



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**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN EDÁFICA DE UN COMPUESTO
A BASE DE SILICIO, PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD
EN CACAO CCN51**

AUTOR: AGUILERA MALDONADO OSVALDO MARTIN

DIRECTOR: VACA PAZMIÑO EDUARDO PATRICIO

SANTO DOMINGO

2017



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**EFEECTO DE LA APLICACIÓN EDÁFICA DE UN COMPUESTO A BASE DE SILICIO, PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN CACAO CCN51**” realizado por el señor **AGUILERA MALDONADO OSVALDO MARTIN**, 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 **AGUILERA MALDONADO OSVALDO MARTIN** para que lo sustente públicamente.

Santo Domingo, 08 de marzo del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Eduardo Patricio Vaca Pazmiño', written over a horizontal line.

EDUARDO PATRICIO VACA PAZMIÑO

DIRECTOR



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **AGUILERA MALDONADO OSVALDO MARTIN**, con cédula de identidad N° 171873989-7, declaro que este trabajo de titulación “**EFEECTO DE LA APLICACIÓN EDÁFICA DE UN COMPUESTO A BASE DE SILICIO, PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN CACAO CCN51**” 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 del 2017

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Aguilera Maldonado Osvaldo Martin'.

AGUILERA MALDONADO OSVALDO MARTIN

C.C 171873989-7



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN

Yo, **AGUILERA MALDONADO OSVALDO MARTIN**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“EFECTO DE LA APLICACIÓN EDÁFICA DE UN COMPUESTO A BASE DE SILICIO, PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN CACAO CCN51”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Santo Domingo, 08 de marzo del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Aguilera Maldonado Osvaldo Martin', written over a horizontal dashed line.

AGUILERA MALDONADO OSVALDO MARTIN

C.C 171873989-7

DEDICATORIA:

A DIOS, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto durante todo mi camino todas esas personas que de una forma u otra han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre, María Piedad Maldonado, por haber sido mi pilar fundamental en todas las etapas de mi vida, por haberme apoyado en todo momento, por todos tus consejos invaluable, tus valores, por tu motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada gracias por tu inmenso amor.

A mis hermanos Sebastián y María Sol, por haberme brindado su apoyo incondicional, por brindarme su amor y haberme sabido guiar durante toda mi vida, a Milton por ser esa figura paterna, a todos ustedes por haber participado directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis, les estaré inmensamente agradecido.

A Emily Tapia Velasco por ser mi complemento y apoyo incondicional, por ser parte fundamental en mi vida y mi motivación para seguir adelante en momentos que sentía rendirme, por compartir esta nueva etapa a mi lado, este logro te lo dedico a ti porque sin tu ayuda no habría podido lograrlo.

Oswaldo Martin Aguilera Maldonado

AGRADECIMIENTO:

A la ESPE, a su carrera de Ingeniería Agropecuaria Santo Domingo y a todos sus docentes que mediante sus conocimientos impartidos durante mi etapa estudiantil me permitieron desarrollarme profesionalmente.

A mi Director de tesis, Ing. Patricio Vaca, le agradezco la confianza, el apoyo y su motivación brindada para la elaboración y culminación de mi tesis, por sus consejos y tiempo invertido que me permitieron alcanzar este objetivo.

A la empresa FERMAGRI por creer en mí y por todo el apoyo técnico y económico que me brindaron durante la realización de mi tesis.

Al Ing. Galo Chiriboga y a su esposa Ana Jaramillo, por creer en mí y abrirnos las puertas de su propiedad, para investigar junto a ustedes nuevas tecnologías que potencien el desarrollo agrícola de la región.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	El cultivo de cacao en el Ecuador	3
2.2.	El cultivo de cacao en Santo Domingo	3
2.3.	Origen del Silicio	4
2.4.	El silicio en la plantas.....	4
2.4.1.	Beneficios del silicio	5
2.5.	Silicio en la Agricultura	6
2.5.1.	El Silicio y su beneficio en el incremento de la producción y calidad de las cosechas agrícolas.....	7
2.5.2.	El Silicio en la restauración de la degradación edáfica y el incremento del nivel de fertilidad para la producción agrícola.....	7
2.5.3.	El Silicio incrementa la resistencia del suelo contra la erosión del viento y agua.	8
2.5.4.	El Silicio incrementa la resistencia de las plantas a la sequía.....	8
2.5.5.	El Silicio neutraliza la toxicidad del Aluminio (Al) en suelos ácidos mejor que el encalado.....	8
2.5.6.	El Silicio mejora la nutrición del Fósforo en las plantas.....	9
2.5.7.	El Silicio promueve la colonización por microorganismos simbióticos.	9
2.5.8.	El Silicio reduce la lixiviación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, en las áreas de cultivo.	9
2.5.9.	El Silicio incrementa la protección de las plantas contra el ataque de enfermedades e insectos.....	9
2.5.10.	El Silicio restaura Áreas contaminadas por metales pesados e hidrocarburos.....	10
2.5.11.	El Silicio mejora el empleo de biosólidos.....	10
2.5.12.	El Silicio posee una acción sinérgica con Calcio, Magnesio, Hierro, Zinc y Molibdeno	10
2.6.	Silicio Comercial.....	11
2.6.1.	Propiedades Físicas y Químicas.....	11
2.6.2.	El silicio y su porcentaje en suelo y hojas	11
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1.	Ubicación del área de investigación.....	13
3.1.1.	Ubicación política.....	13

3.1.2. Ubicación geográfica.....	13
3.1.3. Ubicación ecológica	13
3.2. Materiales	14
3.2.1. Materiales de oficina	14
3.2.2. Materiales de campo.....	14
3.3. Métodos	15
3.3.1. Diseño Experimental	15
3.3.2. Análisis estadístico	17
3.3.3. Variables a medir	18
3.3.4. Métodos específicos del manejo del experimento	18
4. RESULTADOS	20
4.1. Análisis de los resultados	20
4.1.1. Análisis de suelo.....	20
4.1.2. Análisis foliar	26
4.1.3. Número de chereles	31
4.1.4. Número de mazorcas	33
4.1.5. Producción de almendras de cacao.....	36
4.1.6. Índice de semillas	43
4.1.7. Análisis de correlación de las diferentes dosis de silicio para la producción de almendras de cacao CCN-51.	44
4.1.8. Análisis económico.	45
5. DISCUSIÓN.....	46
6. CONCLUSIONES	48
7. RECOMENDACIONES	50
8. BIBLIOGRAFÍA.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorización de plantas que acumulan silicio.	13
Tabla 2. Materiales, herramientas e insumos.	14
Tabla 3. Tratamientos evaluados.....	15
Tabla 4. Esquema de análisis de varianza de la investigación.....	17
Tabla 5. Primer análisis de suelo, macro- y microelementos.....	20
Tabla 6. Análisis inicial vs final de suelo, macro y micro nutrientes.	21
Tabla 7. Análisis foliar inicial de macro- y microelementos en materia seca.....	26
Tabla 8. Análisis foliar final de macro y microelementos.	27
Tabla 9. Análisis de varianza, variable número de chereles por 12 evaluaciones.	31
Tabla 10. Análisis de varianza, variable número de chereles correspondiente a la primera evaluación.	31
Tabla 11. Prueba de significancia según Duncan, para la variable número de chereles, de la primera fecha de evaluación.....	32
Tabla 12. Resumen del análisis de varianza para la variable número de mazorcas...	33
Tabla 13. Análisis de varianza, variable número de mazorcas correspondiente a la octava evaluación.	33
Tabla 14. Prueba de significancia según Duncan, para la variable número de mazorcas, de la octava fecha de evaluación.....	34
Tabla 15. Análisis de varianza, variable número de mazorcas correspondiente a la novena evaluación.....	35
Tabla 16. Prueba de significancia según Duncan, para la variable número de mazorcas, de la novena evaluación.	35
Tabla 17. Análisis de varianza para la variable producción de almendras.	36
Tabla 18. Análisis de varianza para la variable producción de almendras, primer mes de evaluación.....	36
Tabla 19. Prueba de significancia según Duncan, para la variable producción de almendras, de la primera evaluación.....	37
Tabla 20. Análisis de varianza para la variable producción de almendras, cuarto mes de evaluación.....	37
Tabla 21. Prueba de significancia según Duncan, para la variable producción de almendras, de la cuarta evaluación.....	38
Tabla 22. Análisis de costo beneficio entre los costos de producción vs la producción de almendras de cacao.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico 1. Comparación del contenido inicial y final de silicio disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.....	22
Gráfico 2. Comparación del contenido inicial y final de nitrógeno disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.	23
Gráfico 3. Comparación del contenido inicial y final de fósforo disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.....	23
Gráfico 4. Comparación del contenido inicial y final de potasio disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.....	24
Gráfico 5. Comparación del contenido inicial y final de calcio disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.....	24
Gráfico 6. Comparación del contenido inicial y final de azufre disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.....	25
Gráfico 7. Comparación del contenido inicial y final de silicio foliar en mg/kg, por tratamiento.	27
Gráfico 8. Comparación del contenido inicial y el contenido final de nitrógeno foliar expresado en %, por cada tratamiento.	28
Gráfico 9. Comparación del contenido inicial y final de fósforo foliar en %, por tratamiento.	29
Gráfico 10. Comparación del contenido inicial y el contenido final de potasio foliar expresado en %, por cada tratamiento.	29
Gráfico 11. Comparación del contenido inicial y final de calcio foliar, por tratamiento.	30
Gráfico 12. Promedios de la variable número de chereles, para la primera evaluación.	32
Gráfico 13. Promedios de la variable número de mazorcas, para la octava fecha de evaluación.	34
Gráfico 14. Promedios de la variable número de mazorcas, para la novena evaluación.	35
Gráfico 15. Promedios de la variable producción de almendras, para la primera evaluación.....	37
Gráfico 16. Promedios de producción de almendras, para la cuarta evaluación.....	38
Gráfico 17. Precipitación acumulada enero-junio 2016, Región Litoral e Insular. ...	39
Gráfico 18. Precipitación en Santo Domingo desde Mayo-Diciembre del 2016.....	39
Gráfico 19. Precipitación vs producción de almendras total, agosto-mayo 2016.....	40
Gráfico 20. Precipitación vs Producción de almendras por tratamiento, correspondiente al mes de Agosto del 2016.	40
Gráfico 21. Precipitación vs Producción de almendras por tratamiento, correspondiente al mes de Septiembre del 2016.	41
Gráfico 22. Precipitación vs Producción de almendras por tratamiento, correspondiente al mes de Octubre del 2016.....	41
Gráfico 23. Precipitación vs Producción de almendras por tratamiento, correspondiente al mes de Noviembre del 2016.....	42
Gráfico 24. Índice de semilla de cada tratamiento.	43

RESUMEN

La aplicación de un compuesto a base de silicio puede ser alternativa para incrementar la productividad en el cultivo de cacao CCN-51. Esta investigación se realizó en la finca Flores y Follajes Tropicales, ubicada en el km. 16 vía Santo Domingo Quevedo, N: 9959159 y E: 692521S, a 343 m de altitud, con temperatura promedio de 25 °C, HR 85%, y velocidad del viento de 1 m/s. El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de silicio en la producción de una plantación de cacao CCN-51 sometida a cuatro tratamientos. Los objetivos específicos fueron evaluar el número de mazorcas, el número de chereles, la producción de almendras de cacao antes y después de la aplicación de tres dosis de fertilizante a base de silicio. Investigaciones realizadas demuestran que aplicar silicio produce efectos benéficos para las plantas, como el aumento de la resistencia a factores bióticos y abióticos así como el incremento en la producción de varios cultivos, la adición de fertilizantes a base de silicio mejorarían la disponibilidad y absorción de nutrientes lo que se relacionaría directamente con la fertilidad del suelo. Los métodos fueron SILMAG 100 kg/ha, 200 kg/ ha, 300 kg/ha y un testigo. La fase de laboratorio la realizó Agrar Projekt, con un número total de 180 plantas. Los resultados de laboratorio identificaron incrementos en la absorción y disponibilidad de nutrientes como N, P, K y Ca. La mayor producción de almendras en libras la obtuvo el tratamiento 2 (200 kg/ha), el cual obtuvo una producción estimada por hectárea de 27 quintales, 158% más que el testigo que obtuvo una producción de 17 quintales por hectárea.

PALABRAS CLAVE

- **SILICIO CACAO**
- **CHERELES SILICIO**
- **SILMAG**
- **CACAO SILMAG**

ABSTRACT

Application of a silicon compound may be an alternative to increase productivity in the CCN-51 cocoa crop. This research was carried out on the farm Flores y Follajes Tropicales, located at km. 16 via Santo Domingo Quevedo, N: 9959159 and E: 692521, at a height of 343 m, with average temperature of 25 °C, HR 85%, and wind speed of 1 m / s. The objective was to evaluate the effect of the application of silicon on the production of a cacao CCN-51 plantation subjected to four treatments. The specific objectives were to evaluate the number of ears, the number of chereles, and the production of cocoa almonds before and after the application of three doses of silicon-based fertilizer. Research shows that applying silicon produces beneficial effects for plants, such as increased resistance to biotic and abiotic factors as well as increased production of several crops, the addition of silicon-based fertilizers would improve nutrient availability and absorption, which would be directly related to soil fertility. The methods were SILMAG 100 kg / ha, 200 kg / ha, 300 kg / ha and a control. The laboratory phase was carried out by Agrar Projekt, with a total number of 180 plants. The laboratory results identified increases in the uptake and availability of nutrients such as N, P, K and Ca. The highest production of almonds in pounds was obtained by treatment 2 (200 kg / ha), which obtained an estimated production per hectare of 27 quintals, 158% more than the control that obtained a production of 17 quintals per hectare.

KEYWORDS

- **SILICON CACAO**
- **SILICON CHERELS**
- **SILMAG**
- **CACAO SILMAG**

1. INTRODUCCIÓN

La planta de cacao (*Theobroma cacao L.*) fue nombrada por Carl von Linne, fue el quien clasificó por primera vez el árbol del que provienen las almendras de cacao (Soraya, 2009). El cacao es un cultivo originario de la región amazónica que comprende toda la cuenca alta del río Amazonas, que en la actualidad corresponde a territorios de los países de Ecuador, Colombia, Brasil, Perú y Bolivia (Guamán, 2007).

Durante el periodo de 1880 a 1915, el Ecuador adoptó el reconocimiento como el mayor exportador mundial de cacao, perdiendo su estatus después, debido al ataque de enfermedades como es el caso de la Monilia (*Moniliophthora roreri*) y la Escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*). Entre 1915 y 1930 que hicieron que la producción disminuya el 63%, sin embargo, luego de estos problemas fitosanitarios la producción de cacao experimentó una recuperación notable debido al uso de materiales resistentes, destacándose el híbrido CCN-51 (Quingaísa, 2007).

En la actualidad Ecuador cuenta al 2016 con una superficie cultivada de cacao de 584.303 hectáreas (MAGAP, 2016). De este total cultivado se encuentran cultivos jóvenes, plantaciones en producción, así como plantaciones viejas y abandonadas. En el país existen plantaciones del clon CCN-51, clones de cacao Nacional Fino de Aroma y variedades criollas.

Los datos de producción de este cultivo en Ecuador han sufrido un decrecimiento del 14,75% desde enero de 2015 a mayo de 2016, pasando de 108.492,75 TM en 2015 a 92.494,02 TM en 2016. La producción nacional ha mantenido en los últimos años un crecimiento sostenido de las exportaciones de cacao a excepción del 2016 debido a que factores climáticos provocaron una disminución en el primer semestre. Los esfuerzos realizados por parte de empresas privadas y ministerios reactivando áreas de cultivo no han sido suficientes para elevar la productividad del cultivo en el país. La falta de fertilización adecuada es también un factor importante para el aumento de la producción ya que esta planta produce bajo demanda, por esta razón se requiere mucha atención a este factor para mejorar la producción (MAGAP, 2016).

El cacao es el producto ecuatoriano de exportación con mayor historia en la economía del país, además su impacto socioeconómico justifica hacer investigaciones

que lo desarrollen, ya que se estima que este cultivo involucra alrededor de 100.000 familias de productores (MAGAP, 2016).

Como lo cita Pro-Ecuador en 2013, la producción nacional de cacao fue de 12 sacos por hectárea, esto se debe a factores como material de siembra, desacertado control fitosanitario, labores culturales inadecuadas y deficiente o nula aplicación de fertilizantes. Por lo que es necesario investigar aplicaciones de fertilizantes alternativos que incrementen la productividad del cultivo.

La aplicación de fertilizantes que adicionan silicio es común en países como Corea y Japón, quienes mantienen un consumo anual de 400 000 y 1 000 000 de toneladas, respectivamente, logrando incrementos en la producción de cultivos como el arroz. Australia, Brasil, India y Sudáfrica utilizan el silicio para incrementar la producción en el cultivo de caña de azúcar. En México la aplicación de fertilizantes enriquecidos con Silicio ha aumentado, tanto a nivel experimental como comercial, ya que hay empresas que ofrecen fertilizantes en los que se incluye el Silicio como componente importante de su composición (Raya Pérez & Aguirre Mancilla, 2012).

Con el fin de incrementar la producción de este cultivo, se requiere mejorar las prácticas de fertilización, adicionando activadores naturales y elementos esenciales como el silicio del cual hay información de investigaciones realizadas en países como Japón, en las que se ha demostrado que el nivel crítico de silicio activo está alrededor de 100 ppm de SiO₂ en el suelo.

Con lo citado anteriormente, investigaciones locales del uso del Silicio para el cultivo de cacao se hacen necesarias como búsqueda de alternativas de bajo costo que favorezcan al productor y le aseguren mejores rendimientos en las plantaciones de cacao del cantón Santo Domingo, evaluando insumos que beneficien a la aplicación de fertilizantes edáficos para un mejor aprovechamiento de la planta.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El cultivo de cacao en el Ecuador

El cacao es uno de los productos de exportación más importantes y símbolos del Ecuador. Existen antecedentes que relatan que desde la época de la independencia del Ecuador, existían varias familias acaudaladas que se dedicaban a la producción del cultivo en haciendas que se las llamaban “Grandes Cacaos”, la mayoría de estas fincas cacaoteras se encontraban ubicadas en Vinces y en otros cantones de Los Ríos (Pro-Ecuador, 2013).

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria (ESPAC) realizada en 2010, en el país la superficie cosechada de cacao fue de 360 025 Ha, de la cual se obtuvieron producciones que alcanzaron las 132 100 TM. De este total de producción, el 84,51% provino de la Costa Ecuatoriana, el 10,94% de la Sierra y el 4,55% restante proveniente del Oriente. La producción a nivel de provincias, sitúa al Guayas como la principal productora de cacao a nivel nacional, con un total de 46 088 TM (34,89%); seguida por la provincia de Los Ríos con 32 829 TM (24,85%) y por último Manabí como la tercera provincia productora de cacao con 15 413 TM (11,67%). Cotopaxi consta como la provincia que mayor producción posee en la Sierra Ecuatoriana, con 4 135 TM (3,13%), mientras que en el Oriente destaca la subregión Nororiente que comprende las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana con 5 288 TM (4%) (INEC, Septiembre 2011).

2.2. El cultivo de cacao en Santo Domingo

El Gobierno Provincial de Santo Domingo de los Tsáchilas estima que existen cerca de 19 350 hectáreas de cacao entre CCN-51 y Nacional en la provincia. El cultivo se encuentra generalizado en toda la provincia, siendo las zonas con mayor producción las parroquias de Puerto Limón, Luz de América, San Jacinto del Búa y Valle Hermoso. Con respecto a los productores y el porcentaje de participación económica, podemos observar que cerca del 80% son pequeños productores, alrededor de un 18% medianos y apenas el 2% son considerados como grandes (Campos, 2011).

2.3. Origen del Silicio

El silicio en el suelo es procedente de la degradación de las rocas ígneas; en ella se encuentra el sílice (SiO_2), que es el constituyente de muchos silicatos y minerales arcillosos. El contenido de silicio es variable y después del oxígeno, es el elemento más abundante en la litosfera, y se encuentra expresado como SiO_2 , y puede alcanzar en la capa arable rangos que oscilan entre el 60 y 90% (Navarro y Ginés, 2003).

Además de las formas inertes del Si como el cuarzo, el vidrio, entre otras, existen sustancias ricas en Si biogeoquímicamente activo presentes en la naturaleza. Entre ellas tenemos el ácido monosilícico, oligómeros de ácido silícico y ácidos polisilícicos. Este elemento juega un papel distintivo y significativo en los procesos de formación del suelo, lo que afecta a la fertilidad y la nutrición de los cultivos (Matichenkov, 2008).

2.4. El silicio en la plantas

El silicio juega un papel importante en las plantas. Este interviene en el desarrollo del sistema radicular, en la asimilación y distribución de nutrientes minerales, incrementa la capacidad de resistencia de la planta al estrés abiótico como las altas y bajas temperaturas, fuertes vientos, las alta concentración de sales y metales pesados, hidrocarburos, aluminio (Al), entre otras, y biótico como el ataque de insectos, hongos y la resistencia a enfermedades, (Quero, 2008).

La acción benéfica del Silicio en la nutrición de los cultivos, no se debe a la intervención dentro de los procesos metabólicos de las plantas, sino por los efectos fisiológicos que este nutriente genera en los cultivos, como se puede observar en ciertos cultivos donde la formación de capas de gel coloidal de silicio en los vasos y por debajo de la epidermis crea resistencia a los tallos frente al encamado. De igual manera las capas de gel y el depósito que se almacena en hojas, reduce la evaporación del agua lo que permite soportar sequías más prolongadas. Provee resistencia a las plantas frente a heladas ya que actúa como aislante y dificulta la penetración de los tubos germinativos y haustorios de los hongos. (Terralia, 2008).

El ciclo biogeoquímico del silicio en los ecosistemas terrestres, es más intenso que el ciclo del Fósforo y el Potasio. Se cree que las raíces aparentemente liberan unas enzimas denominadas silicazas y silicateinas, así como compuestos orgánicos (ácido cítrico y protones hidrógeno (H⁺), que solubilizan al silicio presente en las arcillas del suelo, las cuales provienen de las rocas y minerales cuando estos son intemperizados por las condiciones climáticas como la lluvia, temperatura, viento, y las acciones mecánicas del manejo de los suelos. Las raíces tienen mayor capacidad de extraer el silicio del suelo promoverán un mejor desarrollo del sistema foliar y en general de la planta. En general el silicio se encuentra presente en los tejidos de la planta en cuatro formas, que son: la mineral, en forma orgánica, polimérica y cristalina; esta última ubicada en la superficie de las hojas, proporcionándole brillo y formando parte de la estructura de los tricomas y de los fitolitos, los cuales caen al suelo promoviendo el reciclado del nutriente (Quero, 2008).

2.4.1. Beneficios del silicio

Matichenkov (2008), cita a Justius von Leibigh quienes publicaron en 1840 su trabajo sobre la nutrición mineral de las plantas, demuestra la influencia positiva del silicio en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, desde entonces han sido numerosos los experimentos en realizados en laboratorios, invernaderos y en campo, donde se ha demostrado los beneficios de la fertilización con Si en el aumento de la producción de varios cultivos como el caso de arroz (*Oryza sativa L.*) con un aumento entre el 15 y 100%, en maíz (*Zea mays L.*) con aumentos de 15 a 35%, en trigo (*Triticum aestivum L.*) y cebada (*Hordeum vulgare L.*) con aumentos entre el 10 y 30%, caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) con producciones que aumentaron un 15-40%, en el cultivo de la calabaza (*Cucumis sativus L.*) en los cuales aumentaron un 10 y 40%, en cultivos de cítricos (*Citrus spp.*) donde su producción se vio aumentada un 5 a 15%, plátano (*Musa paradisiaca*) un 20 a 40% de aumento en la producción, entre otros cultivos (Matichenkov, 2008).

Como lo evidencian las investigaciones realizadas en la Universidad Paulista de Brasil, donde se demostraron los beneficios que posee la aplicación de silicio como fertilizante edáfico en el cultivo de papa, el cual fue incorporando como elemento al suelo en los programas de fertilización. Los resultados de la investigación mostraron

que existió un aumento de la producción total de tubérculos en un 14,3% y un aumento en la producción de tubérculos de mejor calidad comercial de 15,8% (Filgueiras, 2007).

Se conocen múltiples beneficios alcanzados en suelos con niveles adecuados de silicio; entre ellos destacan la restauración de su fertilidad por un tiempo más prolongado, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad del contenido de calcio, magnesio y fósforo aumenta en el suelo, entre otros elementos. El flujo de oxígeno desde el sistema foliar y tallo hacia la raíz aumenta en plantas con presencia de silicio. De este modo el oxígeno llega al parénquima oxidando la rizósfera, logrando que el Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) reducido se oxide, esto evita que las plantas tomen excesivamente estos elementos (Quero, 2008).

Hasta la actualidad el silicio no se encuentra considerado en la agricultura como un microelemento esencial para el desarrollo de los cultivos, pero se conoce que cultivos de gramíneas como el arroz, caña de azúcar, sorgo, maíz, trigo, millo y avena, forrajes como kikuyo, bermuda y alfalfa, ciertos frutales como mango, aguacate, plátano y banano, entre otras como, fréjol, tomate, algodón y crucíferas, aumentan su producción y sanidad vegetal con aumentos de silicio asimilable disponible en el suelo (Sociedad Española de Productos Húmicos, 2007).

2.5. Silicio en la Agricultura

El uso agrícola extensivo e intensivo del suelo, provoca el desequilibrio de nutrientes contenidos en él, esto debido a que una parte significativa es removida durante la cosecha, el desarrollo vegetativo las plantas, la lixiviación y la erosión hídrica y eólica. La extracción de silicio que es absorbido de la solución de los suelos en cada cosecha, varía en promedios de 40 a 300 kg/ha. Provocando una disminución de silicio y el aumento de aluminio, causando un incremento de la acidez del suelo, (Quero, 2008).

Según Quero (2008), los beneficios del suministro de silicio mediante la fertilización y el aumento de su disponibilidad en el suelo, permiten una solución económica y rentable para la producción agrícola de varios cultivos, destacando lo siguiente:

2.5.1. El Silicio y su beneficio en el incremento de la producción y calidad de las cosechas agrícolas.

La aplicación de silicio tiene un doble efecto en el sistema Suelo-Planta. En primer lugar, mejora la capacidad de las plantas en el almacenamiento y la distribución de los carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción de cosecha, así como la resistencia y protección por parte de la planta contra enfermedades causadas por enfermedades fúngicas y bacterianas, el ataque de plagas y mejora la resistencia a las condiciones desfavorables de clima, estimulando el desarrollo y la actividad de estructuras poliméricas ubicadas en la cutícula, como los tricomas y los fitolitos que se encuentran en la superficie de las hojas.

En segundo lugar, la aplicación edáfica de silicio asimilable, mejora la fertilidad de los suelos, mejorando la retención y disponibilidad de agua, mejora la estructura física del suelo y mantiene a los nutrientes en forma asimilables para los cultivos (Quero, 2008).

2.5.2. El Silicio en la restauración de la degradación edáfica y el incremento del nivel de fertilidad para la producción agrícola.

Se estima que alrededor de 40 a 300 kg de silicio por hectárea son extraídos anualmente por los cultivos en las cosechas. La falta de ácidos monosilícicos en la solución del suelo y la disminución de silicio amorfo, destruyen los complejos órgano-minerales, y se acelera la degradación de la materia orgánica empeorando la composición mineral del suelo. Por este motivo, la aplicación de fertilizantes minerales que incorporen silicio es obligatoria para obtener una agricultura sustentable y efectiva en cualquier tipo de suelo (Quero, 2008).

2.5.3. El Silicio incrementa la resistencia del suelo contra la erosión del viento y agua.

La aplicación de silicio asimilable al suelo, mejora su estructura, incrementa la capacidad de retención hídrica del 30 al 100%, así como la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, sobre todo en pH's alcalinos. Incrementa la estabilidad ante la erosión ya que promueve la formación de agregados coloidales. El sistema radicular de la planta mejora mediante la aplicación de silicio, aumentando la masa radicular de un 50 a 200%, lo que provoca la estimulación de mayor cantidad de tallos por semilla (Quero, 2008).

2.5.4. El Silicio incrementa la resistencia de las plantas a la sequía.

La fertilización con silicio optimiza el aprovechamiento del agua de riego por parte de los cultivos en un 30 a 40% y permite ampliar los intervalos del riego sin efectos de déficit hídrico en las plantas. Adicionalmente al sistema de irrigación y drenaje, la fertilización con silicio asimilable, permite realizar la rehabilitación de suelos afectados por sales, mejora la estructura en suelos compactados y mejora niveles bajos de pH, (Quero, 2008).

2.5.5. El Silicio neutraliza la toxicidad del Aluminio (Al) en suelos ácidos mejor que el encalado.

Se conocen cinco posibles mecanismos que reducen la toxicidad del Aluminio (Al) mediante la aplicación de compuestos ricos en silicio; como son la formación de ácidos ortosilícicos, ácidos metasilícicos, los coloides, los polímeros de silicio y mediante los complejos aluminio-silicatos. A diferencia del encalado que tiene un solo mecanismo. El efecto negativo de la aplicación de encalado y de dolomita, radica en la fijación del fósforo, debido a que lo transforman en una forma no asimilable para la planta.

Por este motivo, mediante la utilización de materiales ricos en silicio para reducir el efecto tóxico del aluminio y la optimización del pH, se mejoran también la disponibilidad y nutrición con Fósforo, Potasio, Zinc y hierro, ya que el silicio activa el intercambio catiónico y la movilización de los nutrientes (Quero, 2008).

2.5.6. El Silicio mejora la nutrición del Fósforo en las plantas.

La fertilización con fertilizantes que contengan silicio promueve la transformación del fósforo no disponible para la planta en formas asimilables, previniendo la transformación de fertilizantes ricos en fósforo en compuestos inmóviles. Esto proporciona la posibilidad de fabricar fertilizantes de lenta liberación mediante materiales ricos en silicio, (Quero, 2008).

2.5.7. El Silicio promueve la colonización por microorganismos simbióticos.

El silicio mineral favorece la colonización del sistema radicular por líquenes, algas, micorrizas y bacterias, mejorando la asimilación y fijación de nutrientes como el nitrógeno y fósforo, así como otros minerales (Quero, 2008).

2.5.8. El Silicio reduce la lixiviación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, en las áreas de cultivo.

El silicio puede reducir la lixiviación de los nutrientes en suelos con textura arenosa para almacenarlos en una forma asimilable para la planta, tales como coloides, (Quero, 2008).

2.5.9. El Silicio incrementa la protección de las plantas contra el ataque de enfermedades e insectos

La protección de los tejidos vegetales de manera mecánica y bioquímica, se debe a la acumulación del silicio en los tejidos de la epidermis en forma polimérica,

orgánica y cristalina lo que proporciona mayor fortaleza a los tejidos. El silicio ha sido empleado de manera eficiente para el control de numerosas enfermedades fúngicas y contra los ataques de insectos, así como han sido empleados los pesticidas y fungicidas, pero sin causar efectos negativos en el medio ambiente. La cantidad de tricomas en las plantas se estimulan de un 20 a un 80% (Quero, 2008).

2.5.10. El Silicio restaura Áreas contaminadas por metales pesados e hidrocarburos.

Los fertilizantes minerales que sean ricos en silicio son capaces de neutralizar el efecto tóxico de los metales pesados y restauran la fertilidad del suelo. En varios experimentos realizados en laboratorio y en campo, han demostrado que el silicio puede ser utilizado como una nueva tecnología en la purificación y restauración de suelos que han sido contaminados con aceites y productos derivados de los hidrocarburos (Quero, 2008).

2.5.11. El Silicio mejora el empleo de biosólidos.

Al realizarse mezclas de compostas ricas en silicio activo con biosólidos como el estiércol de ganado, se pueden transformar los contaminantes tóxicos en materiales inertes. Además se potencializan los elementos minerales contenidos en ellos y se reduce la lixiviación de los mismos (Quero, 2008).

2.5.12. El Silicio posee una acción sinérgica con Calcio, Magnesio, Hierro, Zinc y Molibdeno

Los seis elementos presentan una acción sinérgica con el silicio, lo que permite optimizar el desarrollo de los cultivos y su producción en la cosecha, regularizando y mejorando la vida media de las cosechas percederas, (Quero, 2008).

2.6. Silicio Comercial

En el mercado podemos encontrar silicio como producto comercial con el nombre de SILMAG, el mismo que posee en su composición un 40 % SiO₂ + 17 % MgO + 5% S, en presentaciones de 50 kg.

El producto se encuentra en presentación granular en mezcla química, y es utilizado como fuente de magnesio, silicio y azufre para aplicaciones edáficas en cultivos agrícolas. Debido a su composición química, al aplicarse el producto, se inicia la liberación del Silicio como Ácido Monosilísico (H₄SiO₄) que es la forma soluble que actúa en el suelo y la única forma química como las plantas pueden tomar silicio del mismo (FERMAGRI, 2015).

2.6.1. Propiedades Físicas y Químicas

APARIENCIA: Gránulos Gris

DENSIDAD APARENTE: 1.10 g/cm³

DENSIDAD REAL: 1.90 g/cm³

PH (10%): 8.5

OLOR: Característico

HUMEDAD: 1% máx.

SOLUBILIDAD: Poco soluble en agua, parcialmente soluble en ácido clorhídrico.

2.6.2. El silicio y su porcentaje en suelo y hojas

Países como Rusia e India, han demostrado mediante investigaciones que los niveles de silicio óptimos en hojas varían 2,4% a 2,36%, en países como Colombia la producción promedio de cacao en el 2015 fue de 2900 kg/ha y se ha evidenciado que con niveles de 2,4% de silicio en hojas la producción aumenta a 3500 kg/ha.

La mayoría de los suelos contienen grandes cantidades de silicio soluble con concentraciones en el rango de 3.5 a 40 mg/L. Las concentraciones de esta magnitud son comunes en varios nutrientes inorgánicos como SO₄, K, Ca y se encuentran en exceso en las concentraciones de fosfato en la solución del suelo. Sin embargo, la disolución del silicio desde los minerales del suelo es lenta, su adsorción por el suelo

y las prácticas agrícolas intensivas hacen que los niveles de silicio disponible se reduzcan considerablemente hasta el punto de que es necesario suplementar con productos a base de silicio para obtener las producciones agrícolas deseadas (FERMAGRI, 20015).

En la planta, el Si se presenta en concentraciones similares a las de los macronutrientes y es en general el principal constituyente inorgánico de las plantas superiores. Según Epstein, los niveles de silicio en tejido foliar en plantas, varían entre rangos de 0.1-10% en materia seca dependiendo del cultivo. En los niveles más bajos de silicio en rangos de 0,1%, se puede comparar en cantidad por unidad de materia seca a nutrientes como Fósforo, Calcio, Magnesio y Azufre. En niveles más altos de los rangos de Silicio, 10%, excede las concentraciones en los tejidos, inclusive, más que los nutrientes que son considerados como abundantes, tal es el caso del Nitrógeno y Potasio (Álvarez y Osorio, 2014).

Jones y Handreck en 1967, después de analizar el contenido de silicio en varias plantas, propusieron la división de las plantas en tres grupos según el contenido de Silicio. Los cuales son los siguientes: valores altos de silicio con rangos entre el 10-15% en materia seca, estas comprenden las gramíneas de las zonas húmedas como el arroz; valores intermedios del orden de 1-3%, tales como el centeno y avena, y valores bajos con menos del 1%, que corresponden a la mayoría de las dicotiledóneas (Álvarez y Osorio, 2014). De igual manera se ha sido demostrado que los contenidos de Calcio y Silicio varían en especies de monocotiledóneas y dicotiledóneas. En estas investigaciones se observa que en especies de monocotiledóneas el contenido de Silicio es mayor que el contenido de Calcio, en las dicotiledóneas ocurre lo contrario, donde se manifiesta un mayor contenido de Calcio que el de Silicio. De esta manera se pueden diferenciar las plantas acumuladoras de Silicio de las no acumuladoras, mediante el uso de dos criterios: el contenido de Silicio y la relación Si/Ca. Las plantas que poseen un contenido de Si y una relación Si/Ca mayor de 1% y 1, respectivamente, son consideradas plantas acumuladoras de Silicio. A diferencia, las plantas con un contenido de Si menor de 0.5% y la relación Si/Ca menor de 0.5 se definen como plantas no acumuladoras de Silicio. Se pueden considerar plantas que son consideradas como intermedias si los valores están entre las acumuladoras y las plantas no acumuladoras (Álvarez y Osorio, 2014).

Tabla 1. Categorización de plantas que acumulan silicio.

	Clasificaciones		
	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	+	+/-	-

(Álvarez y Osorio, 2014)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

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

Propietario: Ing. Galo Chiriboga

Propiedad: Finca de flores y follajes tropicales

Ubicación: Sector San Andrés 2, km 16 Vía Santo Domingo – Quevedo.

3.1.2. Ubicación geográfica

Latitud: 9959159

Longitud: 692521

3.1.3. Ubicación ecológica

Zona de vida: Bosque húmedo subtropical (bht).

Altitud: 343 m.s.n.m.

Temperatura: 25 °C.

Precipitación: 2800mm/año.

Humedad relativa: 85%.

Heliofanía: 680h luz/año.

Suelos: Franco Limo arcillosos

Vegetación: Predominantemente pasturas, especies forestales, cultivos anuales y perennes.

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales de oficina

Esferos, lápiz, carpetas, cuaderno, hojas papel bond, computadora, cámara fotográfica.

3.2.2. Materiales de campo

Tabla 2. Materiales, herramientas e insumos.

Materiales y Herramientas	Insumos
Machete	Ridomil Gold
Moto Guadaña	Fitoraz
Tijeras de podar	Benfurool
Tijera poda de altura	Glifosato
Fundas plásticas	Paraquat
Cintas de color rojo	Ecuafix
Estacas	Ácido nítrico
Rótulos	SILMAG 45
Gramera	FERCACAO GOLD
Balanza	18-46-0
Saquillos	
Balde de 20 lts	
Carretilla	
Pala	
Cintas medidoras de pH	

3.3. Métodos

3.3.1. Diseño Experimental

3.3.1.1. Factores a probar

En el presente trabajo de investigación se utilizó como factor en estudio el fertilizante SILMAG, en el cultivo de cacao CCN-51 de cinco años de edad, con dos aplicaciones las cuales se realizaron al primer y cuarto mes de iniciada la investigación, esto debido a que la bibliografía menciona que la curva de liberación así como el nivel de silicio foliar declina fuertemente a partir de la semana 16 de la última aplicación.

3.3.1.2. Tratamientos a comparar

En la siguiente tabla se explican los tratamientos evaluados durante la investigación:

Tabla 3. Tratamientos evaluados.

Tratamiento	Descripción
T0	Sin aplicación (Testigo)
T1	100 kg/ha de SILMAG 45
T2	200 kg/ha de SILMAG 45
T3	300 kg/ha de SILMAG 45

3.3.1.3. Tipo de diseño

Para el diseño estadístico de la investigación, se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA).

3.3.1.4. Repeticiones

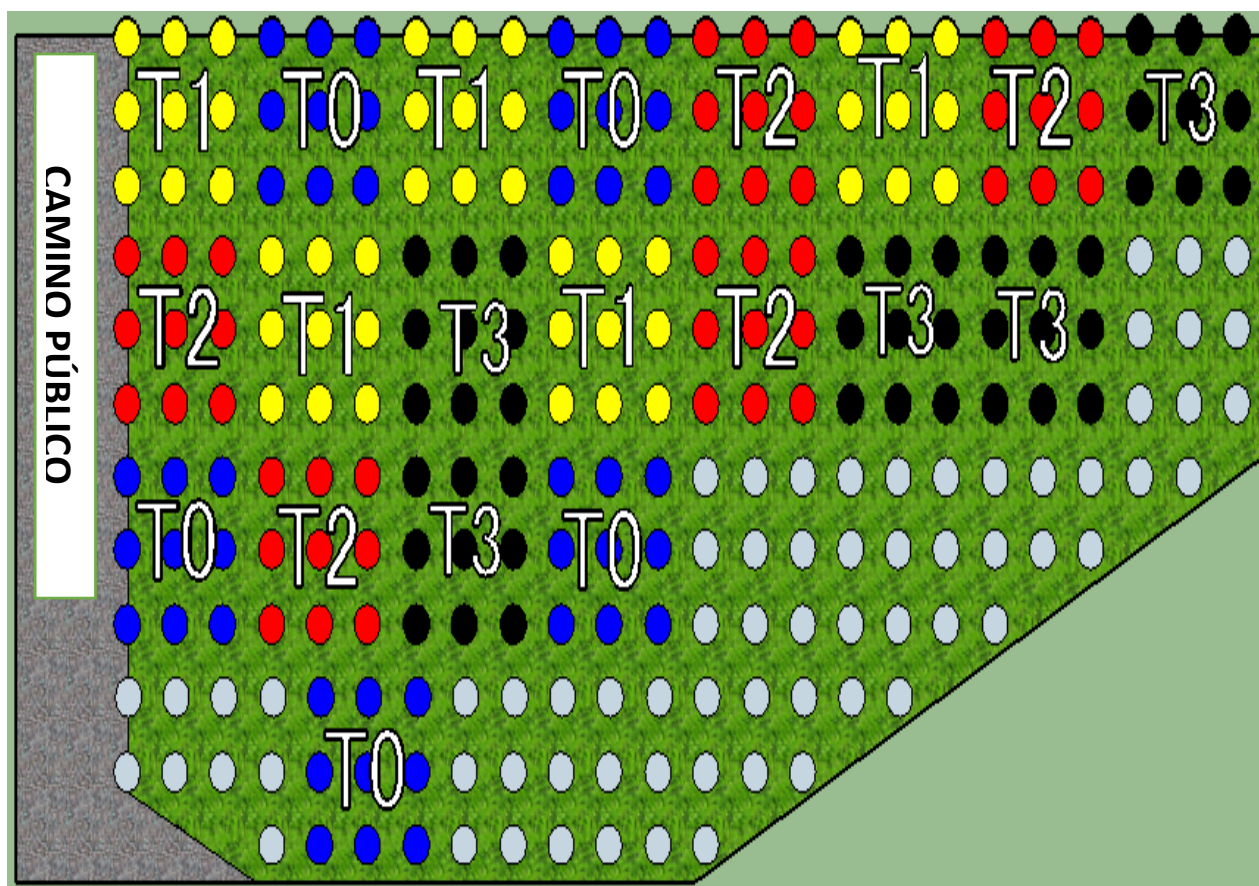
Para los cuatro tratamientos se realizaron cinco repeticiones.

3.3.1.5. Características de las unidades experimentales

Número de unidades experimentales:	20
Área de las unidades experimentales:	64 m ²
Largo:	8 m
Ancho:	8 m
Forma de UE:	Cuadrado
Área total del ensayo:	1600 m ²
Largo:	40 m
Ancho:	40 m
Forma del ensayo:	Cuadrado

3.3.1.6. Croquis del diseño

Figura 1. Croquis del diseño de la investigación.



3.3.2. Análisis estadístico

3.3.2.1. Esquema de análisis de varianza

Tabla 4. Esquema de análisis de varianza de la investigación

Fuentes de variación	Grados de libertad	
Tratamientos	(t-1)	3
Bloques	(r-1)	4
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:

$$CV = \frac{\sqrt{CMe}}{X} * 100$$

Donde:

CV= Coeficiente de variación

CMe= Cuadrado medio del error

X = Media general del experimento

3.3.2.3. Análisis funcional

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

3.3.2.4. Regresiones y correlaciones

Se realizaron regresiones y correlaciones entre el factor en estudio y las variables en evaluación. Entre ellas tenemos la dosis del fertilizante SILMAG por cantidad de almendras cosechadas medidas en libras.

3.3.3. Variables a medir

Número de chereles.- Para el conteo de chereles, se partió de una línea base, en la cual se contabilizaron los números de flores fecundadas (chereles) previo a la aplicación de los tratamientos, para tener un parámetro de evaluación.

Número de mazorcas.- De igual manera para el número de mazorcas, se partió del número total de la línea base, donde se contabilizaron todas las mazorcas sanas.

Índice de semilla.- Se utilizó como base el peso de 100 semillas fermentadas y secas, obtenidas de una muestra de 20 mazorcas tomadas al azar, para determinar el índice de semilla se utilizó la siguiente fórmula:

$$IS = \frac{\text{Peso en gramos de 100 semillas secas}}{100}$$

Peso de almendras en baba.- La producción de almendras en babas se realizó contabilizando el número de mazorcas sanas cosechadas en la planta evaluada más el número de mazorcas de toda la parcela, eso para todos los tratamientos con sus repeticiones correspondientes.

3.3.4. Métodos específicos del manejo del experimento

3.3.5.1. Fase de implantación

Previo a la instalación del proyecto de investigación se realizaron controles químicos para enfermedades como Escoba de Bruja (*Moniliophthora perniciosa*) y para el ataque del Chinche del cacao (*Monalonion disimulatum*), para esto se utilizó un fungicida sistémico (Ridomil Gold) con dosis de 500 gr/200 lt de agua y un insecticida sistémico (Benfurol) a dosis de 250 ml/200 lt de agua. Se realizaron dos aplicaciones con intervalos de 3 meses.

De igual manera se realizó un control mecánico de maleza con la ayuda de una motoguadaña y posteriormente un control químico mediante la utilización de un herbicida sistémico no selectivo (Glifosato) con una dosis de 1 lt/200 lt de agua.

Una vez preparada el área de investigación se procedió a delimitar las parcelas netas para cada tratamiento con sus repeticiones respectivas. La parcela neta contó con

un número total de 9 plantas, de la cual se evaluó una planta, a esta planta evaluada se la marcó con una cinta de color rojo para poder identificarla del resto de plantas.

Para garantizar una óptima respuesta del cultivo, se realizaron diferentes labores culturales, tales como podas sanitarias con una frecuencia quincenal, las cuales consistieron en la eliminación manual de mazorcas con presencia de enfermedades como Monilia (*Moniliophthora roreri*), Mazorca Negra (*Phytophthora palmivora*) y Chercelle Wilt, y de igual manera se hicieron podas para controlar Escoba de Bruja (*Moniliophthora perniciosa*).

Se hicieron análisis de suelo y foliares para determinar el estado de nutrición del suelo y cultivo, el primer análisis se lo realizó al inicio de la investigación, las muestras fueron tomadas el 01 de mayo del 2016 y sirvió como línea base, el segundo análisis se lo realizó al culminar la investigación el día 28 de diciembre del 2016. Se realizó un análisis completo adicionando la cantidad inicial de Silicio disponible para la planta en suelo y la cantidad existente en follaje, los análisis fueron realizados en el laboratorio Agrar Projekt ubicado en la ciudad de Quito.

Para la nutrición del cultivo se realizaron aplicaciones edáficas de FERCACAO GOLD, fertilizante compuesto recomendado para el cultivo de cacao en etapa de producción, posee la siguiente composición: N 15%, P 5%, K 20%. Se aplicaron 400 gr por planta en dos aplicaciones, la primera aplicación previa a la implantación de la investigación se la realizó el 25 de Mayo del 2016 y una segunda aplicación al culminar la investigación.

3.3.5.2. Fase de aplicación de tratamientos

Los tratamientos aplicados fueron cuatro, el primer tratamiento (T1), con dosis de silicio de 100 kg/ha/año, el segundo tratamiento (T2), con dosis de 200 kg/ha/año, el tercero (T3), con dosis de 300 kg/ha/año y un testigo (T0) sin aplicación del producto. El fertilizante edáfico fue fraccionado en dos aplicaciones, la primera (60%) se aplicó el 20 de junio del 2016 y la segunda aplicación (40%) se la realizó el 20 de octubre del 2016.

3.3.5.3. Fase de evaluación

La tesis se limitó a la respuesta productiva de la planta al aporte del Silicio, para ello se realizaron monitoreos quincenales, donde se evaluaron los números de chereles y los números de mazorcas de cada tratamiento, de igual manera se obtuvo el índice de semilla de cada tratamiento.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos de las variables medidas en campo, fueron analizados estadísticamente mediante la utilización del programa estadístico INFOSTAT, con el cuál se realizaron los análisis de varianza (ADEVAS), con una prueba de significancia de Duncan al 0,05% de probabilidad para establecer todos los rangos de significancia estadística. Además se realizó una transformación de datos a raíz cuadrada adicionando 0,5, con el fin de homogenizar la muestra.

4.1.1. Análisis de suelo

Tabla 5. Primer análisis de suelo, macro- y microelementos.

Elemento	Unidad	Rango normal para cacao	T0
(NO ₃ +NH ₄)-N	mg/kg	18 - 30	19,8
Fósforo (P)	mg/kg	16 - 25	7,8
Potasio (K)	mg/kg	90 - 160	49,5
Magnesio (Mg)	mg/kg	40 - 100	49,7
Calcio (Ca)	mg/kg	300 - 800	200
Azufre (S)	mg/kg	10 - 15	3,5
Silicio (Si)	mg/kg	Sin rango	11,9
Hierro (Fe)	mg/kg	11 - 25	52,2
Manganeso (Mn)	mg/kg	6 - 30	4,8
Cobre (Cu)	mg/kg	0,9 - 4,0	3,7
Zinc (Zn)	mg/kg	1,1 - 6,0	2,2
Boro (B)	mg/kg	0,15 - 0,6	0,2
Sodio (Na)	mg/kg	< 140	2,9
Cloruro (Cl ⁻)	mS/cm	< 210	6,5
Sales Totales	mg/kg	< 2000	66,6
pH (en KCl)		5,8 - 7,0	5,4

Según el análisis de suelo inicial que se muestra en la tabla 5, observamos una concentración de Silicio edáfico de 11,9 mg/kg. De igual manera se pueden observar valores normales según el rango para cacao de los macronutrientes como: Nitrógeno (NO₃+NH₄)-N, Magnesio (Mg) y todos los micronutrientes a excepción del Manganeso y el Hierro que se encuentran en deficiencia y en exceso respectivamente. La deficiencia nutricional se evidencia en macronutrientes como es el caso del Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Azufre (S).

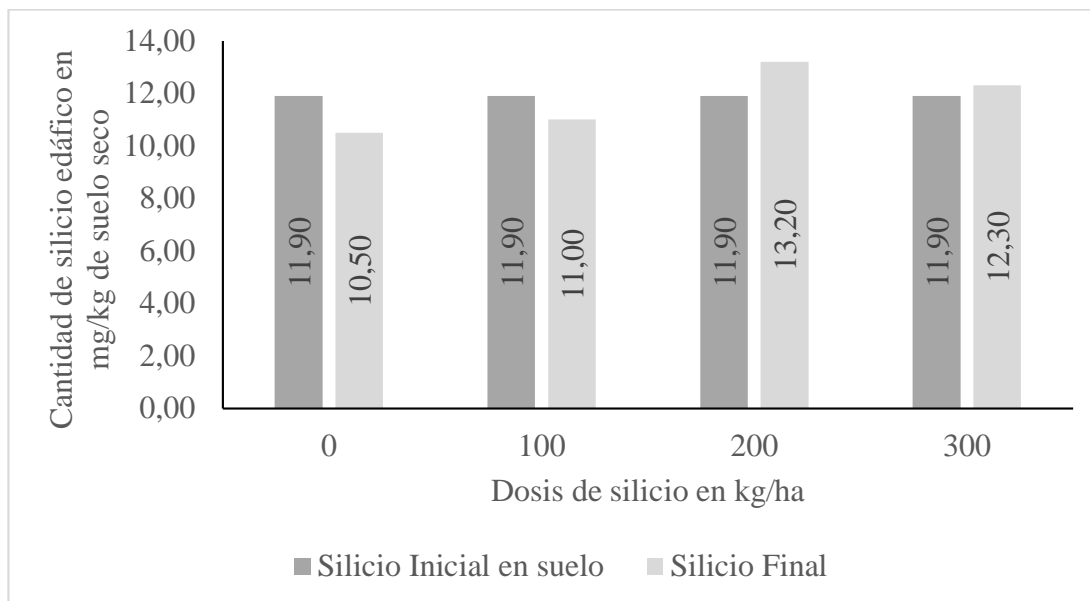
Tabla 6. Análisis inicial vs final de suelo, macro y micro nutrientes.

Elemento	Unidad	Análisis inicial de suelo	T0 Silmag	T1 Silmag	T2 Silmag	T3 Silmag
(NO ₃ +NH ₄)-N	mg/kg	19,8	14,1	12	18,1	11,5
Fósforo (P)	mg/kg	7,8	7,4	6,7	6,2	5,8
Potasio (K)	mg/kg	49,5	83	39	55,5	87,5
Magnesio (Mg)	mg/kg	49,7	58,5	60,5	58	68,5
Calcio (Ca)	mg/kg	200	275	262	237	237
Azufre (S)	mg/kg	3,5	3,6	7	16,8	20,3
Hierro (Fe)	mg/kg	52,2	83,5	94	112	107
Manganeso (Mn)	mg/kg	4,8	7,5	8,4	8,8	7,1
Cobre (Cu)	mg/kg	3,7	5,8	5,6	6,2	6,5
Zinc (Zn)	mg/kg	2,2	4,7	2,9	4,5	3,9
Boro (B)	mg/kg	0,2	0,25	0,17	0,32	0,18
Silicio (Si)-Agua	mg/kg	11,9	10,5	11	13,2	12,3
Silicio (Si)-NaCl	mg/kg	-	41,3	43,8	48,8	49,9
Sodio (Na)	mg/kg	2,9	5,1	4,4	8,3	8
Cloruro (Cl ⁻)	mg/kg	6,5	11,2	3,8	20	13,4
Sales Totales	mS/cm	66,6	83,3	83,3	183	133
pH (en KCl)		5,4	5,4	5,3	5,1	5,3

AGRARPROJEKT S.A.

Para determinar la acción del SILMAG y su respuesta a las diferentes dosis, de silicio se realizó posteriormente un segundo análisis edáfico 6 meses después para cada tratamiento, obteniendo como resultado los siguientes niveles de silicio disponible en el suelo que se muestran en el gráfico 1.

Gráfico 1. Comparación del contenido inicial y final de silicio disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.

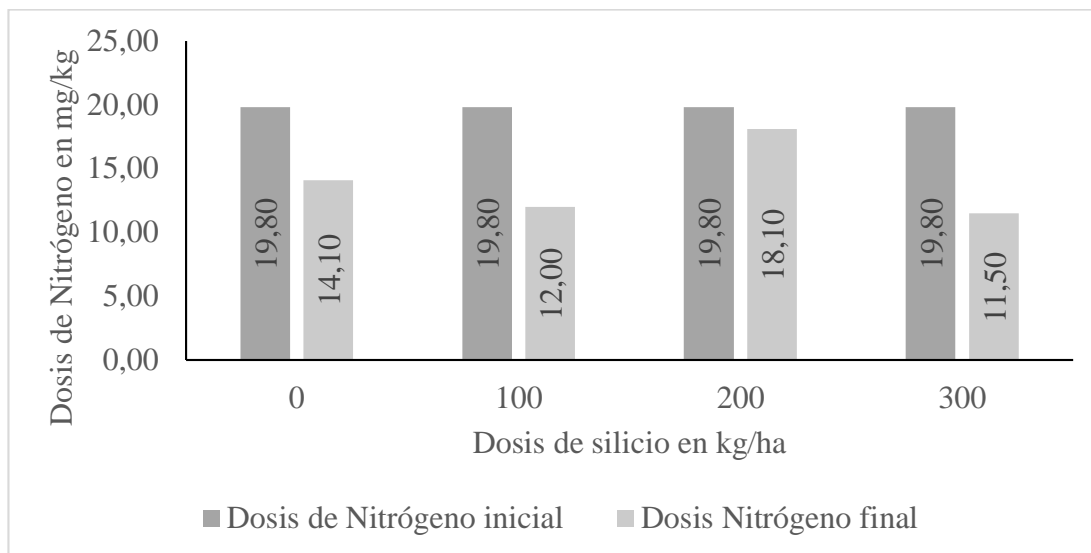


El gráfico 1 muestra la cantidad de silicio disponible en el suelo expresado en mg/kg por cada tratamiento. Se puede observar que en el T0 (0kg/ha de SILMAG) disminuye la disponibilidad 1,40 mg/kg de silicio en la solución del suelo, debido a la extracción del elemento por parte del cultivo. De igual manera en el T1 (100 kg/ha de silicio), aumentó el consumo del nutriente reduciendo su disponibilidad 0,90 mg/kg.

En los tratamientos T2 y T3, observamos en el gráfico 1 una acumulación de silicio de 1,30 mg/kg y 0,4 mg/kg respectivamente. Aumentando la disponibilidad de silicio asimilable en la solución de suelo.

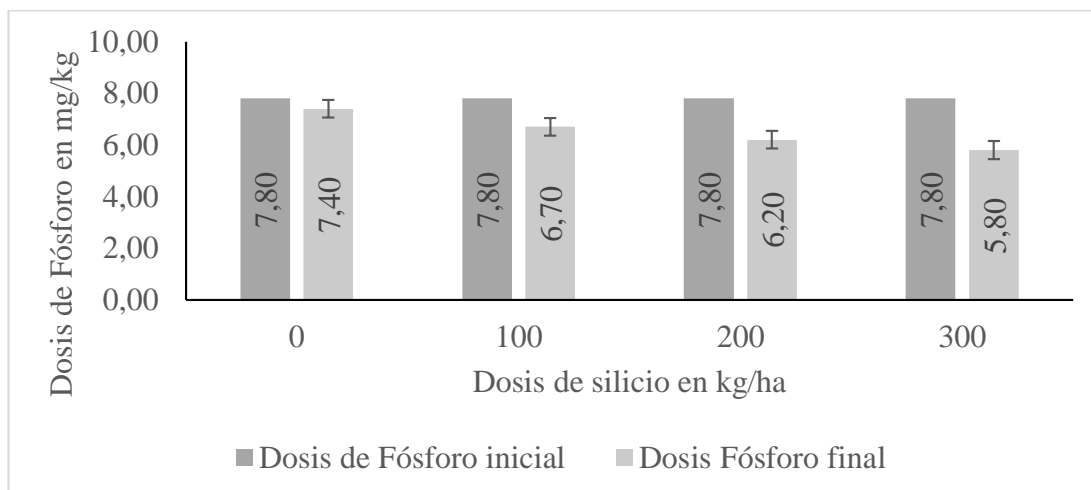
Los valores de Nitrógeno según la tabla 6, expresado en (NO₃+NH₄)-N, muestran que el T2 se encuentra dentro de los rangos normales para cacao con una cantidad de 18,1 mg/kg, a diferencia de los demás tratamientos los cuáles se encuentran fuera del rango óptimo para el cultivo (18 – 30 mg/kg), es decir en deficiencia como lo muestra el gráfico 2.

Gráfico 2. Comparación del contenido inicial y final de nitrógeno disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.



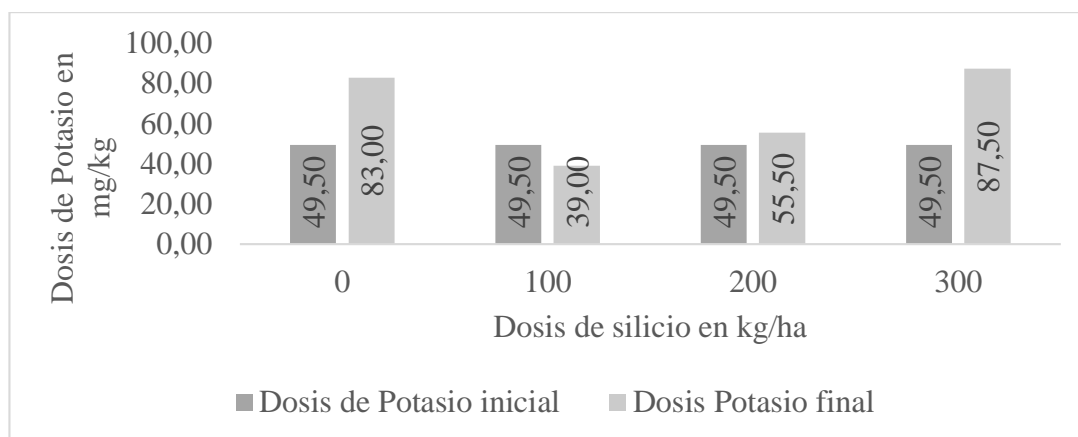
En la tabla 6, se observan deficiencias de macronutrientes, tal es el caso del Fósforo (P), el cuál según el análisis inicial, se encuentra bajo los rangos normales del cultivo (16 – 25 mg/kg), este pasó de un valor inicial de 7,80 mg/kg a valores entre 5,80 a 7,40 mg/kg, siendo el testigo el que mantuvo un nivel más alto de dicho nutriente, esto manifiesta que a niveles más altos de silicio, aumenta el consumo y disminuye la disponibilidad del fósforo en suelo, debido a que se transforma a una manera más asimilable para la planta.

Gráfico 3. Comparación del contenido inicial y final de fósforo disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.



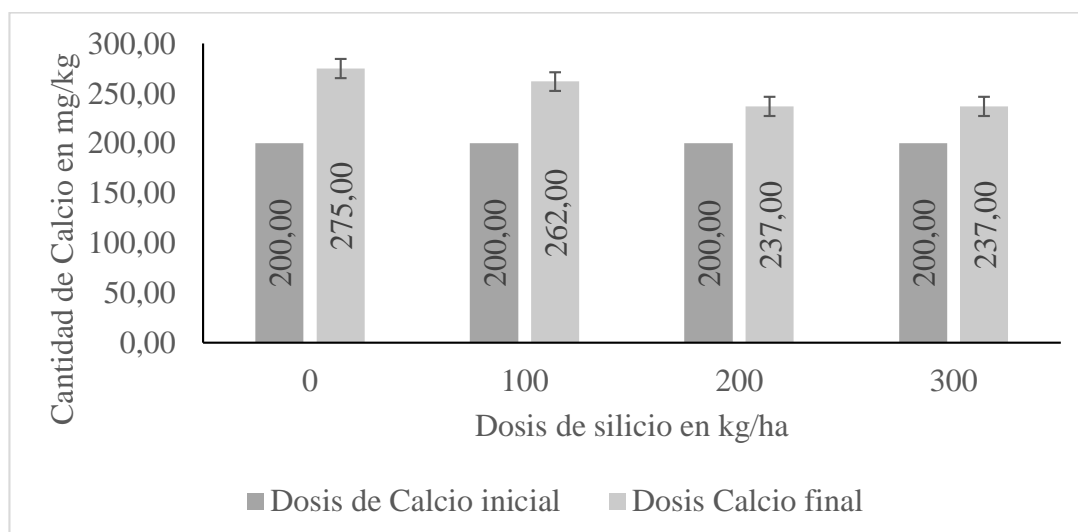
De igual manera el Potasio (K), elemento que al inicio de la investigación se encontraba en deficiencia con un valor de 49,50 mg/kg, siguió manteniéndose por debajo el rango óptimo del cultivo (90 – 160mg/kg), con valores entre 39 mg/kg a 87,50 mg/kg, siendo el tratamiento 3 y el testigo, los que presentan mayor cantidad de potasio disponible en el suelo. Esto puede atribuirse a la adición del mineral mediante la aplicación del fertilizante FERCACAO GOLD.

Gráfico 4. Comparación del contenido inicial y final de potasio disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.



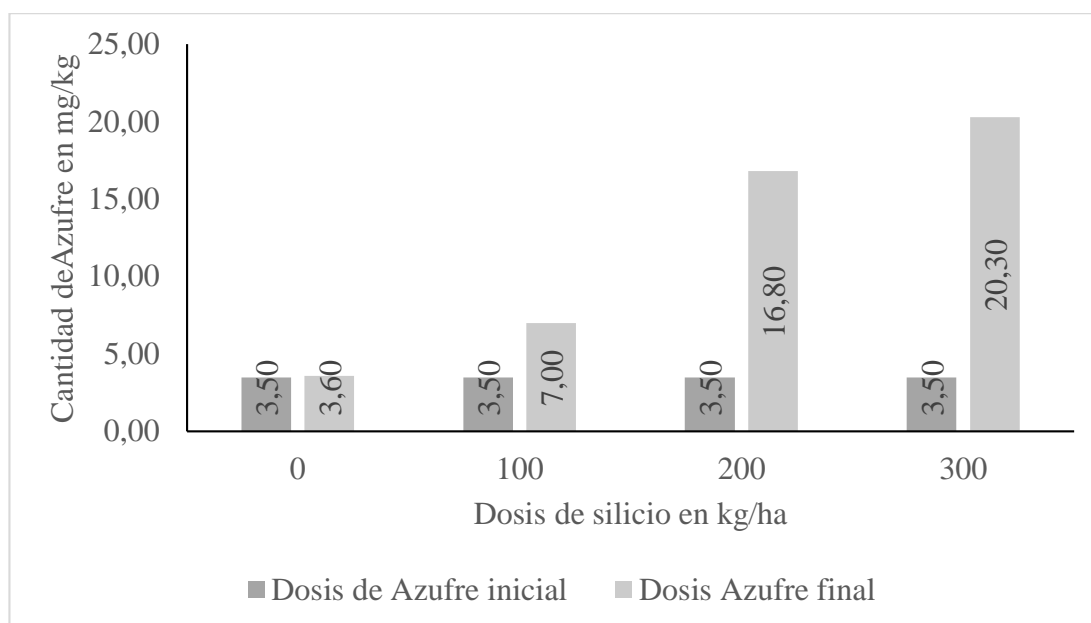
El Calcio (Ca), presentó un aumento en el contenido de la solución del suelo, que registro un valor inicial de 200 mg/kg, aumentando a valores entre 237 mg/kg y 275 mg/kg, los mismos que se encuentran fuera del rango óptimo del cultivo (300 – 800 mg/kg).

Gráfico 5. Comparación del contenido inicial y final de calcio disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.



Existió un aumento significativo de la disponibilidad del azufre en todos los tratamientos a los que se incorporó silicio, donde se muestra un valor inicial de 3,5 mg/kg como lo indica la tabla 5, a un valor óptimo de 7 mg/kg en el tratamiento 1, y valores excesivos de 16,8 y 20,3 para los tratamientos 2 y 3 respectivamente. Esto debido a la incorporación de dicho elemento mediante la aplicación de SILMAG.

Gráfico 6. Comparación del contenido inicial y final de azufre disponible en el suelo en mg/kg, por tratamiento.



En el caso de los micronutrientes, la tabla 6 nos demuestra que se regularizaron los valores, alcanzando niveles óptimos de los nutrientes, a excepción del Hierro (Fe), elemento que se encontraba en exceso al inicio de la investigación, el cual paso de 52,2 a 112 mg/kg de suelo. Se pudo evidenciar un aumento parecido en la disponibilidad de Cobre (Cu), el cual paso de un valor óptimo de 3,7 mg/kg a valores elevados como 6,5 mg/kg, valor obtenido en el tratamiento 3.

4.1.2. Análisis foliar

Tabla 7. Análisis foliar inicial de macro- y microelementos en materia seca.

Elemento	Unidad	Rango normal para cacao	T0
Nitrógeno total (N)	%	1.90 – 2.50 %	2
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
Manganeso (Mn)	ppm(mg/kg)	50 – 300 ppm	70
Cobre (Cu)	ppm(mg/kg)	8 – 12 ppm	6,7
Zinc (Zn)	ppm(mg/kg)	20 – 100 ppm	149
Boro (B)	ppm(mg/kg)	25 – 70 ppm	48
Silicio (Si)	%		0,013

AGRARPROJEKT S.A.

Los niveles de silicio foliar inicial mostrados en la tabla 7, indican un valor de 0,013 %, valores más bajos que los rangos de plantas consideradas no acumuladoras de silicio, tal como lo muestra la tabla 1. Cabe recalcar que los datos fueron obtenidos de una muestra de 20 hojas.

Según los resultados del análisis foliar que se muestra en la tabla 7, se puede observar que los valores de los macronutrientes se encuentran en niveles normales para el cultivo de cacao, a excepción del Calcio (Ca) que presenta un porcentaje elevado de 1,43%, cuando los rangos normales de dicho nutriente oscilan entre 0,90 – 1,20 %, esto evidencia lo expuesto por Jones y Handreck, quienes aseguran que en plantas dicotiledóneas como el cacao, el contenido de silicio en tejido es bajo, a diferencia del contenido de Ca que es superior. Por tal motivo se podría pensar que el cacao es una planta no acumuladora de silicio, debido a que cumple dicha regla de clasificación.

De igual manera los resultados del contenido de micronutrientes expresado en ppm (mg/kg) muestran valores óptimos para el cultivo de cacao, a excepción de nutrientes como el Cobre (Cu) el cual presenta una deficiencia con un valor de 6,7 ppm, cuando el rango normal es de 8 – 12 ppm. Para el caso del Zinc (Zn), podemos observar un valor de 149 ppm, valor elevado con respecto al rango normal que oscila de 20 a 100 ppm.

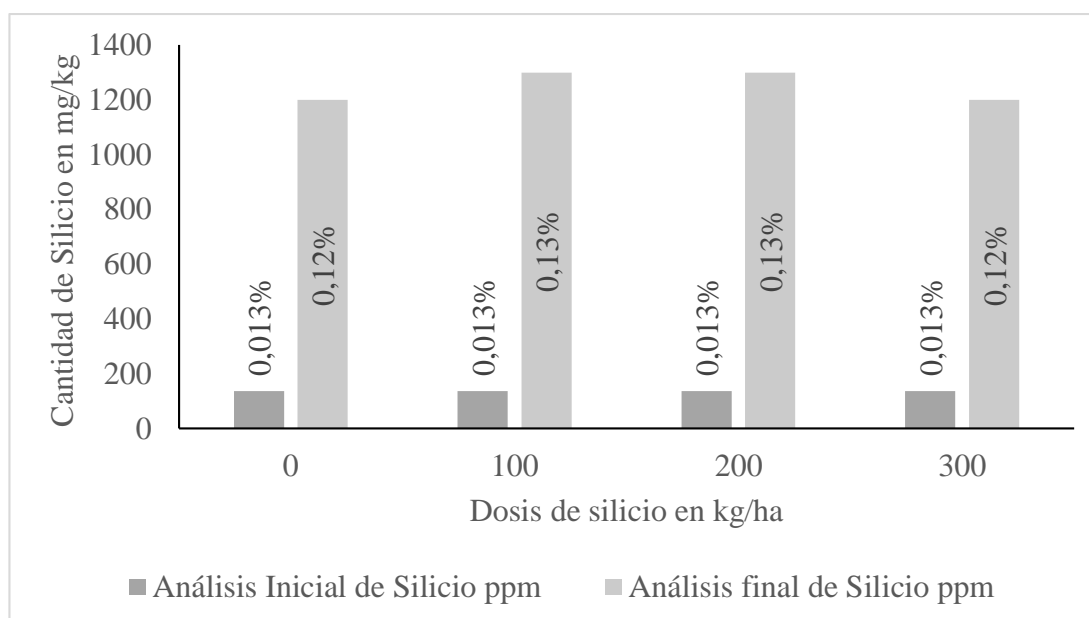
Tabla 8. Análisis foliar final de macro y microelementos.

Elemento	Unidad	Análisis foliar inicial	T0	T1	T2	T3
Nitrógeno (N)	%	2	1,94	2,07	2,14	2,04
Fosforo (P)	%	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14
Potasio (K)	%	1,66	0,97	1,4	0,86	1
Magnesio (Mg)	%	0,47	0,53	0,51	0,51	0,53
Calcio (Ca)	%	1,43	1,91	1,66	2,29	2,31
Azufre (S)	%	0,19	0,19	0,19	0,14	0,2
Sodio (Na)	%	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04
Hierro (Fe)	ppm(mg/kg)	140	120	105	100	100
Manganeso (Mn)	ppm(mg/kg)	70	108	97,2	90	90,2
Cobre (Cu)	ppm(mg/kg)	6,7	7,4	11,1	4,9	6,2
Zinc (Zn)	ppm(mg/kg)	149	61,6	65,6	38	66,4
Boro (B)	ppm(mg/kg)	48	51,4	59	48,6	60,2
Silicio (Si)	%	0,013	0,12	0,13	0,13	0,12

AGRARPROJEKT S.A

En la tabla 8, se observa el contenido final de silicio en tejidos, en cada tratamiento, en rangos entre 0,12 a 0,13 %, valores muy por encima de los resultados iniciales, los cuales reflejaban un valor de 0,013 %. Mediante el análisis foliar final se puede corroborar que el porcentaje de Silicio en tejido foliar, corresponde a los rangos de clasificación de plantas no acumuladoras. El aumento en el contenido de silicio inicial vs el final, hace notoria la facilidad que tiene este producto de ingresar y acumularse en los tejidos de la planta.

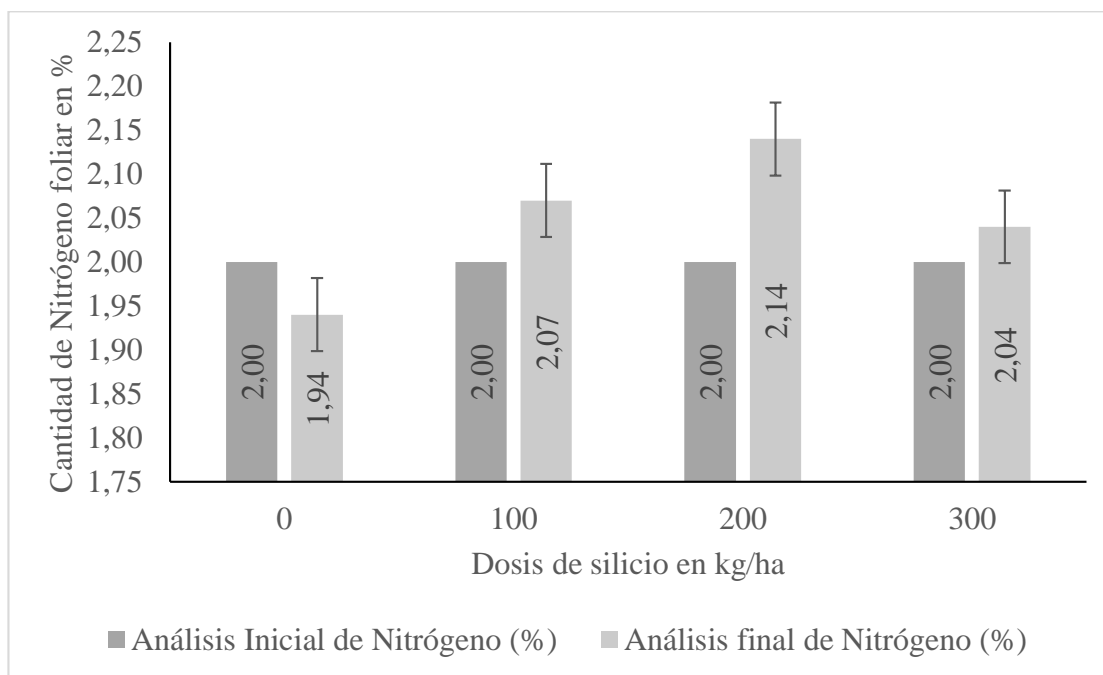
Gráfico 7. Comparación del contenido inicial y final de silicio foliar en mg/kg, por tratamiento.



Comparando los niveles iniciales y finales de silicio en la planta, como lo muestra el gráfico 7, Se evidencia un incremento que pasó de 0,013 % a valores que oscilan entre 0,12% en T0 y T1 y 0,13% de silicio en T2 y T3, podemos observar entonces un incremento de 0,11 a 0,12 % de silicio respectivamente.

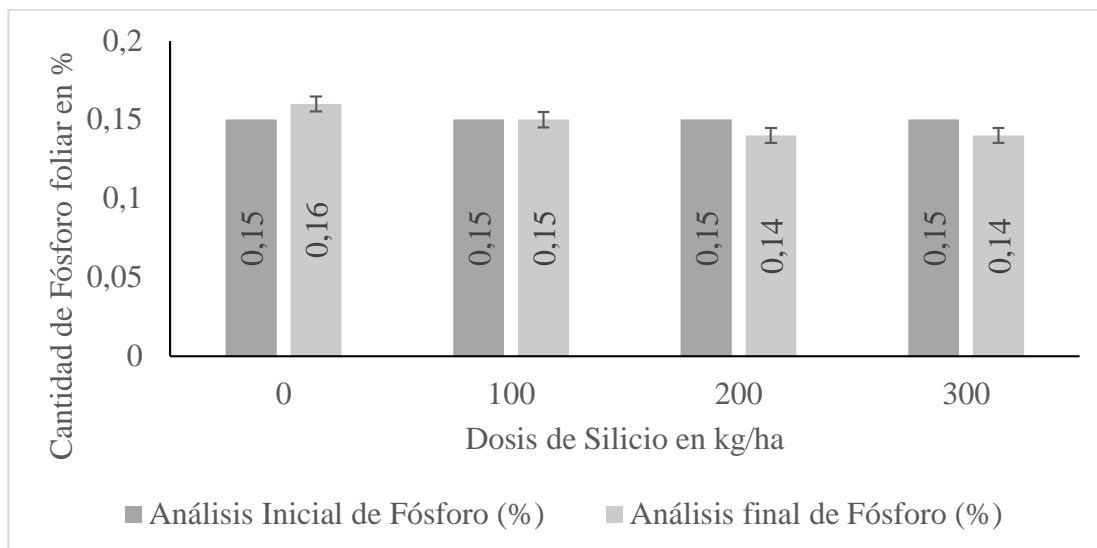
Según los resultados del análisis foliar final que muestra la tabla 8, observamos parámetros normales de los macronutrientes como: Nitrógeno (N) con valores en rangos de 1,94 – 2,14 %, valores dentro de los rangos normales para el cultivo (1,90 – 2,50 %). Siendo el T2 el que mayor concentración de dicho elemento posee en su tejido foliar, como lo muestra el gráfico 8.

Gráfico 8. Comparación del contenido inicial y el contenido final de nitrógeno foliar expresado en %, por cada tratamiento.



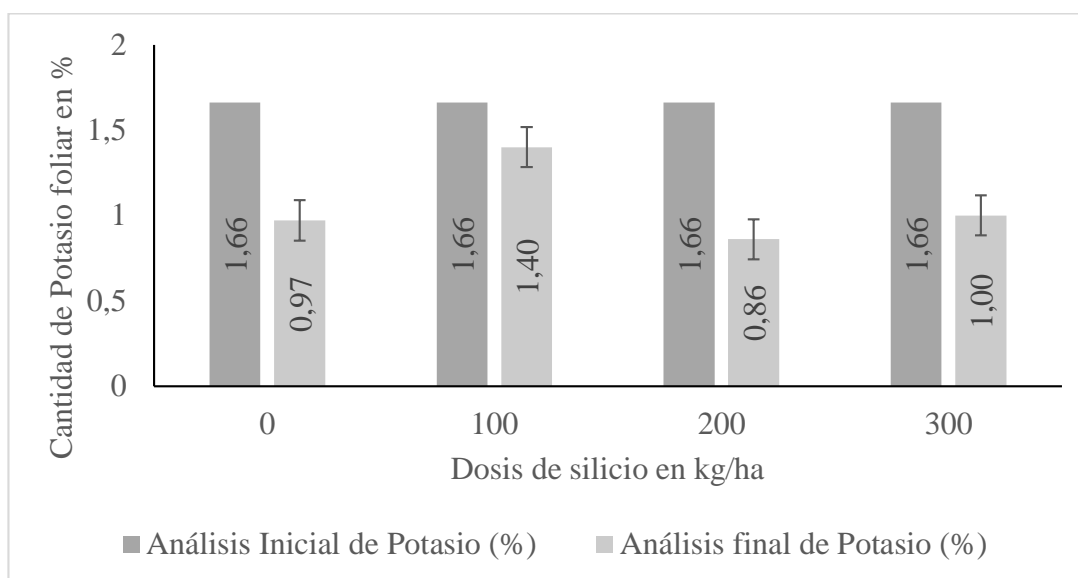
Para el análisis del Fósforo (P) en tejido foliar, se presentan valores en rangos normales entre 0,14 – 0,16%. Demostrando que a mayores dosis de silicio, mayor será la asimilación de fósforo, como lo muestra el gráfico 9.

Gráfico 9. Comparación del contenido inicial y final de fósforo foliar en %, por tratamiento.



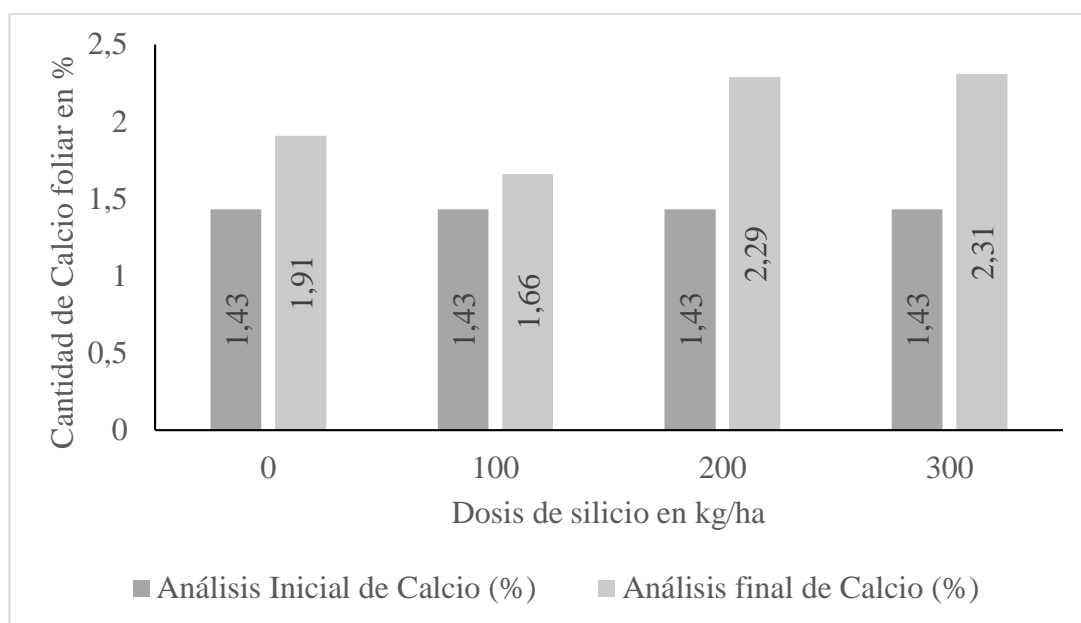
En el caso del Potasio (K) se evidencia parámetros fuera de los rangos normales del cultivo, en los tratamientos T0, T2 y T3, en los que se evidenció un mayor consumo del nutriente, sobresaliendo el T2 como el tratamiento que más consumió dicho elemento. En el caso del T1 con dosis de 100 kg/ha de silicio se obtuvo un valor dentro de los rangos normales para el cultivo de 1,4 %, tal como lo muestra el gráfico 10.

Gráfico 10. Comparación del contenido inicial y el contenido final de potasio foliar expresado en %, por cada tratamiento.



En el caso del Calcio (Ca), se presentó un incremento en la disponibilidad del elemento, superando los rangos normales para el cultivo (0,90 – 1,20 %) en todos los tratamientos, sobresaliendo los tratamientos con mayor dosis de SILMAG, T2 y T3, los cuáles presentaron un incremento con respecto a los valores iniciales de 0,86 y 0,88 % respectivamente, tal cual lo muestra el gráfico 11. Esto se debe a la relación Si/Ca en plantas monocotiledóneas no acumuladoras de silicio, en las cuáles a dosis más altas almacenan mayor cantidad de calcio que de silicio.

Gráfico 11. Comparación del contenido inicial y final de calcio foliar, por tratamiento.



Magnesio (Mg), Azufre (S) y Sodio (Na), se evidencia valores superiores a los rangos óptimos para el cultivo, tal cual lo muestra la tabla 8. Con respecto al Magnesio y el Azufre, su incremento se puede atribuir a la incorporación de estos nutrientes mediante la aplicación del SILMAG, fertilizante que contiene Magnesio y Azufre.

En el caso de los micronutrientes, se obtuvieron valores dentro del rango normal para el cultivo de cacao con excepción del Cobre (Cu) que reflejó valores deficientes, a excepción del T1 que presentó un valor de 11,1 ppm, valor dentro del rango normal para el cultivo, tal como lo muestra la tabla 8.

4.1.3. Número de chereles

Tabla 9. Análisis de varianza, variable número de chereles por 12 evaluaciones.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios											
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
Repeticiones	4	0,24 **	0,60 ns	0,98 ns	0,08 ns	0,08 ns	0,16 ns	0,16 ns	0,11 ns	0,13 ns	1,77 ns	0,66 ns	0,60 ns
Tratamientos	3	0,96 **	0,01 ns	0,09 ns	0,20 ns	0,07 ns	0,26 ns	0,34 ns	0,10 ns	0,09 ns	0,99 ns	0,57 ns	0,38 ns
Error	12	0,38 **	0,93 ns	0,32 ns	0,08 Ns	0,11 ns	0,5 ns	0,29 ns	0,16 ns	0,29 ns	0,63 ns	1,02 ns	0,39 ns
Total	19												
CV		20,33	52,04	60,57	45,64	54,86	90,25	75,89	64,70	77,78	60,45	55,31	28,80

La tabla 9 muestra el análisis de varianza para la variable número de chereles, en la cual se puede observar que en la primera fecha de evaluación se presenta significancia estadística, para posteriormente normalizarse los valores de número de chereles en las siguientes fechas. Cabe recalcar que por esta fecha el cultivo empezó a realizar la fecundación de flores por lo que se presentó mayor cantidad de chereles que coinciden con la primera fecha de evaluación, posteriormente no se evidencia algún efecto positivo del SILMAG sobre la producción de chereles.

Tabla 10. Análisis de varianza, variable número de chereles correspondiente a la primera evaluación.

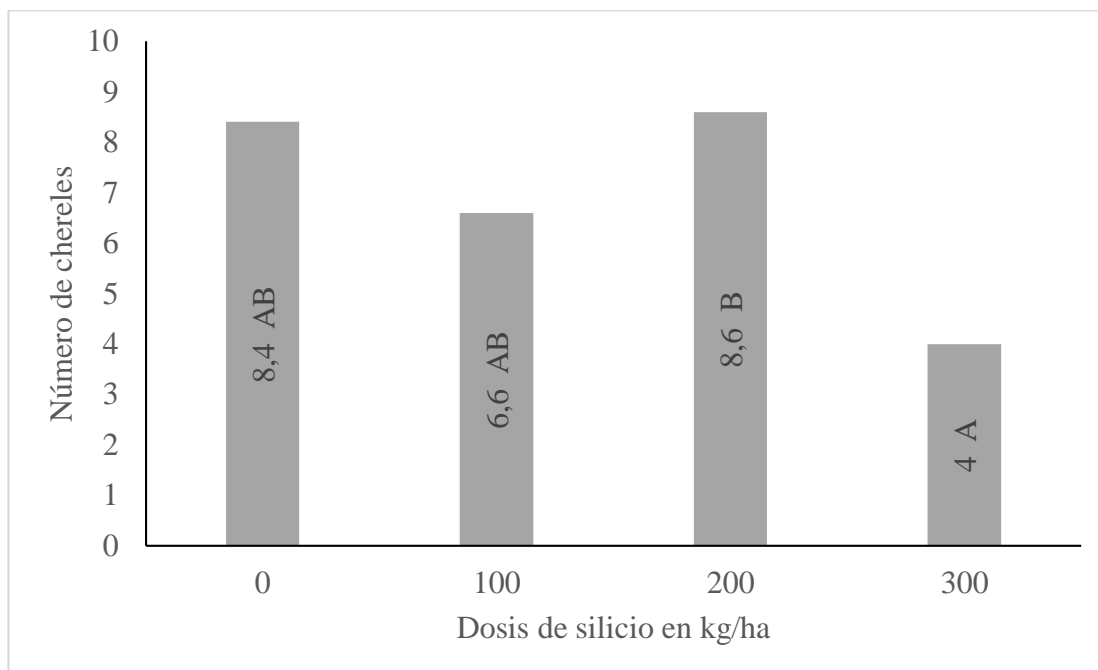
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	Probabilidad
Modelo.	3,83	7	0,55	1,43	0,2806
Tratamientos	2,89	3	0,96	2,51	0,1082
Repeticiones	0,94	4	0,24	0,61	0,6603
Error	4,6	12	0,38		
Total	8,43	19			

Tabla 11. Prueba de significancia según Duncan, para la variable número de chereles, de la primera fecha de evaluación

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
300	2,47	5	0,28	A	
100	2,95	5	0,28	A	B
0	3,35	5	0,28	A	B
200	3,42	5	0,28		B

En la tabla 11, se observa la prueba de significancia según Duncan, donde se obtuvo como resultado diferencias estadísticas entre los tratamientos, posicionando al T2 (200 kg/ha de silicio) como el tratamiento con mayor número de chereles, con una media de 3,42 por planta, tal como se observa en el gráfico 12.

Gráfico 12. Promedios de la variable número de chereles, para la primera evaluación.



4.1.4. Número de mazorcas

Tabla 12. Resumen del análisis de varianza para la variable número de mazorcas

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios											
		1°-	2°-	3°-	4°-	5°-	6°-	7°-	8°-	9°-	10°-	11°-	12°-
Repeticiones	4	3,28 ns	2,45 ns	1,18 ns	1,12 ns	1,31 ns	0,70 ns	0,55 ns	2,85 **	2,80 **	0,30 ns	1,46 ns	0,80 ns
Tratamientos	3	2,16 ns	1,03 ns	0,15 ns	0,04 ns	0,40 ns	0,50 ns	0,65 ns	5,68 **	4,86 **	3,84 ns	2,27 ns	2,03 ns
Error	12	1,74 ns	2,01 ns	1,31 ns	0,91 ns	0,56 ns	0,72 ns	0,69 ns	1,69 **	1,86 **	2,26 ns	1,92 ns	2,56 ns
Total	19												
CV		16,67	16,66	14,11	12,92	11,46	14,53	14,39	31,91	48,95	77,65	65,04	76,19

La tabla 12 indica los cuadrados medios del análisis de varianza para la variable número de mazorcas, en la cual se observa que los datos mantienen una tendencia homogénea, durante los primeros 3,5 meses de iniciada la aplicación de los tratamientos, sin haber diferencia estadística, mientras que a partir del cuarto mes de evaluación Duncan refleja diferencia estadísticas. A pesar de no existir significancia en la probabilidad.

Tabla 13. Análisis de varianza, variable número de mazorcas correspondiente a la octava evaluación.

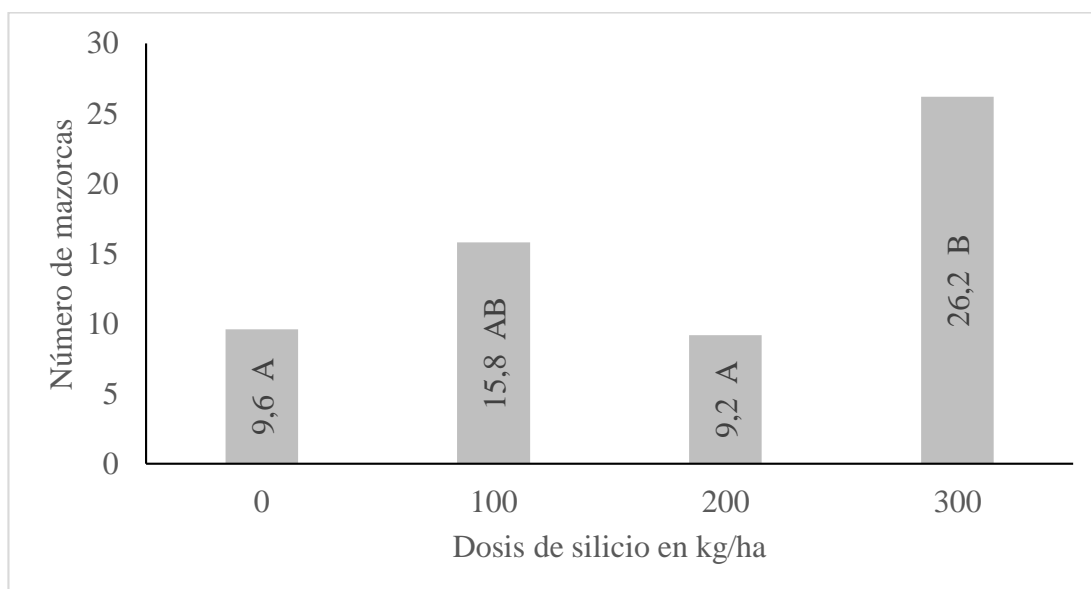
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	Probabilidad
Modelo.	28,41	7	4,06	2,4	0,087
Repeticiones	11,38	4	2,85	1,69	0,2175
Tratamientos	17,03	3	5,68	3,36	0,055
Error	20,25	12	1,69		
Total	48,67	19			

Tabla 14. Prueba de significancia según Duncan, para la variable número de mazorcas, de la octava fecha de evaluación

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
200	3,11	5	0,58	A	
0	3,39	5	0,58	A	
100	4,3	5	0,58	A	B
300	5,48	5	0,58		B

En la tabla 14 se muestra la prueba de significancia según Duncan, donde se observa que el T3 con dosis de 300 kg/ha de silicio, posee una media superior al resto de tratamientos, con un valor de 5,48 número de mazorcas, seguido del T1 con dosis de 100 kg/ha de silicio, el cual presenta un valor promedio de 4,3 mazorcas, como lo demuestra el gráfico 13.

Gráfico 13. Promedios de la variable número de mazorcas, para la octava fecha de evaluación.



El análisis de varianza para la novena evaluación, según Duncan los datos reflejan diferencia en los tratamientos y un coeficiente de variación de 48,45, con medias que oscilan entre 1,94 a 4,03 mazorcas por tratamiento, como lo muestra la tabla 16. A pesar de la prueba significancia, no existe diferencia en p-valor, lo que evidencia que la aplicación de silicio no incide en el número de mazorcas.

Tabla 15. Análisis de varianza, variable número de mazorcas correspondiente a la novena evaluación.

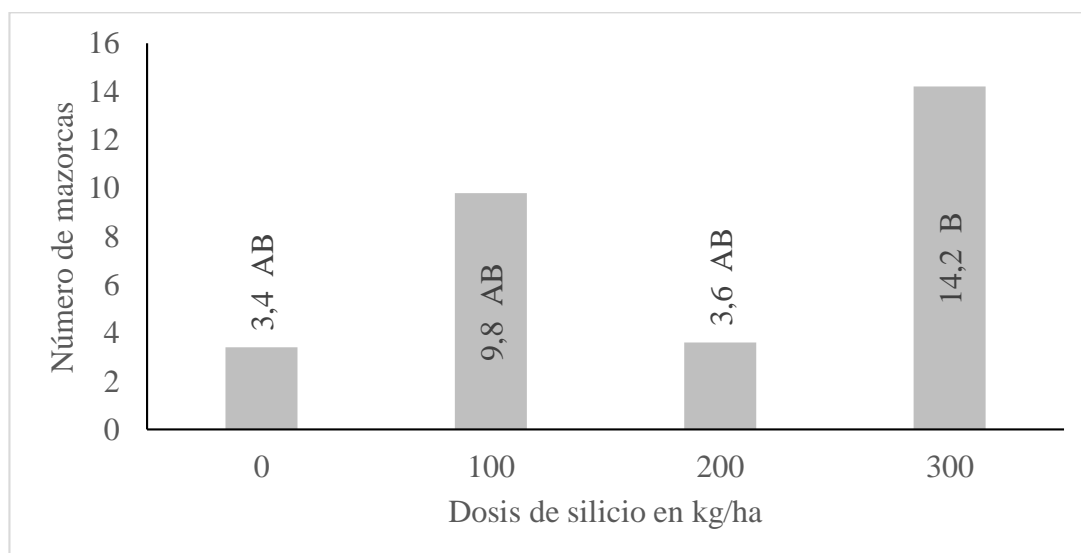
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	Probabilidad
Modelo.	25,78	7	3,68	1,98	0,1419
Repeticiones	11,19	4	2,8	1,51	0,2613
Tratamientos	14,59	3	4,86	2,62	0,0989
Error	22,28	12	1,86		
Total	48,06	19			

Tabla 16. Prueba de significancia según Duncan, para la variable número de mazorcas, de la novena evaluación.

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
200	1,94	5	0,61	A	
0	2,09	5	0,61	A	B
100	3,19	5	0,61	A	B
300	4,03	5	0,61		B

La tabla 16 muestra la prueba de significancia según Duncan, donde se observa que el tratamiento 3 con dosis de 300 kg/ha de SILMAG posee una media mayor de 4,03 mazorcas, siendo el tratamiento con mejor respuesta a esta variable, como lo muestra el gráfico 14.

Gráfico 14. Promedios de la variable número de mazorcas, para la novena evaluación.



4.1.5. Producción de almendras de cacao

Tabla 17. Análisis de varianza para la variable producción de almendras.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		1° mes	2° mes	3° mes	4° mes
Repeticiones	4	0,21 **	1,7 ns	4,59 ns	6,5 **
Tratamientos	3	0,99 **	0,62 ns	2,19 ns	3,25 **
Error	12	0,37 **	1,03 ns	3,53 ns	0,61 **
Total	19				
CV		35,66	34,11	27,22	9,86

Según la el análisis de varianza de la tabla 17 realizado para la variable producción, se constata que existe diferencia estadística en los tratamientos a partir del primer mes de evaluación, posteriormente se regularizan los valores de producción hasta el cuarto mes donde aparece nuevamente significancia, corroborando la curva de absorción de silicio que se reduce a partir del cuarto mes.

Tabla 18. Análisis de varianza para la variable producción de almendras, primer mes de evaluación

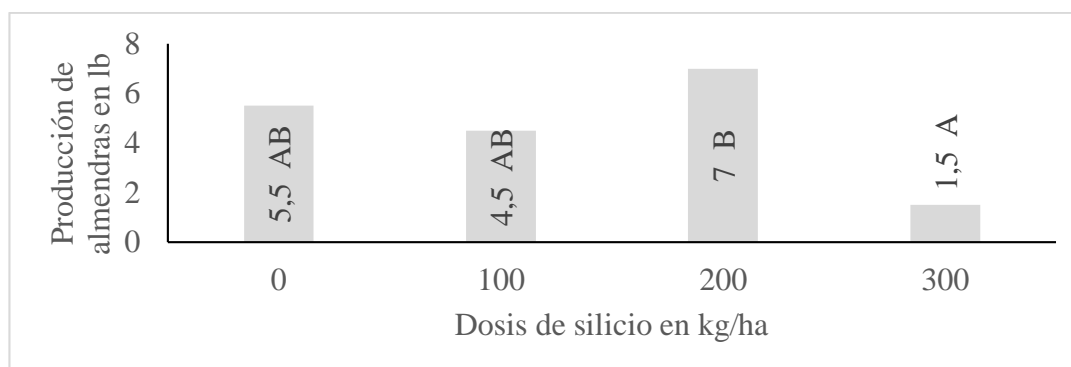
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	Probabilidad
Modelo.	3,81	7	0,54	1,48	0,2619
Repeticiones	0,84	4	0,21	0,57	0,6865
Tratamientos	2,96	3	0,99	2,69	0,0931
Error	4,4	12	0,37		
Total	8,21	19			

En la tabla 19 se muestra la prueba de significancia según Duncan para la variable producción, la cual muestra que el tratamiento 2, con dosis de 200 kg/ha de SILMAG posee la media de producción más elevada, con un valor de 2,12 libras de almendras de cacao por tratamiento, gráfico 15.

Tabla 19. Prueba de significancia según Duncan, para la variable producción de almendras, de la primera evaluación.

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
300	1,1	5	0,27	A	
100	1,65	5	0,27	A	B
0	1,93	5	0,27	A	B
200	2,12	5	0,27		B

Gráfico 15. Promedios de la variable producción de almendras, para la primera evaluación.



En el gráfico 15 se observa que el tratamiento 2 posee la mayor respuesta productiva a la aplicación del SILMAG, a diferencia de los tratamientos T1 y T3, con dosis de 100 y 300 kg/ha respectivamente, los cuales no respondieron a la aplicación.

Tabla 20. Análisis de varianza para la variable producción de almendras, cuarto mes de evaluación.

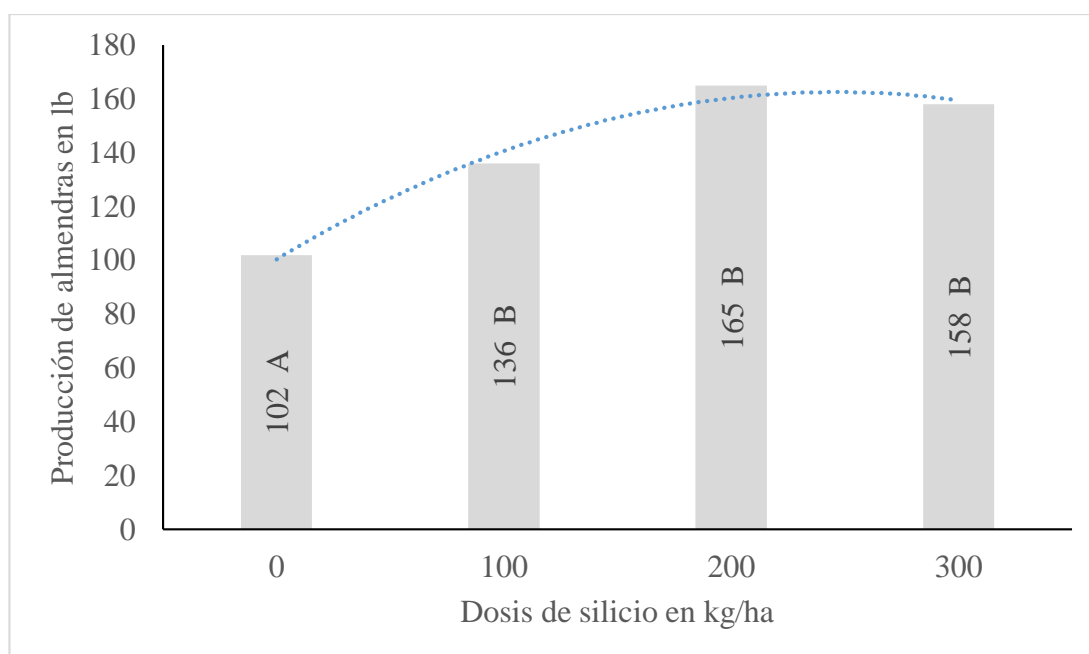
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	Probabilidad
Modelo.	35,74	7	5,11	8,41	0,0008
Repeticiones	25,98	4	6,5	10,7	0,0006
Tratamiento	9,76	3	3,25	5,36	0,0142
Error	7,29	12	0,61		
Total	43,02	19			

En la tabla 20 se observa un valor de probabilidad en los tratamientos de 0,014, en esta fecha de evaluación, donde se evidencia el efecto del SILMAG sobre la variable producción, ya que a mayor dosis de aplicación, la respuesta productiva fue igualmente mayor, tal como lo vemos en la tabla 21 y el gráfico 16.

Tabla 21. Prueba de significancia según Duncan, para la variable producción de almendras, de la cuarta evaluación.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
0	6,77	5	0,35	A
100	7,88	5	0,35	B
300	8,46	5	0,35	B
200	8,5	5	0,35	B

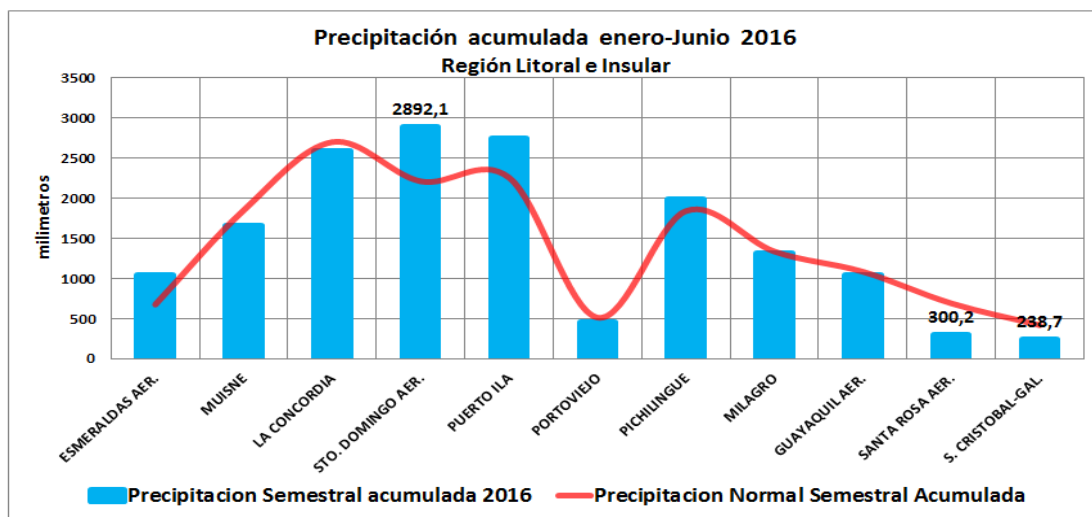
Gráfico 16. Promedios de producción de almendras, para la cuarta evaluación.



En el gráfico 16, se muestra las medias de producción por cada tratamiento, se observa que el tratamiento 2 (200 kg/ha SILMAG) posee mejor respuesta, con un valor de 165 libras de almendras, muy seguido al tratamiento 3 (300 kg/ha SILMAG), que a pesar de su dosis elevada de fertilizante no es superior al T2. Manteniéndose la tendencia de que a mayor cantidad de silicio aumenta la producción de almendras de cacao.

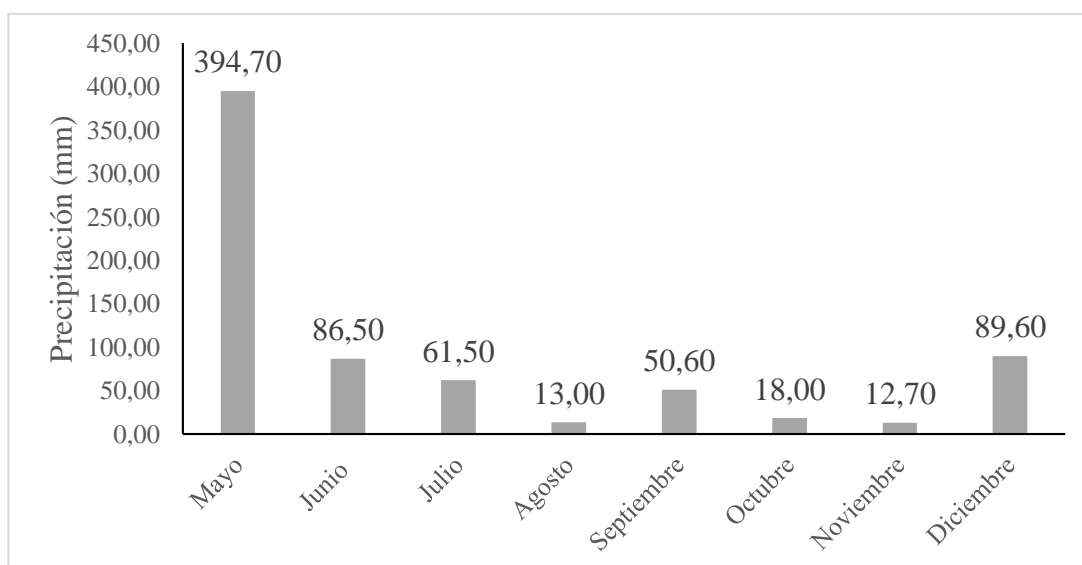
Los datos de precipitación en la zona 4, correspondiente a Santo Domingo, registran datos de precipitación en el primer semestre del 2016 (Enero-Junio), según la estación (Santo Domingo Aeropuerto) un valor registrado de (2892.1 mm), el cuál es superior a la normal (2214.0 mm.), evidenciando un aumento del 31%.

Gráfico 17. Precipitación acumulada enero-junio 2016, Región Litoral e Insular.



Elaborado por: INAMHI, 2016

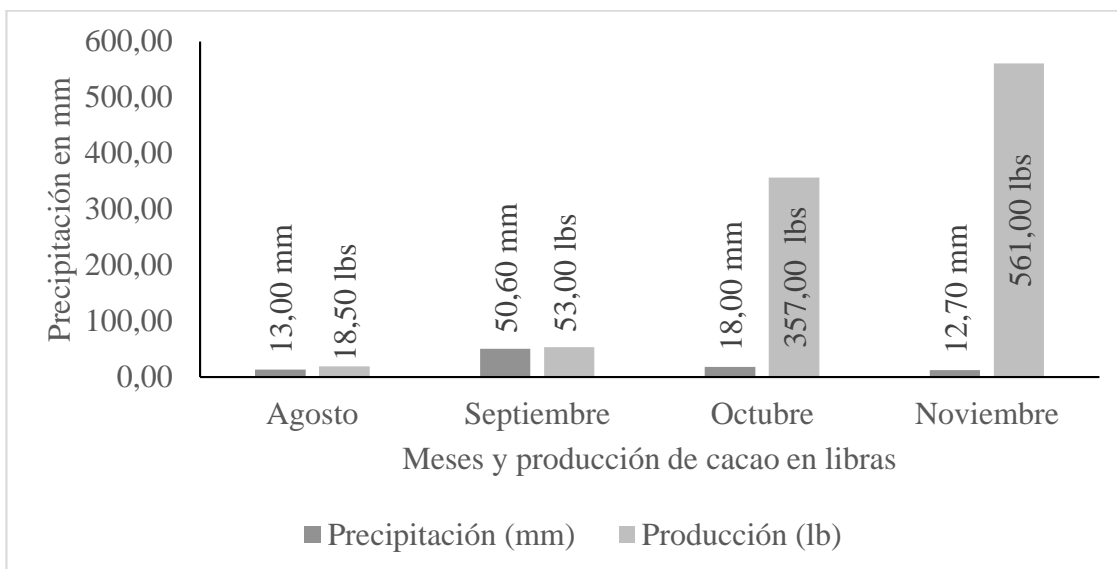
Gráfico 18. Precipitación en Santo Domingo desde Mayo-Diciembre del 2016.



Elaborado por: Martin Aguilera Maldonado

Fuente: INAMHI 2016

Gráfico 19. Precipitación vs producción de almendras total, agosto-mayo 2016.

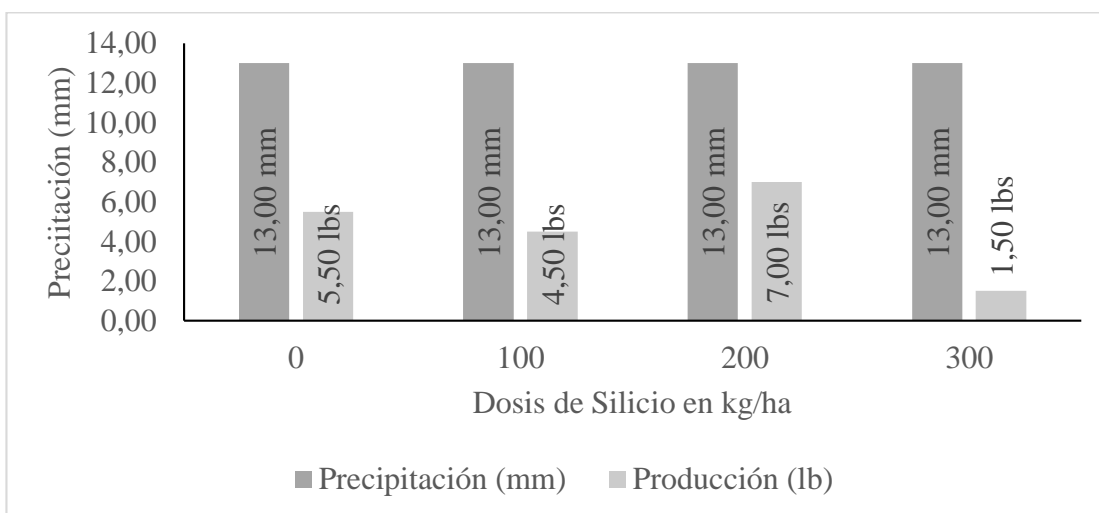


Elaborado por: Martin Aguilera Maldonado

Fuente: INAMHI, 2016

Con el objetivo de poder comparar los registros de precipitación vs la producción de almendras de cacao por tratamientos, se realizaron gráficos de comparaciones, desde los meses de evaluación de cosecha, que corresponden a agosto-diciembre del 2016.

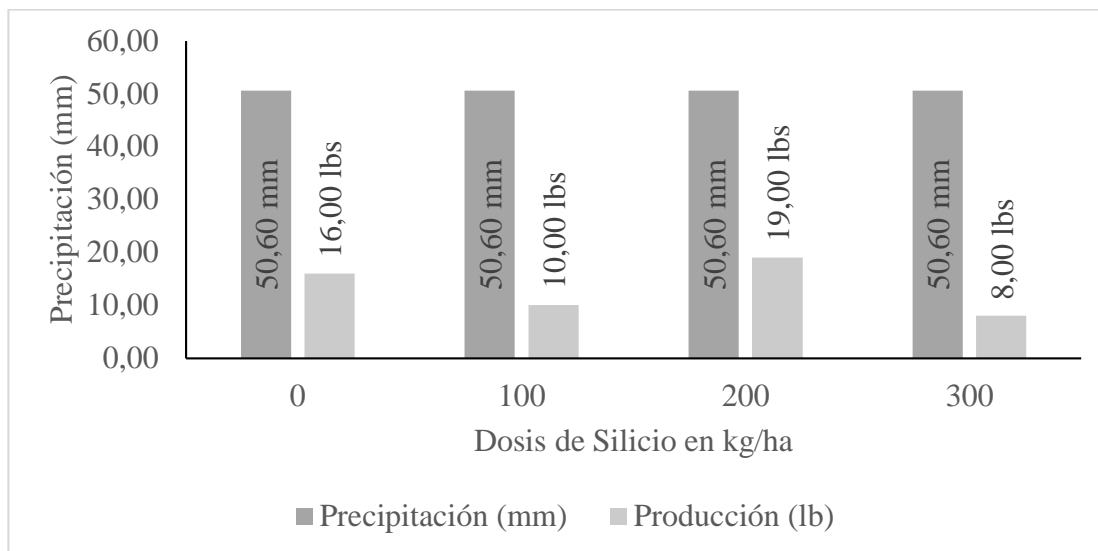
Gráfico 20. Precipitación vs Producción de almendras por tratamiento, correspondiente al mes de Agosto del 2016.



Elaborado por: Martin Aguilera Maldonado

Fuente: INAMHI, 2016

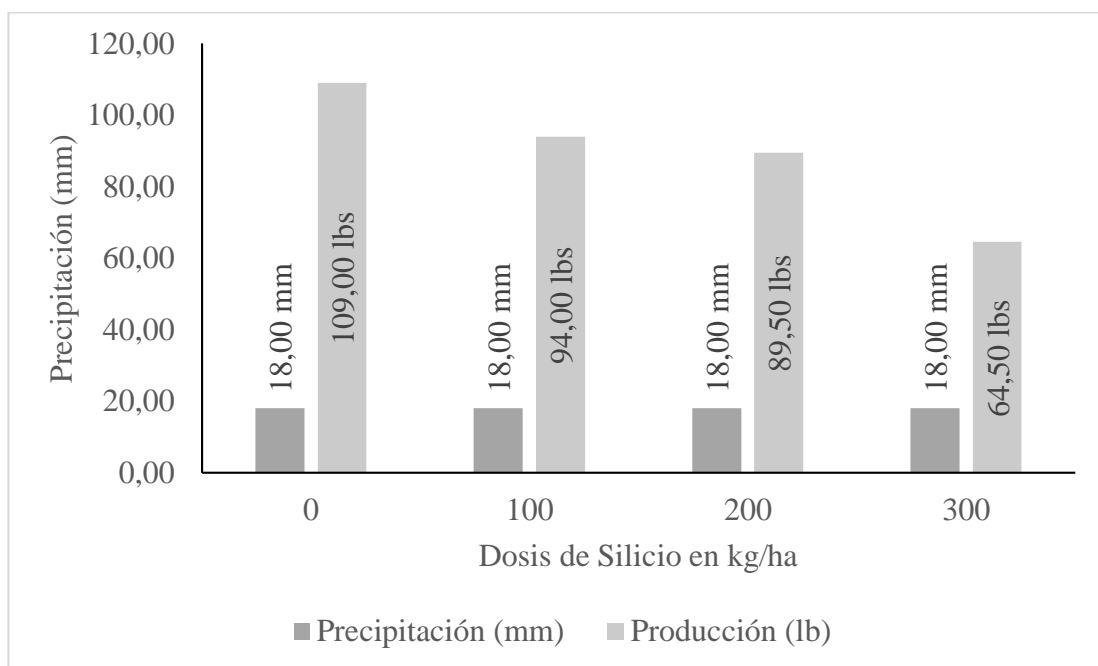
Gráfico 21. Precipitación vs Producción de almendras por tratamiento, correspondiente al mes de Septiembre del 2016.



Elaborado por: Martin Aguilera Maldonado

Fuente: INAMHI, 2016

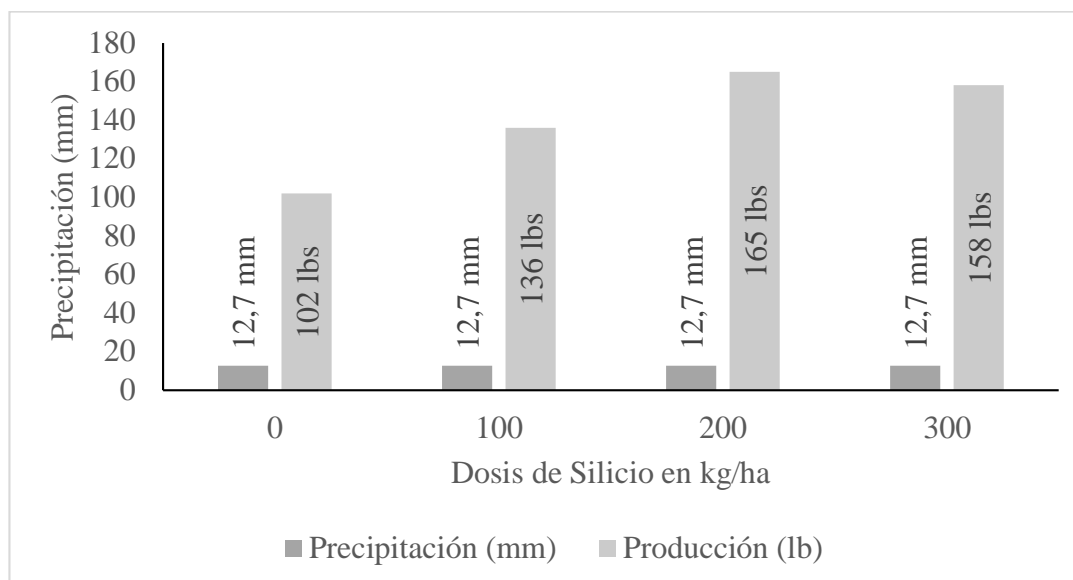
Gráfico 22. Precipitación vs Producción de almendras por tratamiento, correspondiente al mes de Octubre del 2016.



Elaborado por: Martin Aguilera Maldonado

Fuente: INAMHI, 2016

Gráfico 23. Precipitación vs Producción de almendras por tratamiento, correspondiente al mes de Noviembre del 2016.



Como se pueden observar en los gráficos 21 y 22, el T0 con dosis de 0 kg/ha de SILMAG, posee un promedio de producción en los primeros dos meses de cosecha, entre 16 y 109 lb, correspondientes a los meses de septiembre y octubre del 2016, los mismos que registraron una precipitación de 50,60 y 18 mm respectivamente, el tratamiento en ausencia de silicio presentó niveles productivos considerables en comparación con los demás tratamientos, pero es evidente que al pasar del tiempo y con la reducción de la precipitación, la producción del testigo no se igualó a los tratamientos con aplicación de silicio, los cuales demostraron que dicho nutriente generó una respuesta positiva a la sequía, incrementando la producción, superando al tratamiento testigo. Tal como lo muestra el gráfico 23, que con niveles bajos de precipitación (Noviembre con 12,7 mm), el tratamiento 2 con dosis de 200 kg/ha de SILMAG, presentó un aumento de 63 libras con respecto al T0, lo que equivale a un 61,76% en el aumento de la capacidad productiva del cultivo.

4.1.6. Índice de semillas

El índice de semilla se calculó mediante el pesaje de 100 almendras de cacao fermentadas y secas, para posteriormente aplicar la siguiente fórmula:

$$IS = \frac{\text{Peso en gramos de 100 semillas secas}}{100}$$

Índice de semilla para el tratamiento T0:

$$IS(T0) = \frac{192 \text{ gr}}{100} = 1,92 \text{ gr}$$

Índice de semilla para el tratamiento T1:

$$IS(T1) = \frac{186 \text{ gr}}{100} = 1,86 \text{ gr}$$

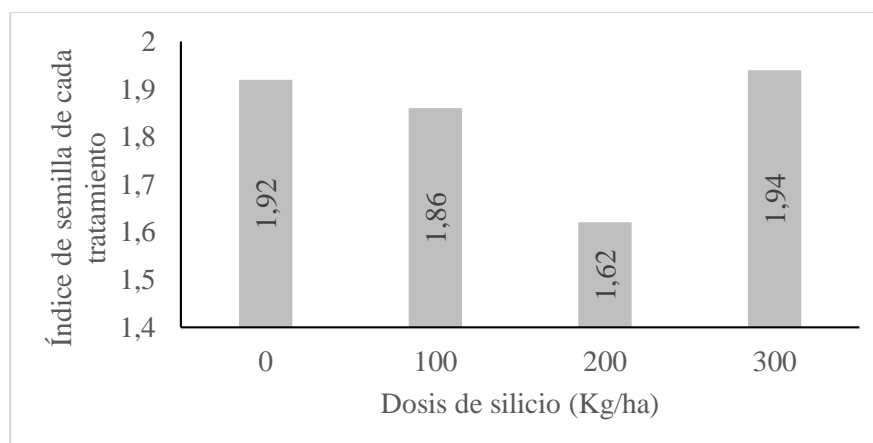
Índice de semilla para el tratamiento T2:

$$IS(T2) = \frac{162 \text{ gr}}{100} = 1,62 \text{ gr}$$

Índice de semilla para el tratamiento T3:

$$IS(T3) = \frac{194 \text{ gr}}{100} = 1,94 \text{ gr}$$

Gráfico 24. Índice de semilla de cada tratamiento.



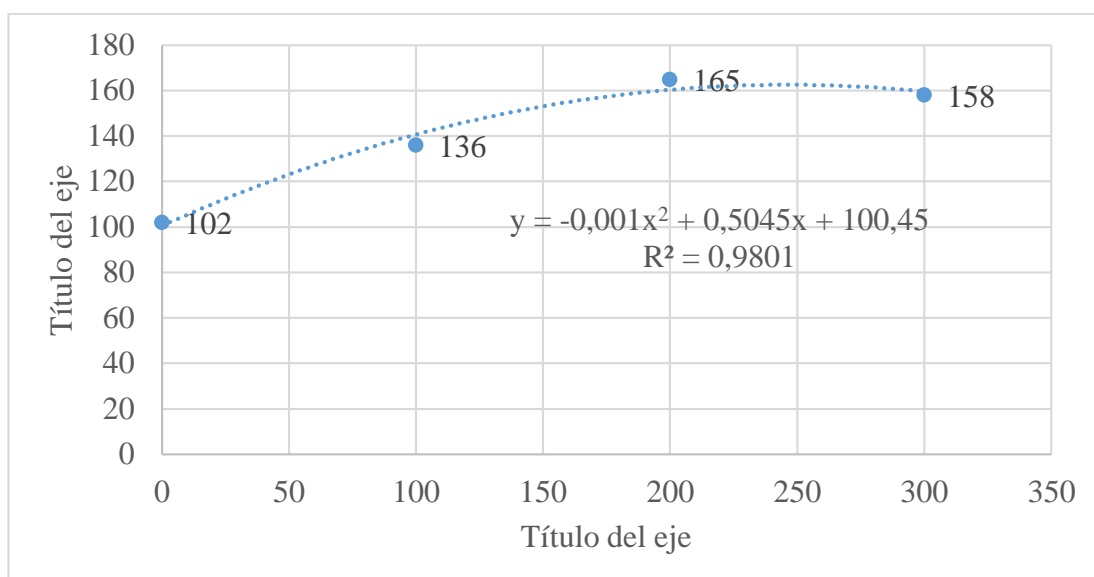
El gráfico 24, nos indica que la aplicación edáfica de silicio no tiene ninguna acción sobre el índice de semilla, esto puede deberse a la poca movilidad que posee el nutriente en plantas no acumuladoras como es el caso del cacao. Posiblemente la movilización del silicio hacia las almendras, se expresen en un lapso superior de tiempo y a mayores intervalos de incorporación de silicio.

4.1.7. Análisis de correlación de las diferentes dosis de silicio para la producción de almendras de cacao CCN-51.

Se realizó un contraste cuadrático para la variable producción en la cuarta evaluación, en el cual se observa una línea de tendencia polinómica de grado 2, que nos indica la influencia del silicio en la producción de almendras.

Según el gráfico 24, el 98% de la producción depende de la aplicación del SILMAG, siendo el tratamiento 2 el de mejor respuesta productiva.

Gráfico 24. Contraste de la producción de almendras para la cuarta evaluación.



Según la fórmula, el valor máximo obtenido de Y es de 164,08, que corresponde al número de libras de almendras de cacao, con un valor en X de 252, lo que indicaría que la dosis exacta para alcanzar el punto de inflexión más alto en la producción, corresponde a 252 kg/ha de SILMAG.

Si comparamos el T2 con el testigo, se puede analizar que a una dosis de 200 kg/ha de SILMAG, se proyecta 165 libras de cacao para un número de 45 plantas, si proyectamos estos valores a una hectárea sembrada a tres bolillos, obtendríamos valores de producción de 30 quintales por hectárea, a una densidad de 729 plantas. El testigo presentaría valores inferiores al T2, tan solo con una producción estimada de 17 quintales por hectárea, un aumento en producción de 158% en el T2.

4.1.8. Análisis económico.

Se realizaron los análisis costo beneficio para cada tratamiento.

Tabla 22. Análisis de costo beneficio entre los costos de producción vs la producción de almendras de cacao

Tratamiento	COSTOS POR TRATAMIENTO			
	T0	T1	T2	T3
Dosis de Silicio	0 kg/ha	100 kg/ha	200 kg/ha	300 kg/ha
Costos de recursos humanos (\$)	67,50	67,50	67,50	67,50
Costos de recursos físicos (\$)	24,94	24,94	24,94	24,94
Costos de imprevistos (\$)	10,00	10,00	10,00	10,00
Costo de SILMAG (\$)	0,00	2,50	5,02	7,52
Total de costos por tratamiento (\$)	102,44	104,94	107,46	109,96
Total cosecha en (lb) por tratamiento	232,50	244,50	280,50	232,00
Venta (\$)	104,625	110,025	126,225	104,4
Análisis costo beneficio	2,19	5,09	18,77	-5,56

En el análisis económico como lo muestra la tabla 22, se puede observar que el tratamiento 2 presenta un mayor costo beneficio a comparación de los otros tratamientos, su mayor respuesta productiva permitió obtener una rentabilidad de \$18,77. A diferencia de los otros tratamientos, el T3 no obtuvo rentabilidad económica, donde los costos fueron mayores a los ingresos económicos por la producción obtenida, dando como resultado un valor en contra de \$,56.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo evidencian la capacidad que posee el silicio para mejorar la productividad del cultivo de cacao CCN-51 en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas. El mejoramiento del número de chereles y mazorcas así como el incremento en la producción, puede estar relacionado a una respuesta indirecta que da el silicio a la planta sobre la resistencia a las condiciones de estrés ambiental que por lo general atraviesa el cultivo en una determinada época del año.

En las concentraciones de silicio soluble en el suelo, se evidencia una disminución del nutriente en los tratamientos que menor cantidad de silicio se incorporó al suelo, como el caso del T0 y T1 (10,5 y 11 mm/kg), presentando una reducción de silicio por consumo de 1,4 y 0,9 mg/kg respectivamente. A diferencia de los tratamientos T2 y T3 (200 – 300 kg/ha SILMAG), presentaron un aumento en la cantidad de silicio disuelto en el suelo de 1,3 y 0,4 mg/kg (tabla 6). Según Álvarez y Osorio (2014), que citan a Mitani and Ma (2005), las plantas de absorción pasiva de silicio, toman el nutriente a una velocidad similar a la del agua, por lo que no presenta cambios significativos en la concentración de Silicio en la solución del suelo. Por lo que podríamos considerar al cultivo de cacao CCN-51 como una planta de absorción pasiva de silicio.

El silicio en tejido foliar tuvo un aumento significativo. En la tabla 8 observamos un incremento del nutriente de 0,11% (T1 y T2) y 0,10 % (T0 y T3) de silicio. Según Álvarez y Osorio (2014), los mecanismos que actúan en el ciclo del silicio son dependientes del tiempo; los contenidos de silicio pueden variar de segundos para los procesos de adsorción, hasta milenios para la formación de arcillas. Los flujos del nutriente pueden variar de acuerdo al tipo de vegetación y a la edad de la misma, en la cual las plantas absorben una cantidad significativa de silicio disuelto, que se origina de la descomposición de la hojarasca, es decir, de la disolución de los fitolitos encontrados en el tejido foliar. Como el caso del cacao, cultivo al que se le realizan podas de mantenimiento que generan gran cantidad de biomasa.

Según los rangos de clasificación de las plantas acumuladoras de silicio, obtenidos mediante las investigaciones realizadas por Jones y Handreck en 1967, podríamos proponer la clasificación del cacao CCN-51 bajo las condiciones climáticas de Santo Domingo, como una planta no acumuladora de silicio, debido a que los

niveles del nutriente en tejido foliar se encuentra por debajo del 1%, tal como muestra la tabla 8, donde los rangos de los tratamientos oscilan entre 0,12 % (T0 y T3) y 0,13 % (T1 y T2), ajustándose a los rangos presentados en la tabla 1.

A mayor dosis de silicio aplicado a la solución del suelo, aumenta la absorción de Fósforo y disminuye la disponibilidad del mismo (tabla 6), esto debido a que el silicio transforma fosfatos levemente solubles en fosfatos asimilables para la planta, como se muestra en la tabla 8, que el fósforo absorbido por el cultivo es rápidamente utilizado y asimilado. Según Álvarez y Osorio (2014), indican que la cantidad de fertilizante fosfórico soluble requerida para varios cultivos de importancia agronómica, es menor en presencia de fertilizantes ricos en silicio. Los mismos autores citan la investigación de Silva (1971), donde se corrobora que al aplicar solamente silicato de calcio (1,6 T/ha) en cultivos de pasto, la cantidad de fósforo para cubrir los requerimientos óptimos del cultivo se redujeron un 36% con respecto al tratamiento testigo que no incorporaba silicio como fertilizante.

El calcio en la solución del suelo aumentó en rangos de 18 – 38 %, siendo el testigo el de mayor acumulación del nutriente. A pesar de encontrarse en niveles deficientes para el cultivo, se evidencia un aumento en la disponibilidad de dicho nutriente en todos los tratamientos. Según Mann y Ozin (1996), citado por Álvarez y Osorio (2014), la concentración de silicio se encuentra en mayor cantidad en hojas viejas, acumulándose principalmente en las células de la epidermis. El 90% del silicio absorbido es transformado a varios tipos de fitolitos, los cuales poseen en su composición sílice amorfa (82-86%) y cantidades variables de sodio, potasio, calcio y hierro, los mismos que son reciclados con la hojarasca, residuos de podas y cosecha. De este modo se puede explicar el aumento del calcio en la solución del suelo y su concentración en tejido foliar, el cual pasó de una cantidad inicial de 1,43% (tabla 7) a concentraciones finales de 1,91% (T0), 1,66% (T1), 2,29% (T2) y 2,31% (T3), como lo muestra la tabla 8. A mayor concentración y aplicación de silicio, mayor será la absorción de calcio de la solución del suelo y su disponibilidad del nutriente en tejido foliar aumentará.

Kaufman et al (1979), citado por Álvarez y Osorio (2014), sostienen que el silicio acumulado en las hojas la mantienen erecta, mejorando la fotosíntesis de la planta. Existen otras hipótesis de que los cuerpos de sílice en la epidermis de la hoja

facilitarían la transmisión de luz al tejido mesófilo fotosintético. Sin embargo no hay evidencia suficiente que soporte dicha hipótesis. Lo que sí es probable es que en suelos muy meteorizados la disponibilidad de silicio sea muy baja, por tanto, una aplicación de silicio tendría una alta probabilidad de respuesta del cultivo, Álvarez y Osorio (2014).

Aun no se ha encontrado alguna evidencia acerca de la función del silicio en el metabolismo de las plantas, pero en varias investigaciones establecen los beneficios del silicio en funciones como la estimulación de la fotosíntesis, aumento en la fuerza de los tejidos y la reducción de la transpiración (Quero, 2008). Estas funciones ayudan al cultivo a incrementar la producción, la producción de materia seca y a elevar la resistencia de las plantas a situaciones de estrés biótico y abiótico.

Los gráficos 22 y 23, muestra la capacidad productiva que otorga el silicio a las plantas con condiciones de baja pluviosidad. El gráfico 23 muestra los mayores valores productivos de almendras de cacao del mes de noviembre, a pesar de poseer solamente 12,7 mm. Eso evidencia que se crea una resistencia a la sequía sin disminuir la capacidad productiva del cultivo. Tal como lo cita Matichenkov (2008), existen varias hipótesis que señalan que debido a la presencia de altas concentraciones de ácidos polisilícicos en el simplasto y el apoplasto de la planta, se crearía una capacidad de retención de agua en las células, permitiendo a estas moléculas actuar como un reservorio de agua.

6. CONCLUSIONES

- En la actualidad muchos países utilizan el silicio en sus planes de fertilización para incrementar la producción de los cultivos, a pesar de no tener claro aún la acción exacta del silicio en el metabolismo de las plantas.
- Está demostrado la acción benéfica que posee el gel de sílice al acumularse en las paredes celulares para formar fitolitos, los cuales forman una barrera mecánica y bioquímica que contribuye a la resistencia contra el estrés biótico y abiótico de los cultivos.
- Los residuos de cosecha y tejido foliar, son las principales fuentes de aporte de Silicio, debido a la concentración de silicio asimilable en forma de fitolitos. Sin embargo, la demanda del cultivo puede exceder al aporte del reciclado, y

la tasa de descomposición de los residuos puede ser lenta en algunos suelos, por lo que se debería aplicar fertilizantes ricos en silicio.

- La aplicación de silicio asimilable para el cultivo de cacao aumenta el consumo y disponibilidad de macronutrientes como el Fósforo y Calcio, el P se torna más asimilable, aumentando su movilidad en la solución del suelo y provocando su ingreso activo para su posterior consumo dentro de la planta.
- El calcio puede aumentar en la solución del suelo debido a la incorporación de residuos de cosecha, mediante la hojarasca natural del cultivo y procedentes de las podas, estos incorporan fitolitos que están formados por calcio, que al descomponerse se transforman a una fuente más asimilable por la planta.
- No se puede evidenciar el efecto del silicio en la formación y el número de chereles, debido a que estos poseen una dinámica rápida de crecimiento, y al ser tejido joven, el silicio no se acumula. El lapso de 10 días en el que el cherele cambia a mazorca, impide evaluar el efecto del nutriente sobre la formación de chereles.
- La aplicación de dosis adecuadas de silicio (200 kg/ha de SILMAG) mejora la producción de almendras en el cultivo de cacao CCN-51 en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas, ya que aumenta el número de mazorcas por planta, mejorando las cosechas y aumentando la productividad del cultivo.
- Se evidencia que a mayor dosis de silicio, mayor será la producción de almendras. Siendo el T2, la dosis más adecuada con respecto a la producción, ya que alcanzó 165 libras de almendras, 63 lb más que el T0, 29 lb más que T1 y 7 lb más que T3.
- Se cumple la hipótesis alternativa ya que el silicio incrementa los rendimientos de producción al utilizar opciones comerciales de fertilizantes enriquecidos con este nutriente.
- A pesar de la poca precipitación de los meses de octubre (18 mm) y noviembre (12,7 mm), los tratamientos con silicio mantuvieron una buena respuesta productiva, esto evidencia la resistencia al estrés ambiental que el silicio proporciona a las plantas.
- El análisis costo beneficio señala al T2 como el más rentable y productivo, a diferencia del T3 que es el tratamiento en el cual no se obtuvieron ningún tipo de ganancia.

7. RECOMENDACIONES

- Se debe probar el efecto de la aplicación de silicio en la producción del cultivo de cacao CCN-51 en época lluviosa, para establecer los efectos de protección a diversos factores climáticos.
- Debería hacerse mayor número de evaluaciones en laboratorio del porcentaje de silicio foliar y la cantidad del nutriente en la solución del suelo a menores intervalos de tiempo, para conocer la dinámica del silicio y establecer el tiempo de consumo y su reciclaje por parte del cultivo de cacao CCN-51.
- Un mayor número de plantas de evaluación es necesario para poder obtener datos más acertados sobre la función del silicio en las variables en investigación, con un número de 2 plantas de evaluación por parcela.
- Es posible que un solo método de evaluación de silicio no sea suficiente para establecer la cantidad del nutriente en el suelo, por lo que sería recomendable realizar al menos dos métodos de evaluación. Podría considerarse la extracción mediante una sal diluida como 0,01M CaCl₂. Este método permitiría establecer relaciones altamente significativas entre el silicio del suelo y el absorbido por las plantas.

8. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Claudia y Osorio Walter (20014), Silicio agrónomicamente esencial, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Campos, R. (2011). Estudio de factibilidad para la cadena productiva del cacao fino de aroma en la Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. Diplomado en Gestión y Elaboración de Proyectos, Instituto de Altos Estudios Nacionales, Escuela de Gobierno y Administración Pública, Quito.

Dr. Juan Carlos Raya Pérez, Dr. César L. Aguirre Mancilla (Junio 2012). El papel del Silicio en el Organismo y Ecosistemas. Instituto Tecnológico de Roque, División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI-ITR). Disponible en la Web: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-ElPapelDelSilicioEnLosOrganismosYEcosistemas-3985098.pdf>

FERMAGRI. 2015. Ficha Técnica del Producto SILMAG 45. Disponible en la Web: http://www.fermagri.com/Fichas/Edaficos/Silicio/Silmag_45.pdf

Filgueiras, Otto. 2007. Silicio en la Agricultura, Revista Pesquisa. Disponible en la Web: <http://revistapesquisa.fapesp.br/es/2007/10/01/silicio-en-la-agricultura/>

Guamán, Consuelo. 2007. Estudio de factibilidad para el cultivo de “cacao 51” en la parroquia Cristóbal Colon de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados y su comercialización. Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.

INEC. (Septiembre 2011). Cacao fino de aroma en Ecuador. Boletín Agropecuario Mensual Nro 14, Instituto Nacional de Estadística y Censos.

INAMHI 2016, Boletín agroclimático.

MAGAP (2016), Informe técnico para la selección de paquetes de fertilización de los distintos proveedores de la iniciativa “Alimenta tu café y cacao”.

Matichenkov V.V. (2008), II conferencia internacional sobre eco-biología del suelo y el compost, Deficiencia y funcionalidad del sílice en suelos, cosechas y alimentos. Puerto de la Cruz, Tenerife.

Navarro, G. 2003. Química Agrícola. Segunda Edición. Impreso en Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.

Pro-Ecuador. (2013). Análisis del sector cacao y elaborados. Dirección de inteligencia comercial e inversiones.

Quingaísa, Eugenia. 2007. Consultoría realizada para la FAO y el IICA en el marco del estudio conjunto sobre los productos de calidad vinculada al origen, “Estudio de caso: denominación de origen “cacao arriba.” Quito Ecuador.

Quero, E., 2008. Silicio en la Agricultura. Disponible en: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXJY21qbN8Z3g6N2VmOWMyZmI2M2U1M2Y3ZQ>

Sociedad Española de Productos Húmicos. 2007. El silicio en la Agricultura. Ficha técnica de SILIK Húmico. Disponible en la Web: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/010---13.09.07---El-Silicio-en-la-vida,-rendimiento-y-salud-de-las-plantas--Anexo-I-.pdf

Soraya, Patricia. 2009. Caracterización química preliminar de cacao (*Theobroma cacao*) de los municipios de Omoa y La Masica, Honduras.

Terralia, Vademecun - 2008. Correctores de carencias simples Silicio, como Si. Consultado 20 de mayo del 2016. Disponible en la web: http://www.terralia.com/vademecum_de_productos_fitosanitarios_y_nutricionales/index.php?proceso=registro&numero=3514