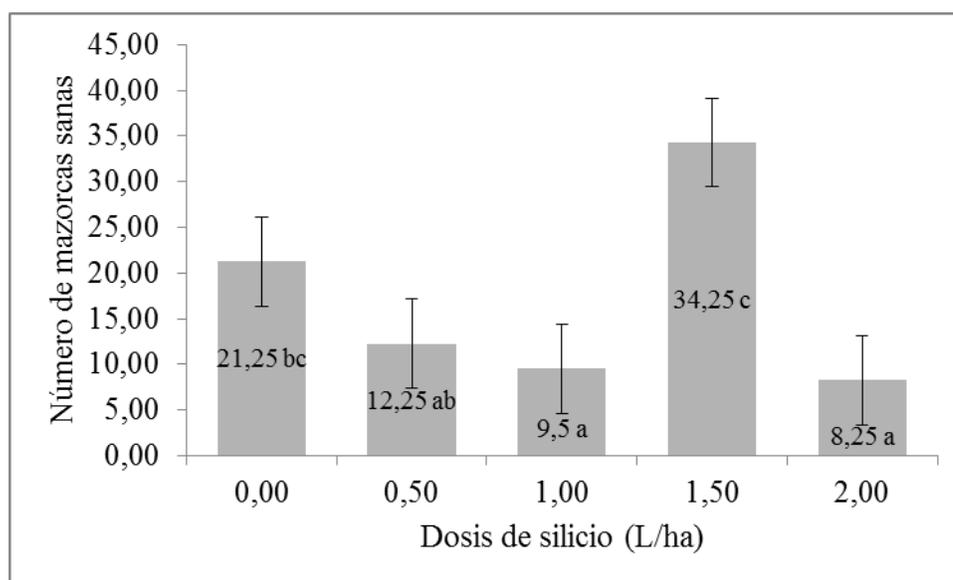
El ADEVA calculado para la décima fecha de muestreo, demuestra un p-valor de 0,01 para el factor de estudio dosis de silicio, por lo tanto se obtienen diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 14. ADEVA del número de mazorcas sanas de la décima fecha de muestreo

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	p-valor
Bloque	33,29	3	11,1	4,85	0,02 **
Dosis de silicio	45,39	4	11,35	4,96	0,01 **
Error	27,46	12	2,29		
Total	106,14	19			
CV	38,54				

La prueba de significancia de Duncan al 0,05%, aplicada en la décima fecha de muestreo, demuestra que T3 se mantiene con la media más alta de 34,25 mazorcas sanas, pero así mismo es estadísticamente igual con el promedio de T0 (21,25). El testigo es estadísticamente igual con T1 (12,25). Los tratamientos con promedios más bajos son T2 (9,5) y T4 (8,25).

Gráfico 10. Análisis del promedio de mazorcas sanas de la décima fecha de muestreo



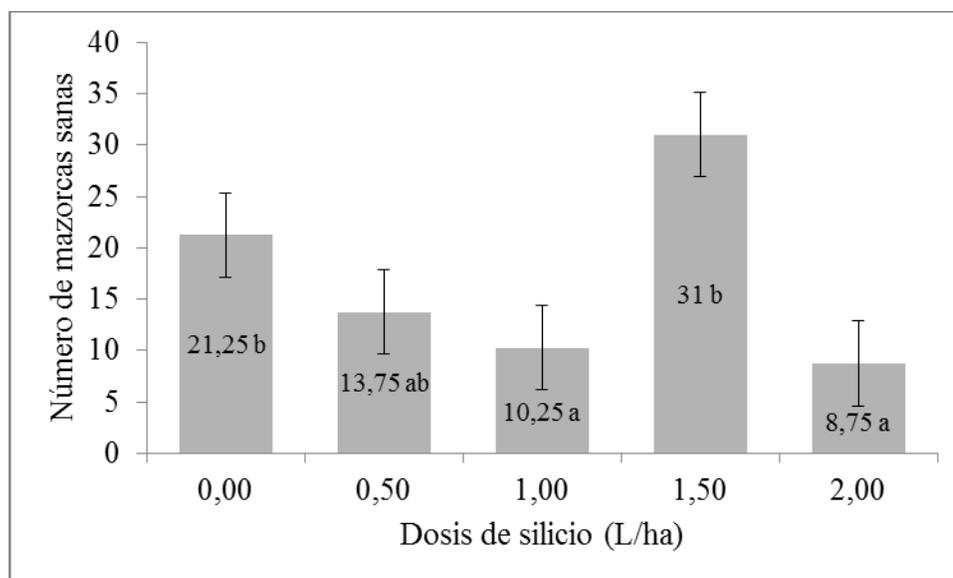
Por último, se calculó el ADEVA para la onceava fecha de muestreo, y encontramos un p-valor de 0,02 en el factor dosis de silicio, aprobándose la hipótesis de que la aplicación foliar de silicio ejerce acción sobre la sanidad de las mazorcas.

Tabla 15. ADEVA del número de mazorcas sanas de la onceava fecha de muestreo

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	p-valor
Bloque	29,27	3	9,76	4,42	0,02 **
Dosis de silicio	37,53	4	9,38	4,26	0,02 **
Error	26,46	12	2,2		
Total	93,25	19			
CV	36,94				

En la prueba de significancia según Duncan al 0,05%, aplicada en la onceava fecha de muestreo, T3 obtuvo la media más alta con 31 mazorcas sanas. Por cuarta vez consecutiva la dosis de 1,5 L/ha (T3) presenta los mejores promedios con relación a los otros tratamientos dentro de la variable número de mazorcas sanas. No obstante, esta es estadísticamente igual a los promedios de T0 (21,25) y T1 (13,75). Los tratamientos con promedios más bajos son T2 (10,25) y T4 (8,75).

Gráfico 11. Análisis del promedio de mazorcas sanas de la onceava fecha de muestreo



4.4. Chereles sanos

En la tabla 16 tenemos el resumen de ADEVA para la variable número de chereles sanos. Podemos observar que el p-valor, distingue diferencias significativas en las fechas 7 y 8 de los muestreos.

Tabla 16. Resumen del ADEVA de chereles sanos durante el tratamiento

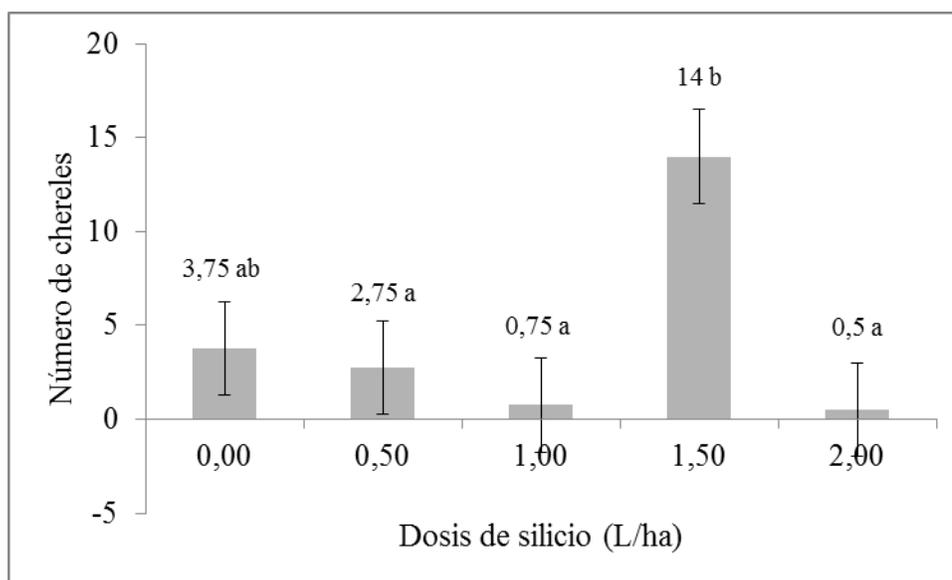
Fuentes de variación	G. L.	Cuadrados medios											
		1.-	2.-	3.-	4.-	5.-	6.-	7.-	8.-	9.-	10.-	11.-	12.-
Bloque	3	0,69	2,41	0,10	0,05	1,31	6,10	1,53	0,15	0,78	1,30	2,33	1,96
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Dosis de silicio	4	1,33	0,39	0,10	0,20	0,83	8,14	6,16	0,11	0,10	0,18	1,42	0,42
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	ns
Error	12	3,97	1,21	0,10	0,13	0,62	2,62	1,36	0,28	0,89	0,93	0,90	0,66
Total	19												
CV		60,73	67,70	54,92	56,18	49,42	55,98	60,33	47,87	89,27	58,03	55,46	43,96

Tabla 17. ADEVA del número de chereles sanos de la séptima fecha de muestreo

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	p-valor
Bloque	4,59	3	1,53	1,12	0,38 ns
Dosis de silicio	24,65	4	6,16	4,52	0,02 **
Error	16,35	12	1,36		
Total	45,59	19			
CV	60,33				

La prueba de significancia según Duncan al 0,05% aplicada en la séptima fecha de muestreo, demuestra que T3 (1,5 L/ha) obtuvo el promedio mayor con un valor de 14 chereles sanos. Sin embargo, este es estadísticamente igual a T0 (3,75). Los tratamientos con promedios más bajos y estadísticamente iguales son T1 (2,75), T2 (0,75) y T4 (0,5).

Gráfico 12. Análisis del promedio de chereles sanos de la séptima fecha de muestreo



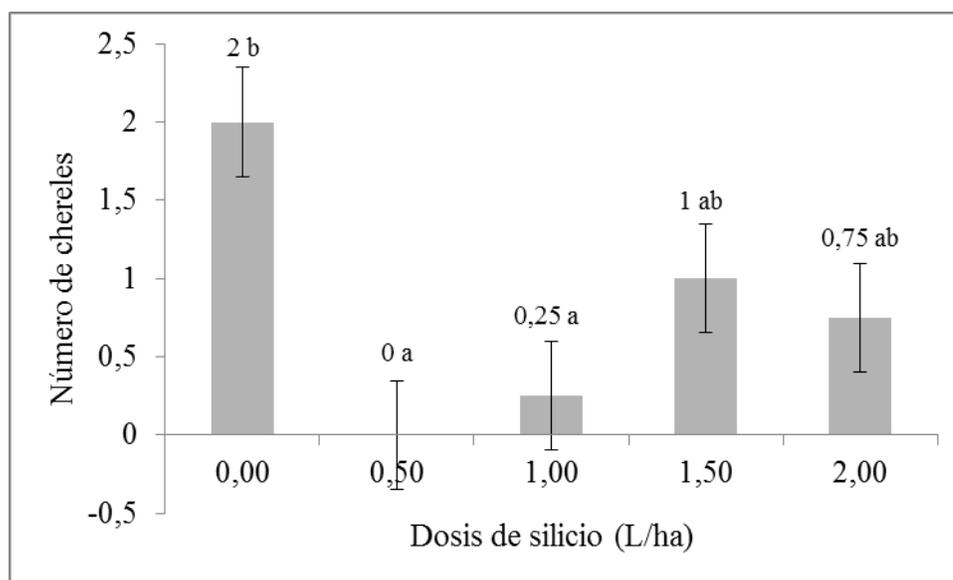
En la tabla 18 podemos observar un p-valor de 0,03, por lo tanto existe diferencias significativas en el factor de estudio (dosis de silicio).

Tabla 18. ADEVA del número de chereles sanos de la octava fecha de muestreo

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	p-valor
Bloque	0,44	3	0,15	0,52	0,68 ns
Dosis de silicio	4,43	4	1,11	3,92	0,03 **
Error	3,39	12	0,28		
Total	8,26	19			
CV	47,87				

La prueba de significancia según Dunca al 0,05% aplicada en la octava fecha de muestreo, indica que T0 (1,5 L/ha) cuenta con una media de 2 chereles sanos. Sin embargo, son estadísticamente iguales los valores de T3 (1) y T4 (0,75) incluyendo a T0. Los tratamientos con promedios más bajos y estadísticamente iguales son T2 (0,25) y T1 (0).

Gráfico 13. Análisis del promedio de chereles sanos de la octava fecha de muestreo



4.5. Incidencia de Moniliasis

Según el análisis de varianza obtenido para la incidencia de moniliasis, los valores de probabilidad no son menores a p-valor (0,05), por lo tanto no existen diferencias significativas para los porcentajes de incidencia de la enfermedad, frente a la aplicación foliar de silicio.

Tabla 19. Resumen del ADEVA de incidencia de moniliasis durante el tratamiento

Fuentes de variación	G. L.	Cuadrados medios											
		1.-	2.-	3.-	4.-	5.-	6.-	7.-	8.-	9.-	10.-	11.-	12.-
Bloque	3	0,30	0,43	0,80	1,16	3,22	2,09	0,31	0,20	0,09	0	0,48	1,27
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0	ns	**
Dosis de silicio	4	0,65	0,58	0,59	0,51	2,49	0,48	0,53	0,20	0,09	0	1,45	0,21
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0	ns	ns
Error	12	2,10	0,95	0,64	2,89	1,72	4,53	2,49	0,20	0,09	0	0,48	0,21
Total	19												
CV		99,59	83,52	63,05	82,31	51,58	65,98	116,9	74,54	52,85	0	90,44	61,41

Los valores correspondientes al ADEVA de la fecha 10 de muestreo, son igual a 0 debido a que no hubo mazorcas infectadas por moniliasis para esta fecha. A

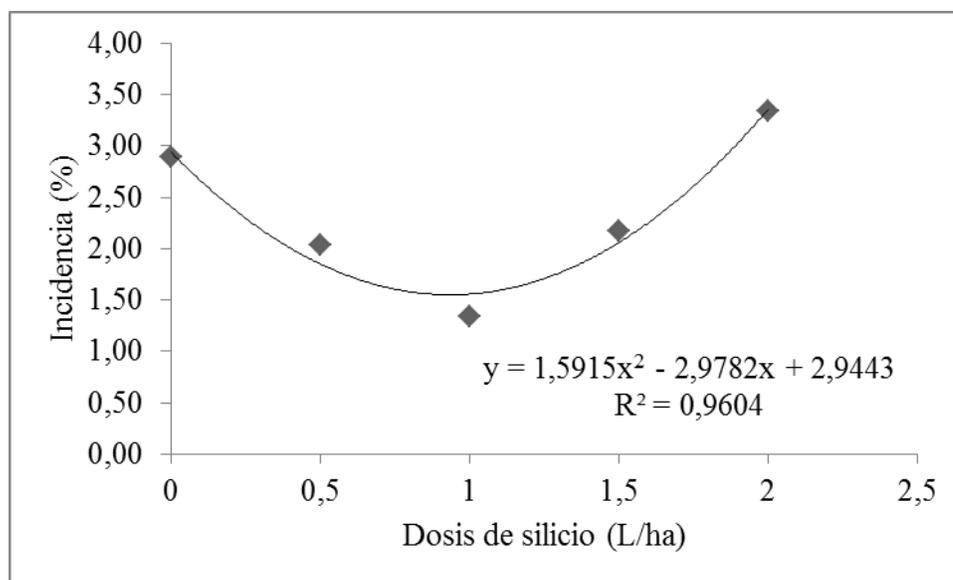
continuación se indican los porcentajes de incidencia de cada fecha de muestreo para esta enfermedad:

Tabla 20. Porcentajes de incidencia de moniliasis

		Fecha de muestreo												Promedio
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Tratamiento	T0	1,44	2,40	0,58	9,52	5,56	10,29	1,49	0,00	0,00	0,00	3,41	0,00	2,89
	T1	1,26	4,08	1,65	5,12	5,11	4,79	2,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,03
	T2	1,23	0,53	1,59	2,15	1,26	5,93	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,34
	T3	0,97	0,71	1,33	5,19	7,09	7,81	1,52	0,00	0,61	0,00	0,00	0,81	2,17
	T4	2,17	1,82	2,28	3,57	7,93	12,60	5,68	1,69	0,00	0,00	0,00	2,27	3,33

Podemos observar que el valor promedio más bajo fue para T2 con 1,34% de incidencia de moniliasis durante todo el ensayo, seguido por los porcentajes 2,03% (T1), 2,17% (T3) y 2,89% (T0). El promedio más alto fue para T4 con un 3,44% de incidencia de moniliasis durante el ensayo.

Gráfico 14. Análisis de regresión de moniliasis vs tratamientos



4.6. Incidencia de mazorca negra

Conforme al análisis de varianza realizado para la variable incidencia de mazorca negra, se concluye que según el p-valor no existen diferencias significativas, por lo que no se efectuó ninguna comparación respectiva.

Tabla 21. Resumen del ADEVA de incidencia de mazorca negra durante el tratamiento

Fuentes de variación	G. L.	Cuadrados medios											
		1.-	2.-	3.-	4.-	5.-	6.-	7.-	8.-	9.-	10.-	11.-	12.-
		1,97	1,06	0,88	0,26	2,96	1,66	0,76	2,57	1,11	2,54	3,16	3,63
Bloque	3	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Dosis de silicio	4	0,75	1,54	1,70	3,04	2,04	1,67	0,78	2,06	1,01	1,99	4,22	2,38
Error	12	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Total	19	0,45	0,93	1,92	3,62	2,43	3,27	2,83	1,92	1,5	2,27	1,69	4,61
CV		64,15	68,29	67,2	84,68	51,18	69,2	103,5	135,9	118,3	125	97,74	125,6

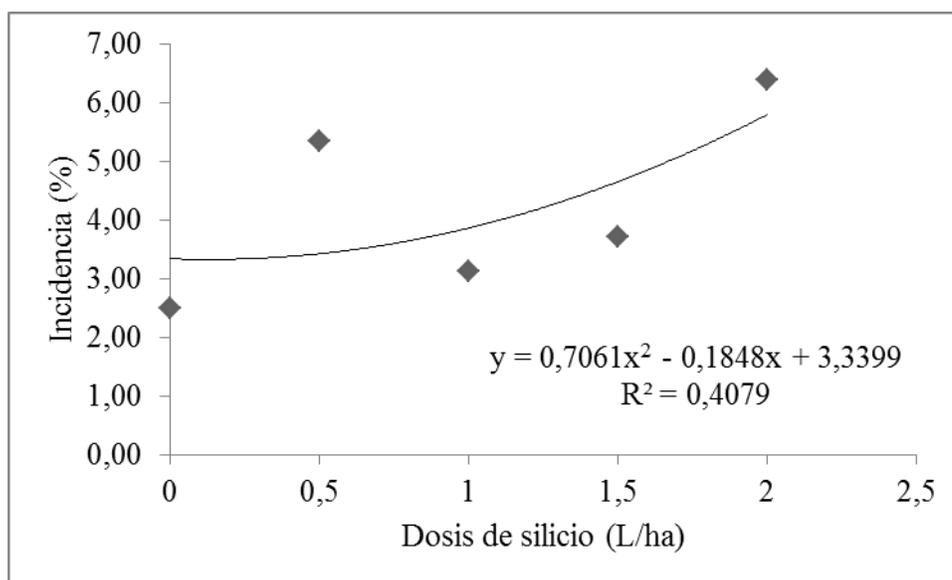
A continuación se indican los porcentajes de incidencia de cada fecha de muestreo para la enfermedad mazorca negra:

Tabla 22. Porcentajes de incidencia de mazorca negra

		Fecha de muestreo												Promedio
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Tratamiento	T0	2,16	2,40	2,89	1,19	6,94	2,94	2,99	2,33	1,87	3,41	0,00	0,97	2,51
	T1	3,78	7,14	6,61	8,84	15,91	5,48	3,97	2,94	0,00	3,92	1,79	3,64	5,33
	T2	0,62	3,19	4,76	4,30	8,81	10,17	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	4,65	3,13
	T3	0,00	0,71	2,00	2,96	6,30	5,47	1,52	0,00	2,42	7,43	10,14	5,65	3,72
	T4	0,43	0,73	8,37	21,88	10,98	5,51	6,82	0,00	2,86	0,00	5,41	13,64	6,38

Encontramos el menor promedio en T0 con un valor de 2,51% de incidencia por mazorca negra. A este promedio le siguen en orden los valores de 3,13% (T2), 3,72% (T3), 5,33%(T1) y el promedio con mayor incidencia fue para T4 con 6,38% de incidencia de mazorca negra.

Gráfico 15. Análisis de regresión de mazorca negra vs tratamientos



4.7. Incidencia de cherele wilt

Por último tenemos como resultado un ADEVA para la incidencia de cherele wilt, valores con diferencias no significativas. Los valores correspondientes al ADEVA de la fecha 6 de muestreo, son igual a 0 debido a que no hubo chereles enfermos para cuya fecha.

Tabla 23. Resumen del ADEVA de cherele wilt durante el tratamiento

Fuentes de variación	G. L.	Cuadrados medios											
		1.-	2.-	3.-	4.-	5.-	6.-	7.-	8.-	9.-	10.-	11.-	12.-
Bloque	3	7,27	17,35	18,33	2,50	7,81	0	4,57	9,22	4,74	10,47	4,01	11,99
Dosis de silicio	4	4,89	10,90	20,00	2,50	4,61	0	4,72	1,02	5,22	4,88	4,96	8,42
Error	12	6,72	12,36	10	2,5	8,46	0	5,3	21,85	7,15	4,88	8,79	13,55
Total	19												
CV		69,74	129,82	158,11	185,23	184,42	0	211,72	133,3	207,46	180,58	199,97	154,43

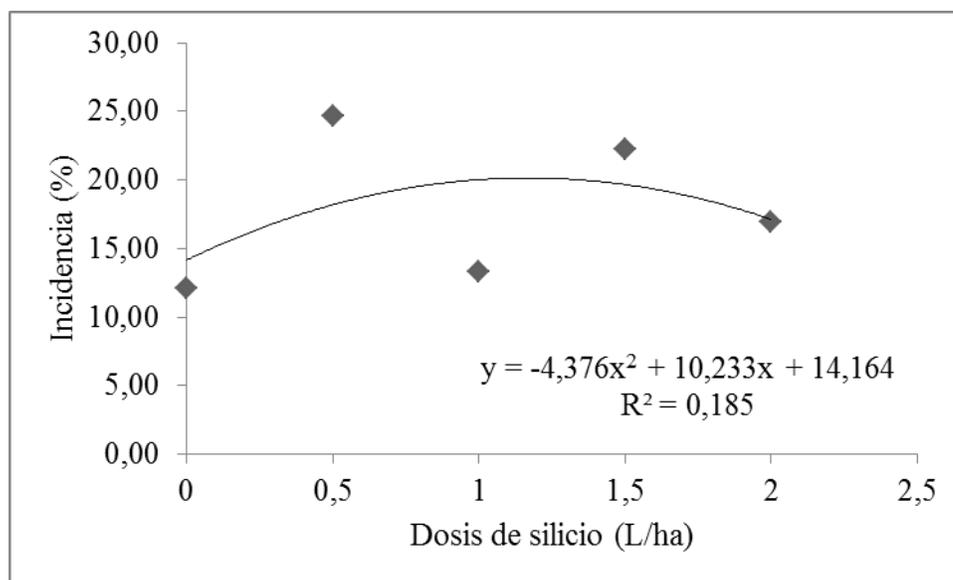
A continuación se indican los porcentajes de incidencia de cada fecha de muestreo para la enfermedad cherele wilt:

Tabla 24. Porcentajes de incidencia de cherele wilt

		Fecha de muestreo												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Promedio
Tratamiento	T0	14,29	26,67	0,00	0,00	7,14	0,00	0,00	33,33	20,00	9,09	14,29	20,00	12,07
	T1	5,56	0,00	100,00	0,00	16,67	0,00	8,33	100,00	20,00	0,00	25,00	20,00	24,63
	T2	14,29	25,00	0,00	33,33	20,00	0,00	0,00	66,67	0,00	0,00	0,00	0,00	13,27
	T3	17,39	37,50	100,00	0,00	0,00	0,00	1,75	33,33	50,00	10,00	4,17	12,50	22,22
	T4	7,25	5,26	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00	0,00	0,00	41,18	16,97

Podemos observar que para T1 se encontró el mayor promedio con 24,63% de incidencia de cherele wilt, seguido muy cerca por T3 con 22,22%. Después encontramos los valores de 16,97% (T4), 13,27% (T2) y 12,07% para el testigo, siendo este el promedio más bajo de incidencia de cherele wilt.

Gráfico 16. Análisis de regresión de incidencia de cherele wilt vs tratamientos

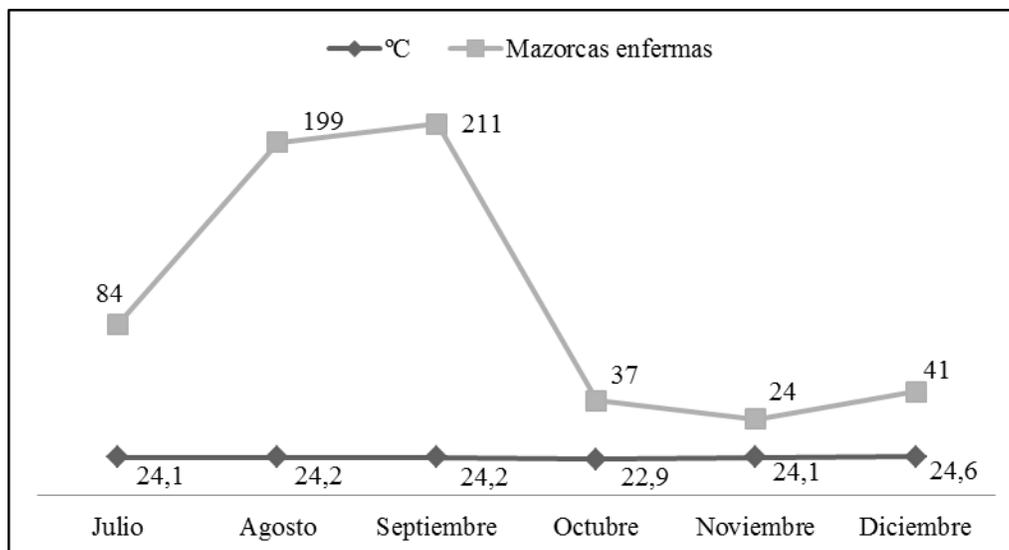


4.8. Mazorcas enfermas vs temperatura

Los valores correspondientes a temperatura fueron extraídos de los boletines climatológicos de Santo Domingo de los Tsáchilas (Zona 4), emitidos por Magap. Los valores de temperatura son promedios recolectados de las estaciones meteorológicas Puerto Ila, La concordia y Santo Domingo, del Instituto nacional de meteorología e hidrología (INAMHI). A continuación se expresa el número de

mazorcas enfermas relacionadas a la temperatura en el periodo Julio–Diciembre 2016, transcurso de duración de la investigación.

Gráfico 17. Mazorcas enfermas vs temperatura periodo Julio-Diciembre 2016

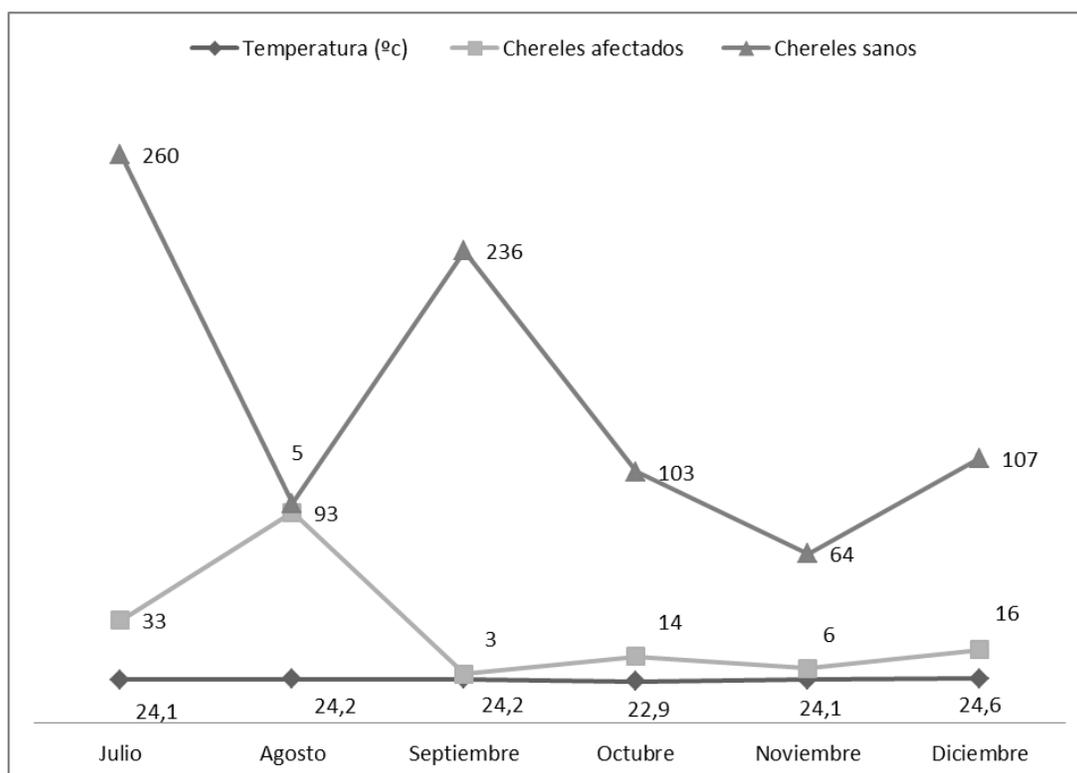


La temperatura en Octubre fue la más baja (23 °C) durante el periodo de estudio, con una disminución del 6% en comparación al mes anterior (Septiembre), razón por la cual favoreció a la disminución de enfermedades de la mazorca. En el mes de Noviembre, el número de mazorcas enfermas disminuyó a un total de 24 siendo este el valor más bajo registrado en el ensayo. En el mes de Diciembre se reportó un aumento de la temperatura del 2% en relación al mes de Noviembre, motivo por el cual aumentó el total de mazorcas enfermas a 41.

4.9. Cherele wilt vs temperatura

Es importante mencionar, que la enfermedad cherele wilt está directamente relacionada a la temperatura ambiental, dado que la mayor parte de la marchitez de chereles (quemazón), es provocada por las variaciones bruscas de temperatura que se dan en el día. A continuación se expresa el número de chereles afectados relacionados a la temperatura en el periodo Julio–Diciembre 2016.

Gráfico 18. Chereles vs temperatura periodo Julio-Diciembre 2016



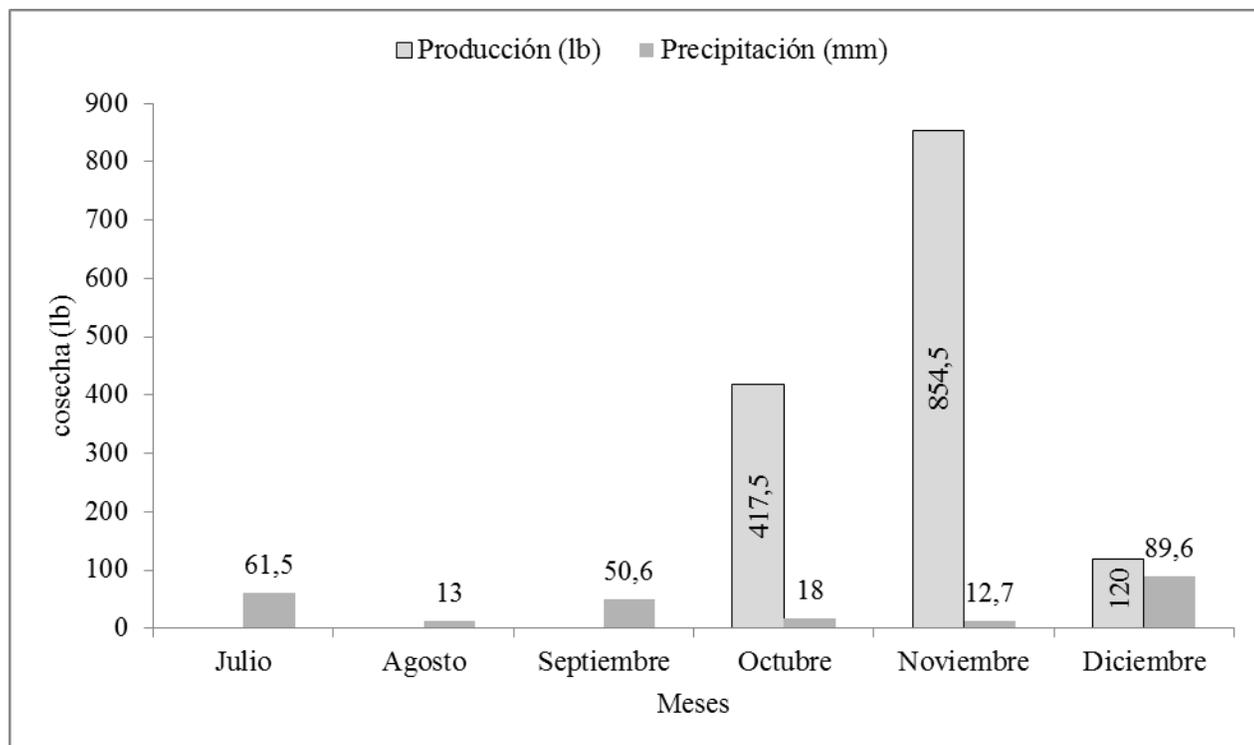
Podemos observar que el mes que registro el menor número de chereles afectados fue Septiembre con una temperatura ambiental promedio de 24,2 °C. Al ocurrir un descenso de temperatura en el mes de Octubre (23 °C), aumento el número de chereles afectados a 14. Nuevamente se registró una disminución de chereles en el mes de Noviembre con una temperatura promedio de 24 °C. Para finalizar el ensayo se encontró un total de 16 chereles afectados en el mes de Diciembre con una temperatura de 24,5 °C.

4.10. Producción vs precipitación

Los valores correspondientes a precipitación, fueron extraídos de los boletines climatológicos de Santo Domingo de los Tsáchilas (Zona 4), emitidos por Magap. Los valores de precipitación son promedios recolectados de las estaciones meteorológicas Puerto Ila, La concordia y Santo Domingo, del Instituto nacional de meteorología e hidrología (INAMHI). A continuación se registra el peso total

cosechado de almendra fresca, y su relación con la precipitación en el periodo Julio–Diciembre 2016.

Gráfico 19. Producción vs precipitación periodo Julio-Diciembre 2016



A partir del mes de Octubre se observa la entrada de la temporada seca con una precipitación promedio de 18 mm. Se logra la primera cosecha con un peso en fresco de 417,5 libras en Octubre. Luego se realizan dos cosechas consecutivas en el mes de Noviembre dando como resultado un peso de 854,5 libras. El cultivo es favorecido en el aspecto fitosanitario por la baja humedad relativa debido a la ausencia de lluvias. Este fue el mes de mayor rendimiento, en relación a todo el periodo de la investigación. Finalmente terminamos con una cosecha de 120 libras en el mes de Diciembre, en el cual ya es evidente la llegada de lluvias con un promedio de 89,6 mm de precipitación para este mes.

4.11. Análisis económico

Tabla 25. Tratamientos vs costo beneficio (USD)

Tratamiento	Tratamientos				
	0	1	2	3	4
Dosis de silicio	0 L/ha	0,5 L/ha	1 L/ha	1,5 L/ha	2 L/ha
Recursos humanos	63	63	63	63	63
Recursos físicos	22,76	26,14	29,51	32,89	36,26
Imprevistos	15	15	15	15	15
Total	100,764	104,139	107,514	110,889	114,264
Cosecha en fresco (lb)	264,5	266,5	296,5	310	254,5
Venta (\$)	111,09	111,93	124,53	130,20	106,89
Costo/beneficio (\$)	10,33	7,79	17,02	19,31	-7,37

La estimación de los costos para la ejecución de los tratamientos, corresponde a los recursos empleados en 180 plantas que corresponderían al total de unidades experimentales de la investigación. El valor por venta de la producción, se la realizó en base al producto cosechado en fresco y comercializado a un valor de 0,42 \$ la libra. La producción está íntimamente relacionada a la cantidad de mazorcas sanas que fueron cosechadas.

Este análisis nos indica una ventaja costo/beneficio de 19,31 \$ en T3 (1,5 L/ha), observando que este fue el valor más rentable encontrándose por encima de los demás tratamientos. Seguidamente está T2 con 17,02 \$, T0 con 10,33 \$ y T1 con 7,79 \$. En T4 se tuvo una pérdida con un valor costo/beneficio de -7,37 \$.

5. DISCUSIÓN

5.1. Análisis de laboratorio

Los resultados de laboratorio, nos indican la dinámica de N y P en el suelo. Al ser nutrientes esenciales y requeridos en gran demanda, su consumo se pronuncia en etapas de fructificación y maduración de frutos. Los elementos K, Mg, Ca y S demostraron un aumento considerable en la solución del suelo. Cabe mencionar que al iniciar el ensayo se realizó una fertilización edáfica, la misma que provocó este aumento en los contenidos nutricionales. Por otro lado, no se observa un consumo considerable por parte del cultivo, debido a que el período de estudio se ejecutó en temporada seca. García (2008) menciona que al existir un déficit de humedad en el suelo se produce una baja disolución y movilidad de los elementos nutrientes dentro de las plantas.

Sin lugar a duda esta investigación nos demuestra la estrecha relación que tiene el cacao con el elemento silicio, sobretodo en la parte aérea de la planta. El contenido de silicio en tejidos foliares de cacao oscila entre 136 ppm y 1600 ppm, evidenciándose un incremento de este contenido en hojas de 1100 ppm en T1 y T2, 1200 ppm en T0, 1300 ppm en T3 y 1600 ppm en T4, esto a medida que se aumenta las dosis de silicio soluble (fitosil). Conforme al rango establecido por Álvarez y Osorio (2014) en la tabla 2, la planta de cacao se considera no acumuladora de silicio, ya que las concentraciones en hojas no sobrepasan los 5000 ppm. Esta característica puede ser confirmada en continuas aplicaciones de silicio soluble a mediano y largo plazo, ya que 6 meses de estudio no son suficientes. Es inexplicable el aumento del contenido de silicio en hojas para T0 (136 ppm a 1200 ppm), no obstante se cree que su incremento está relacionado a la solución foliar en deriva durante las aplicaciones. Álvarez y Osorio (2014) indican que los contenidos de silicio disuelto en suelo y la cantidad del elemento absorbido por las plantas, es muy variable ya que está influenciado por factores relacionados a la meteorización de los minerales, reciclaje de nutrientes aportado por la hojarasca, el tipo y edad de la vegetación circundante.

Aunque no podría afirmar que el silicio cumple con los criterios de esencialidad en el cultivo de cacao, los contenidos de este elemento están en mayor medida (10,50-

11,90 mg/kg) que otros elementos que si son esenciales tales como fosforo, zinc o boro. No obstante, con los contenidos calculados en hojas no se observó una toxicidad por parte del silicio acumulado. Los depósitos de silicio amorfo en hojas (fitolitos) contribuyen con una importante fracción de silicio disponible para las plantas, luego de que la hojarasca se descompone en la superficie del suelo (Álvarez y Osorio, 2014).

No olvidemos la importancia que tiene el pH del suelo, ya que es responsable de la capacidad de disolución de minerales de silicio y la absorción por parte de la planta. Lewin and Reimann (1969), citado por Álvarez y Osorio mencionan que los procesos de disolución de minerales de silicio aumentan en la solución del suelo con pH ácidos. Hasta un pH de 7,5 el ácido ortosilícico representa entre el 99-100% del silicio soluble.

5.2.Mazorcas sanas

La aplicación foliar de silicio a diferentes dosis tiene un efecto positivo en el cultivo de cacao CCN-51. En primera instancia la intención fue observar efectos de la periódica aplicación de Fitosil (Silicio soluble). Con los resultados obtenidos de la variable número de mazorcas sanas, vemos que T3 (1,5 L/ha) demostró los efectos beneficiosos para el cultivo, al transcurrir 4 meses de iniciada las aplicaciones. Durante 4 muestreos consecutivos, T3 fue el tratamiento que registró mayor número de mazorcas sanas. Es evidente que la acumulación de silicio en hojas (fitolitos), son responsables de mejorar la resistencia al ataque de enfermedades de la mazorca (Quero, 2009).

Una vez absorbido el silicio por la planta en forma de ácido monosilícico, esta pierde agua por transpiración de tejidos para formar parte de los complejos silicio-celulosa. Propiamente los depósitos de silicio en forma de fitolitos, tienden a acumularse en gran medida en la periferia de células epidermales de los tejidos. Esta acumulación crea una barrera mecánica que es responsable de aumentar la resistencia a factores externos como el ataque de plagas, enfermedades y estrés abiótico (Álvarez y Osorio, 2014).

5.3.Chereles sanos

Aunque si se obtuvieron diferencias significativas en dos fechas de muestreo (fecha 7 y 8), no se puede asegurar que la aplicación de silicio tiene un efecto sobresaliente sobre el número de chereles sanos. La acumulación de silicio es insignificante en chereles, ya que estos al ser tejidos jóvenes y en rápido crecimiento, tienen baja probabilidad de acumular silicio en su estructura epidermal. El paso de estado de cherele a mazorca dura 15 días generalmente, considerándose un órgano de rápido crecimiento. Álvarez y Osorio (2014) indican que la acumulación de silicio es mayor en hojas viejas que en jóvenes. La viabilidad de los chereles depende en gran medida de factores externos tales como la sanidad del cojinete floral, nutrición vegetal y el clima (Ponce, 2015). Es posible que mejoremos la probabilidad de acumulación de silicio en chereles, si logramos complementar la fertilización foliar con la edáfica de silicio.

5.4.Incidencia de moniliasis

No existen diferencias significativas sobre la incidencia de moniliasis ante la aplicación de silicio vía foliar. Con los promedios calculados para el porcentaje de incidencia de la enfermedad, se observó que T2 registró el valor más bajo en relación a los demás tratamientos, con un porcentaje de 1,34% de incidencia. El tratamiento de 2,0 L/ha (T4) obtuvo el mayor valor con 3,33% de incidencia de moniliasis. El análisis de regresión aplicado para esta variable, nos calculó un valor de R^2 de 0,9604, por lo tanto consideramos que el 96% de los porcentajes de incidencia, son dependientes del tratamiento aplicado y el manejo agronómico correspondiente al manejo del experimento. Ayala y Navia (2010), mencionan que la práctica de remoción de mazorcas enfermas, contribuye a la disminución de la capacidad de inóculo del patógeno. Esto es un manejo integral, que disminuye la fracción del inóculo presente en la plantación a medida que se realizan controles fitosanitarios continuos.

5.5.Incidencia de mazorca negra

No hay diferencias significativas entre la aplicación foliar de silicio sobre la incidencia de mazorca negra. Al analizar los promedios globales de la enfermedad, encontramos que T0 obtuvo el menor valor con 2,51% de incidencia, mientras que T4 fue de 6,38%, siendo este el mayor valor alcanzado en esta variable. Al realizar el análisis de regresión, se determinó el valor de $R^2=0,4079$, por lo tanto se asume que el 60% del ataque de la enfermedad es dependiente de factores externos como la variación climática (precipitación y temperatura).

5.6.Incidencia de cherele wilt

No hay diferencias significativas entre el factor de estudio y los valores de incidencia de cherele wilt. Las variaciones de temperatura influyen en gran medida sobre la afectación de chereles. La quemazón de un cherele es provocada por las variaciones bruscas de temperatura ambiental, pues se pudo constatar con el análisis de regresión un valor de $R^2=0,185$, el cual nos indica que aproximadamente el 81% de los chereles afectados se debe a factores independientes al tratamiento aplicado. También se conoce que las deficiencias nutricionales influyen en este problema. McKelvie (2016) postula que hasta el momento no se ha podido comprobar que la enfermedad cherele wilt esta netamente relacionada a un organismo patógeno, pues se cree que se debe más a un desorden fisiológico.

6. CONCLUSIONES

- El silicio tiene un efecto positivo sobre la sanidad de la mazorca del cacao, puesto que la dosis de 1,5 L/ha resultó ser el tratamiento que registro mayor número de mazorcas sanas. No obstante, este tratamiento no fue estadísticamente diferente al testigo.
- Se identificó al cacao como una especie no acumuladora de silicio, ya que los contenidos del elemento en hojas estuvo dentro del rango de 0,1-0,5%, siendo este criterio determinante para su caracterización.
- El periodo de duración del ensayo se realizó en la época seca del año, con altas variaciones de precipitación durante los meses de Septiembre, Octubre y

Noviembre. Es curioso el comportamiento que presentaron las enfermedades en el cacao a nivel regional, ya que en determinadas temporadas del ensayo, se encontraron valores de 0 % de incidencia en moniliasis y mazorca negra. Esta variabilidad no pudo determinar claramente el efecto del silicio sobre una enfermedad específica.

- La afectación de cherele wilt es provocada por los cambios bruscos de temperatura. En los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre los promedios de temperatura en la zona de Santo Domingo tuvieron una variabilidad de 22 y 25°C, con descensos que llegaban a 18°C en las noches.
- El silicio no contrarresta la viabilidad de los patógenos causantes de enfermedad en mazorcas, pero sin duda alguna su acumulación en tejidos epidermales contribuyen a la formación de mecanismos de defensa.
- El uso de silicio en cacao mejoró la movilidad de los nutrientes tales como fósforo y potasio, siendo interesante su función dentro de los planes de fertilización.
- Aunque no se haya encontrado el mejor tratamiento en el análisis estadístico, se puede asegurar que la aplicación de fitosil a una dosis de 1,5 L/ha, contribuyó a obtener mazorcas extras.
- Se determinó la ventaja costo/beneficio de la aplicación de fitosil a una dosis de 1,5 L/ha. El análisis estadístico no diferenció el número adicional de mazorcas logradas en T3 sobre T0 y los demás tratamientos, pero el análisis económico nos muestra la importancia que tendría esta ganancia (mazorcas extras) sobre la productividad del agricultor.

7. RECOMENDACIONES

- Evaluar los efectos relacionados a la aplicación foliar de silicio en el cultivo de cacao durante la época lluviosa.
- La aplicación de silicio en cacao debe ser aplicada en forma complementaria, tanto por vía foliar y edáfica.
- Se recomienda la dosis mensual de 1,5 litros de fitosil/ha.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C. y W. Osorio. 2014. Silicio agronómicamente esencial. Mejisulfatos S.A.S., Itagüí, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- ANECACAO (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao – Ecuador). 2015. Recuperado el 21 de Enero de 2016, de <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/historia-del-cacao.html>
- ANECACAO (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao – Ecuador). 2015. Recuperado el 22 de Enero de 2016, de <http://www.anecacao.com/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>
- Ayala, M. y D. Navia. 2010. Manejo Integrado de Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) en el Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L) mediante el uso de fungicidas, combinado con labores culturales. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) – Guayaquil, Ecuador.
- Batista, L. 2009. Guía Técnica el Cultivo de Cacao en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF, 2009. 250pp.
- Bekker, T. F., N. Labuschagne, T. Aveling and C. Kaiser. (2007). Efficacy of water soluble potassium silicate against Phytophthora root rot of avocado under field conditions. University of Pretoria, South Africa.
- Cakmak, I., y A. M., Yazici. 2010. Magnesio: el elemento olvidado en la producción de cultivos. Estambul – Turquía. Recuperado el 14 de Febrero de 2017, de [https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/901DD92BAE8EF8F60525777D0074FDAA/\\$file/2.+Magnesio.+El+elemento+olvidado.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/901DD92BAE8EF8F60525777D0074FDAA/$file/2.+Magnesio.+El+elemento+olvidado.pdf)
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2009. Enfermedades del cacao en Centroamérica. (eds.) Phillips-Mora W., Cerda R. Turrialba, Costa Rica. Manual técnico N° 93.

- ECUACOCOA. 2016. Recuperado el 21 de Enero de 2016, de http://www.ecuacocoa.com/espanol/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=51
- EcuRed. 2016. Cacao. Recuperado el 28 de Mayo de 2016, de <http://www.ecured.cu/Cacao>
- Edifarm, 2015. Vademecum Agrícola. Dcaonil 720 SC.
- Enríquez, GA. 2004. Cacao orgánico, Guía para productores ecuatorianos. Manual Nro. 54. INIAP. Quito, EC. 360 p.
- Estrella, E. y J., Cedeño. 2012. Medidas de control de bajo impacto ambiental para mitigar la moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif y Par. Evans et al.) en cacao híbrido nacional x trinitario en Santo Domingo de los Tsáchilas. Escuela Politécnica del Ejército – ESPE. Santo Domingo, Ecuador.
- Fajardo, F. 2013. ¿Quién fue el creador del cacao CCN-51? Homero Castro Zurita, conózcalo. Portal Informativo “El Cacaotero”. Guayaquil, Ecuador. Recuperado el 18 de Mayo de 2016, de http://www.elcacaotero.com.ec/cacao_ccn51.html
- Fermagri, 2015. Ficha técnica Fitosil. Productos solubles. Fermagri Innovación en Fertilizantes. Disponible en web; link: <http://www.fermagri.com/img/productos/20151006141507449.pdf>
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). 2003. Identificación y control de la moniliasis del cacao. Primera Edición. La Lima - Cortés, Honduras. 24 p.
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). 2012. La moniliasis del cacao: el enemigo a vencer. Primera Edición. La Lima - Cortés, Honduras. 3 – 7 p.
- Gatarayiha, M.C. and M.D. Laing. 2011. Field evaluation of *Beauveria bassiana* efficacy for the control of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). United States Department of Agriculture. National Agricultural Library. USA.

- Hasing, Félix, M. 2007. Impacto de las aplicaciones de un mineral bio-activo sobre parámetros agronómicos y fitosanitarios en plantas de banano del grupo cavendish variedad williams a nivel de laboratorio e invernadero. Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL). Guayaquil – Ecuador.
- Hernández, Rubén. 2002. Nutrición mineral en plantas. Profesor de Fisiología Vegetal, Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes - Mérida – Venezuela. Recuperado el 03 de Marzo de 2017, de <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/#bibliografía>
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2012. Manejo fitosanitario del cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) - Medidas para la temporada invernal. Bogotá, Colombia. 9 – 10 p.
- ICCO (International Cocoa Organization). 2013. Growing Cocoa. Consultado el 04 de Febrero de 2016. Disponible en web; link: <http://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html>
- Kablan, L., A. Lagauche, B. Delvaux, and A. Legrève. 2012. Silicon reduces black sigatoka development in banana. University catholique de Louvain, Croix du Sud, Belgium.
- MAGAP (Ministerio de agricultura, ganadería y pesca). 2016. Informe Técnico para la selección de paquetes de fertilización de los distintos proveedores de la Iniciativa “Alimenta tu Café y Cacao”. 26 de Octubre 2016. Ecuador.
- Magdama, F. 2010. “Estudio del efecto de Bioles y cepas de *Trichoderma sp.* Aisladas de zonas cacaoteras, como alternativas de control de *Moniliophthora roreri*, en condiciones in vitro. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) - Guayaquil, Ecuador.
- MAG/IICA. 2001. Identificación de mercados y tecnología para productos agrícolas tradicionales de exportación. Quito, Ecuador. 45 p.

- McKelvie, A. D. 2016. Cherelle wilt of cacao. I. Pod development and its relation to wilt. *Journal of Experimental Botany*. Disponible en web; link: <http://jxb.oxfordjournals.org/content/7/2/252.abstract>
- Mejisulfatos. 2010. Silicio. El costo oculto de los químicos. Departamento Técnico Mejisulfatos S.A. Itaguí, Colombia.
- Parra. D., I. Contreras y J. Pineda. 2008. Escoba de bruja del cacao en Venezuela. INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). Centro de Investigaciones del Estado Miranda. Miranda, Venezuela.
- Pico. R. J., D. Calderón, F. Fernández y A Díaz. 2012. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias - INIAP. Guía del Manejo Integrado de Enfermedades de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonía. Joya de los Sachas - Orellana, Ecuador. p. 5-6.
- Pinargote, Magdalena. 2015. Comportamiento productivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 ante diferentes formulaciones de fertilización. Quevedo, 2014. Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Quevedo – Los Ríos. Ecuador. Recuperado el 14 de Febrero de 2017, de <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/334>
- Phillips-Mora, W. 2006. La moniliasis del cacao: un enemigo que podemos y debemos vencer. En: Taller regional andino de aplicación tecnológica en el cultivo de cacao. Quevedo, Ecuador. p. 21-25.
- Ponce, Antonio. 2015. Manejo de enfermedades en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), considerando parámetros epidemiológicos que permitan reducir el uso de fungicidas. Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Quevedo – Los Ríos. Ecuador. Recuperado el 03 de Marzo de 2017, de <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1287/1/T-UTEQ-0010.pdf>
- PROECUADOR (Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones). 2016. Cacao y elaborados. Recuperado el 27 de Enero de 2016. Disponible en web; link: <http://www.proecuador.gob.ec/compradores/oferta-exportable/cacao-y-elaborados/>

- Quero, E. 2008. La biosilicificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. Quero consulting S.C. Col. Polanco, México D.F.
- Quero, E. 2009. Nutrición con silicio y sus aplicaciones a cultivos a cielo abierto y en agricultura protegida: Un pequeño recorrido por la naturaleza. Simposio Internacional de Nutrición Vegetal: Guadalajara – Jalisco, México 6 al 9 de Octubre 2009.
- Reyes, H., y L., Capriles. 2010. El Cacao en Venezuela. Moderna tecnología para su cultivo. Caracas – Venezuela. Recuperado el 14 de Febrero de 2017, de <https://es.scribd.com/doc/23271157/Cacao-REYES>.
- Reyes, H.; L., De Reyes; G., Armas. 1965. Observaciones sobre el marchitamiento de los chireles del cacao. Estación Experimental de Caucagua. Miranda, Venezuela.
- Sanchez, F. 1987. Metodología para la inoculación de mazorcas con el hongo *Moniliophthora roreri*. In 10° Conferencia Internacional de Investigación en Cacao, p. 467- 471.
- Sanchez, F., Gamboa, E. 2003. Control químico y cultural de moniliasis (*Monilophthora roreri*) del cacao (*Theobroma cacao* L) en el estado de Varinas. Venezuela.
- Sánchez-Mora, F.; Garcés, F.R.; Vera, J.F.; Ramos, R.A.; Troya, F.; Díaz, T.G. 2011. Cuantificación de enfermedades en mazorcas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona central del Litoral Ecuatoriano. In: Memorias del VIII Simposio Internacional de Recursos Genéticos para América Latina y El Caribe, Quito, Ecuador, 2011. CD.
- SENASICA (Secretaría Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2013. Escoba de bruja del cacao (*Moniliophthora perniciosa*). Dirección General de Sanidad Vegetal. D.F., México. Ficha técnica n° 4.
- SEPHU (Sociedad española de productos húmicos S.A.). 2009. El Silicio (Si) como elemento fertilizante y protector de enfermedades y plagas. Boletín N° 028 del 14 de Mayo de 2009. Zaragoza, España. p. 2-3.

- Sierra, R. (Ed.). 1999. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador.
- Silicon in Agriculture. 4th Conference International South Africa (2008). 26-31 October. South Africa. Book of abstracts.
- Suárez, L. 2006. Aislamiento e identificación de *Moniliophthora roreri* causante de la moniliasis en municipios del nororiente colombiano y ensayos preliminares para su control biológico. *Revista Respuestas* 11(1): 3-9.
- United Cacao. 2016. Mercado Mundial del Cacao. Consultado el 08 de Febrero de 2016. Disponible en web; link: <http://www.unitedcacao.com/index.php/es/corporate-profile-es/global-cocoa-market-es>
- Uribe, A., H., Méndez y J., Mantilla. (1998). Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander. *Revista suelos ecuatoriales*. 28:31-36. Landázuri – Colombia.
- Vazquez, L., y N, Saltos. 2013. Ecuador su realidad. Vigésima Ed. (2013-2014). Edgar Tello (ed). Quito, Ecuador. 204-205 p.
- Yáñez, MV. del R. 2004; Control biológico de *Moniliophthora roreri* en el campo mediante el uso de biopreparados a base de *Pseudomonas cepacia*, *Bacillus subtilis* en cacao Tenguel 25 (EET 103). Tesis M.Sc. Escuela Politécnica del Ejército. Magíster en Ciencias del Control biológico. Sangolquí, EC. pp 83.