



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS

CARRERA INGENIERÍA AGROPECUARIA

Unidad Integradora Curricular
previo a la obtención del título
de Ingeniero Agropecuario.

Título de la Unidad Integradora Curricular:

“FERTILIZACIÓN EDÁFICA CON TRES NIVELES DE SILICATO DE CALCIO Y
TRES DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA
ZONA DE QUINSALOMA”

Autor:

José Benigno Jumbo Tejena

Tutor de la Unidad Integradora Curricular

Ing. Jaime Vera Chang M. Sc.

Cotutor de la Unidad Integradora Curricular

Ing. Wilfrido Antonio Escobar Pavón, M. Sc.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **José Benigno Jumbo Tejena**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



José Benigno Jumbo Tejena

C.C: 172413802-7

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

El suscrito, Jaime Vera Chang, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante Jumbo Tejena José Benigno, culminó la Unidad de Integración Curricular titulada: "FERTILIZACIÓN EDÁFICA CON TRES NIVELES DE SILICATO DE CALCIO Y TRES DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA ZONA DE QUINSALOMA", previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.



Ing. Jaime Vera Chang, M. Sc.

TUTOR DE UNIDAD INTEGRADORA CURRICULAR

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Ing. Jaime Fabián Vera Chang M.Sc., docente de la Facultad de Ciencias Pecuarias y como director certifico que la unidad de integración curricular del estudiante José Benigno Jumbo Tejena, titulada: **“FERTILIZACIÓN EDÁFICA CON TRES NIVELES DE SILICATO DE CALCIO Y TRES DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA ZONA DE QUINSALOMA”** fue ingresado a la herramienta informática URKUND producto del análisis se obtuvo una similitud de un 9%, lo cual está considerado dentro de los parámetros aceptables que establecen el reglamento e instructivos de la unidad de integración curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.



Urkund Analysis Result

Analysed Document:	Proyecto Jumbo borrador 1 URKUND.docx (D58317881)
Submitted:	05/11/2019 18:30:00
Submitted By:	josebtejumbo@uteq.edu.ec
Significance:	9 %

Sources included in the report:

TESIS 7.docx (D39075075)

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Jaime Fabián Vera Chang", written over a horizontal line.

Ing. Jaime Fabián Vera Chang M.Sc.
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
INGENIERÍA AGROPECUARIA

Título:

“FERTILIZACIÓN EDÁFICA CON TRES NIVELES DE SILICATO DE CALCIO Y
TRES DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA
ZONA DE QUINSALOMA”

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de
Ingeniero Agropecuario.

Aprobado por:

Dr. Gregorio Vasconez Montúfar
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Luis Godoy Montiel
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Rommel Ramos Remache
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2019

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por guiarme en el camino y fortalecerme espiritualmente para empezar un camino lleno de éxito. Así, quiero mostrar mi gratitud a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante para mí, agradecer toda su ayuda, sus palabras motivadoras, sus conocimientos, sus consejos y su dedicación.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y sobre todo a mis maestros quienes fueron el pilar de mi formación profesional, por esos conocimientos que me fueron impartidos y que me han sido de mucho ayuda al momento de desenvolverme en el ámbito profesional.

Muestro mis más sinceros agradecimientos al Ing. Wilfrido Escobar, quien con su conocimiento y su guía fue una pieza para mi desarrollo profesional, ya que a más de ser mi mentor también lo considero un gran amigo, porque sus consejos y su sabiduría que me han sido de mucha ayuda para desenvolverme en el ámbito laboral.

Al Ing. Edison Rodríguez por haberme apoyado con su finca y asesoramiento para poder llevar a cabo mi proyecto de investigación.

Por último, quiero agradecer a la base de todo, a mi familia, que quienes con sus consejos fueron el motor de arranque y mi constante motivación, muchas gracias por su paciencia y comprensión, y sobre todo por su amor.

DEDICATORIA

En primer lugar, le doy gracias a Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud y vida para alcanzar mis objetivos, ya que siempre me dio fuerzas para superar cada obstáculo que se atravesó en mi camino, pero sobre todo por su infinita bondad y amor.

A mis padres por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor. Mis hermanos, por estar conmigo y apoyarme siempre.

José Jumbo Tejena

RESUMEN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) se proyecta como una de las alternativas agrícolas más importantes en el país, gracias a que contamos con las condiciones ambientales más propicias para el óptimo desarrollo del cultivo. La investigación se desarrolló en el cantón Quinsaloma, provincia de Los Ríos y cuyo objetivo fue evaluar la fertilización edáfica de este cultivo con tres niveles de silicato de calcio y tres de nitrógeno, mediante el planteamiento de un diseño de bloques completos al azar bajo un esquema factorial 3x3, evaluándose tres niveles de aplicación a razón de 150, 250 y 350 kg/ha de silicato de calcio y tres de urea obteniéndose 9 dosis diferentes más un tratamiento testigo. Se realizaron evaluaciones periódicas cada 15 días durante los 120 días que duró el ensayo, en las que se valoró el índice de floración, fructificación y la incidencia de Cherrelle Will. Se empleó una escala para contabilizar la cantidad de flores y Cherrelles producidas de manera más efectiva. Los resultados demostraron que la combinación de 350 kg de silicato más 250 kg de urea (T8) alcanzó un mayor índice de floración, del mismo modo en la variable de fructificación se observó un comportamiento similar alcanzando una media de 24.87 mazorcas por árbol. Se observó además una incidencia de Cherrelle a partir de los 60 días de evaluación. Con esta investigación se demostró el efecto positivo de la fertilización edáfica empleando silicato de calcio y una fuente de nitrógeno.

Palabras clave: Silicio, Calcio, CCN-51, Fertilización

ABSTRACT

The cultivation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) is projected as one of the most important agricultural alternatives in the country, thanks to the fact that we have the most favorable environmental conditions for the optimal development of the crop. The research was carried out in the Quinsaloma canton, province of Los Ríos and whose objective was to evaluate the edaphic fertilization of this crop with three levels of calcium silicate and three of nitrogen, through the design of a randomized complete block design under a scheme 3x3 factorial, evaluating three levels of application at a rate of 150, 250 and 350 kg / ha of calcium silicate and three of urea obtaining 9 different doses plus a control treatment. Periodic evaluations were carried out every 15 days during the 120 days of the trial, in which the flowering, fruiting index and the incidence of Cherrelle Will was assessed. A scale was used to account for the quantity of flowers and Cherrelles produced more effectively. The results showed that the combination of 350 kg of silicate plus 250 kg of urea (T8) reached a higher flowering rate, in the same way in the fruiting variable a similar behavior was observed reaching an average of 24.87 ears per tree. An incidence of Cherrelle was also observed after 60 days of evaluation. With this investigation, he demonstrated the positive effect of edaphic fertilization using calcium silicate and a nitrogen source.

Keywords: Silicon, Calcium, CCN-51, Fertilization

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido.....	Pág.....
Portada.....	i
Declaración de autoría y cesión de derechos.....	¡Error! Marcador no definido.
Certificación de culminación del proyecto de investigación.....	¡Error! Marcador no definido.
Certificado de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico .	¡Error! Marcador no definido.
Certificado de aprobación por miembros de tribunal	¡Error! Marcador no definido.
Agradecimiento.....	vi
Dedicatoria	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
Índice de contenido	x
Índice de tablas	xiii
Índice de anexos	xiv
Código Dublin	xv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Problema de la investigación.	4
1.1.1. Planteamiento de problema.	4
1.1.2. Formulación de problema.....	4
1.1.3. Sistematización del problema.....	5
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.	5
1.3. Justificación.	5
CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1. Marco conceptual.	8
2.2. Marco referencial.	9

2.2.1. Antecedentes investigativos.	9
2.3. Marco conceptual.	10
2.3.1. Generalidades del cultivo de cacao.	10
2.3.1.1. Cacao CCN-51.	11
2.3.2. Fertilización edáfica.	12
2.3.3. El silicio (Si).	13
2.3.3.1. Características del silicio.	13
2.3.3.2. El silicio en la fisiología vegetal.	14
2.3.3.3. Metabolismo del silicio.	15
2.3.4. El calcio (Ca).	16
2.3.4.1. Fuentes de calcio.	16
2.3.5. Uso de silicio y calcio en el cultivo de cacao.	17
CAPÍTULO III	19
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	19
3.1. Localización.	20
3.2. Tipo de investigación.	20
3.3. Método de investigación.	20
3.3.1. Manejo del experimento.	21
3.3.1.1. Adecuamiento de la plantación.	21
3.3.1.2. Aplicación de los tratamientos.	21
3.4. Fuente de recopilación de información	21
3.4.1. Fuentes primarias.	21
3.4.2. Fuentes secundarias.	21
3.5. Diseño de la investigación	22
3.6. Instrumentos de investigación.	24
3.6.1. Índice de floración.	24
3.6.2. Índice de fructificación.	24
3.6.3. Incidencia de Cherrelle Wilt.	25
3.7. Tratamiento de los datos.	25
3.8. Recursos humanos y materiales.	25
CAPÍTULO IV	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1. Resultados y discusión.	27
4.1.1. Índice de floración.	27

4.1.2. Índice de fructificación.	30
4.1.3. Incidencia de Cherrelle Will.....	32
CAPÍTULO V.....	34
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
5.1. Conclusiones.	35
5.2. Recomendaciones.....	36
CAPÍTULO VI	37
BIBLIOGRAFÍA	37
6.1. Referencias bibliográficas.	38
CAPÍTULO VII.....	43
ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido.....	Pág.
Tabla 1. <i>Condiciones meteorológicas de la zona de estudio.</i>	20
Tabla 2. <i>Tratamientos a evaluar.</i>	23
Tabla 3. <i>Dosificación de cada fertilizante empleado.</i>	23
Tabla 4. <i>Análisis de varianza.</i>	25
Tabla 5. <i>Índice de floración obtenidos en el cultivo de cacao CCN-51 bajo fertilización edáfica con Silicato de Calcio y Úrea en la zona de Quinsaloma, 2019.</i>	29
Tabla 6. <i>Promedio de frutos de cacao CCN-51 obtenidos bajo fertilización edáfica con Silicato de Calcio y Úrea en la zona de Quinsaloma, 2019.</i>	31
Tabla 7. <i>Análisis de varianza para la variable incidencia de floración.</i>	44
Tabla 8. <i>Análisis de varianza para la variable fructificación.</i>	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido.....	Pág.
7.1. Anexo 1. Análisis de varianza.	44
7.2. Anexo 2. Evidencia fotográfica.	46

CÓDIGO DUBLIN

Título:	Fertilización edáfica con tres niveles de Silicato de Calcio y tres de Nitrógeno en el cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en la zona de Quinsaloma
Autor:	<u>Jumbo Tejena José Benigno</u>
Palabras clave:	Silicio, Calcio, CCN-51, Fertilización
Fecha publicación:	
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2019
Resumen:	Resumen: El cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) se proyecta como una de las alternativas agrícolas más importantes en el país, gracias a que contamos con las condiciones ambientales más propicias para el óptimo desarrollo del cultivo. La investigación se desarrolló en el cantón Quinsaloma, provincia de Los Ríos y cuyo objetivo fue evaluar la fertilización edáfica de este cultivo con tres niveles de silicato de calcio y tres de nitrógeno, mediante el planteamiento de un diseño de bloques completos al azar bajo un esquema factorial 3x3, evaluándose tres niveles de aplicación a razón de 150, 250 y 350 kg/ha de silicato de calcio y tres de urea obteniéndose 9 dosis diferentes más un tratamiento testigo. Se realizaron evaluaciones periódicas cada 15 días durante los 120 días que duró el ensayo, en las que se valoró el índice de floración, fructificación y la incidencia de Cherrelle Will. Se empleó una escala para contabilizar la cantidad de flores y Cherrelles producidas de manera más efectiva. Los resultados demostraron que la combinación de 350 kg de silicato más 250 kg de urea (T8) alcanzó un mayor índice de floración, del mismo modo en la variable de fructificación se observó un comportamiento similar alcanzando una media de 24.87 mazorcas por árbol. Se observó además una incidencia de Cherrelle a partir de los 60 días de evaluación. Con esta investigación se demostró el efecto positivo de la fertilización edáfica empleando silicato de calcio y una fuente de nitrógeno.

	Abstract: The cultivation of cocoa (<i>Theobroma cacao</i> L.) is projected as one of the most important agricultural alternatives in the country, thanks to the fact that we have the most favorable environmental conditions for the optimal development of the crop. The research was carried out in the Quinsaloma canton, province of Los Ríos and whose objective was to evaluate the edaphic fertilization of this crop with three levels of calcium silicate and three of nitrogen, through the design of a randomized complete block design under a scheme 3x3 factorial, evaluating three levels of application at a rate of 150, 250 and 350 kg / ha of calcium silicate and three of urea obtaining 9 different doses plus a control treatment. Periodic evaluations were carried out every 15 days during the 120 days of the trial, in which the flowering, fruiting index and the incidence of Cherrelle Will was assessed. A scale was used to account for the quantity of flowers and Cherrelles produced more effectively. The results showed that the combination of 350 kg of silicate plus 250 kg of urea (T8) reached a higher flowering rate, in the same way in the fruiting variable a similar behavior was observed reaching an average of 24.87 ears per tree. An incidence of Cherrelle was also observed after 60 days of evaluation. With this investigation, he demonstrated the positive effect of edaphic fertilization using calcium silicate and a nitrogen source.
Descripción:	65 hojas + CD ROM
URI	

Introducción.

El cultivo de cacao, (*Theobroma cacao* L.) remonta gran importancia dentro de la economía local del país, al ser un producto de exportación y materia prima en industrias locales no solo de confitería. El Ecuador cuenta con dos variedades de cacao que se producen a gran escala, el tipo Nacional (fino de aroma) y el clon CCN-51, principalmente en las provincias de la Costa por la naturaleza tropical del cultivo, donde alrededor de 600 mil personas dependen directamente de la cadena alimentaria del cacao, representando aproximadamente el 4% de la Población Económicamente Activa (PEA) nacional y 12.5% de la PEA agrícola (1).

De acuerdo datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) durante el año 2017 se reportaron alrededor de 490 000 ha cultivadas con cacao existentes en el país, siendo la Costa ecuatoriana donde más se cultiva con el 79,49% de la superficie, mientras que en la Sierra alcanzan el 13,52% y por último el Oriente con el 6,99%. Del litoral, Manabí es la provincia con mayor superficie cultivada con 92 839 ha, seguido de Los Ríos con 84 222 ha y Guayas con 79 768 ha, no obstante, Manabí presenta una mínima en productividad, es apenas del 13,60% con relación a Guayas 32,03% y Los Ríos con el 23,56%. En el año 2014, Ecuador finalizó entre los cinco mayores exportadores de cacao a nivel mundial, alcanzando una producción de 240 000 toneladas (2).

La productividad del cultivo de cacao está estrechamente relacionada con el contenido óptimo de macro y micronutrientes que estén presentes en el suelo, y cuya respuesta fisiológica depende de la disponibilidad estos elementos, evidenciándose en el rendimiento. Cabe recalcar que debe tenerse en cuenta la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo, con el fin de suplementar las dosis necesarias para el cultivo, las mismas que deben ajustarse de acuerdo a cada zona o área de producción (3).

La acidez del suelo constituye un factor limitante en la agricultura, por el hecho de alterar la dinámica de los nutrientes e indisponibilizar el fósforo (P) en solución. El empleo de silicatos de calcio (Ca) y magnesio (Mg), además de proporcionar silicio (Si) corrige el pH del suelo aumentando la disponibilidad de los elementos en solución y, por ende, incrementando la productividad (4).

Los fertilizantes a base de silicio son aplicados en cultivos en diferentes países para incrementar la producción y sostenibilidad agrícola. La forma de silicio absorbida por la raíz es el ácido monosilícico, el cual se transloca de hacia los nuevos brotes, concentrándose debido a la pérdida de agua y polimerizándose primero a sílice coloidal y posteriormente a sílica gel al aumentar su concentración. El silicio es el único elemento que no causa serios problemas en cantidades excesivas (5).

El calcio (Ca) es uno de los tres nutrientes secundarios, junto con el magnesio (Mg) y el azufre (S), que requieren las plantas para crecer vigorosamente. El calcio es responsable de mantener unidas las paredes celulares de las plantas, ya que cuando el calcio es deficiente, los tejidos nuevos tales como: las puntas de las raíces, las hojas jóvenes y las puntas de los brotes a menudo presentan un crecimiento distorsionado debido a la formación incorrecta de la pared celular. El calcio también se utiliza para activar ciertas enzimas y enviar señales que coordinan ciertas actividades celulares (6).

La carencia de fertilización adecuada es una de las causas principales de los bajos rendimientos del cultivo de cacao en el país, por lo cual se plantea esta investigación con el fin de demostrar las cualidades del silicato de calcio sobre las etapas de floración y fructificación, demostrando las necesidades nutritivas del árbol de cacao y permitiéndole a pequeños productores aumentar la productividad.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de la investigación.

1.1.1. Planteamiento de problema.

Los promedios de producción de cacao alcanzados a nivel nacional son bajos, esto se debe a factores bióticos y abióticos como incidencia de plagas, enfermedades y la baja fertilidad de los suelos, el cual es uno de los agentes de mayor influencia al restringir el incremento de la producción. La necesidad de mantener el balance de los nutrientes en el suelo obliga a que se hagan aplicaciones de enmiendas conteniendo macronutrientes como el N, P, K y de otros minerales como el Ca y Si, que sean de rápida disponibilidad para la planta en el suelo.

La fertilización del cultivo de cacao es uno de los mayores problemas que existe en la zona de Quinsaloma, debido entre muchos factores, a la limitante económica que existe entre los pequeños productores. Acceder a fertilizantes resulta en muchas veces inalcanzable también por la fluctuación de los precios del producto en el mercado, lo que no permite tener un margen de ganancia que permita la adquisición de fertilizantes edáficos, limitando significativamente el rendimiento de granos por unidad de superficie.

Diagnóstico.

Este cultivo es desarrollado en su gran mayoría por pequeños y medianos productores, quienes muchas veces son de recursos limitados lo que no les permite aplicar toda la tecnología que el cultivo requiere para alcanzar máximos rendimientos, limitándose a cosechar por debajo del promedio nacional, el mismo que alcanza los 300 kg/ha (7).

Pronóstico.

El cacao como todo cultivo necesita ser fertilizado para que mantenga una producción estable, la fertilización permite devolverle al suelo los nutrientes que han sido absorbidos por el cultivo, al no hacerlo con el transcurso del tiempo el suelo se desgastará, perderá su fertilidad, ocasionando baja producción y rentabilidad.

1.1.2. Formulación de problema.

¿La aplicación de silicato de calcio y urea permitirá alcanzar altos índices de floración y fructificación en el cultivo de cacao clonal CCN-51?

1.1.3. Sistematización del problema.

¿La aplicación de silicato de calcio más nitrógeno incidirán en el índice de floración en el cultivo de cacao CCN-51 en la zona de Quinsaloma?

¿La mezcla de estos fertilizantes aplicados inducirán a un mayor índice de fructificación del cacao CCN-51 en la zona de Quinsaloma?

¿La fertilización edáfica del cacao CCN-51 con compuestos de silicio, calcio y nitrógeno afectará el número de mazorcas sanas obtenidas?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general.

Evaluar la fertilización edáfica con tres niveles de silicato de calcio y tres de nitrógeno en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 en la zona de Quinsaloma.

1.2.2. Objetivos específicos.

- ❖ Estimar el índice de floración obtenido mediante la aplicación de silicato de calcio y nitrógeno.
- ❖ Determinar el número de mazorcas sanas por planta obtenidas mediante la fertilización edáfica.
- ❖ Valorar la incidencia de Cherrelles.

1.3. Justificación.

Ecuador posee un suelo de características excepcionales, lo cual ha sido demostrado en varias investigaciones donde al elevar el nivel de tecnificación mediante la suplementación nutricional, los cultivos pueden fácilmente duplicar y hasta triplicar los rendimientos obtenidos al adoptar técnicas que mejoren el estado fitosanitario y nutricional de las plantas.

El proyecto de investigación planteado está dirigido a los pequeños productores, el cual busca ofrecer una alternativa a la fertilización convencional, puesto que el silicato de calcio debido a su composición actúa cambiando las condiciones del suelo, regulando el pH y aumentando la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo que debido a diversos factores están bloqueados para ser aprovechados por la planta; del mismo modo, el silicio actúa en el metabolismo de la planta a manera de “depurante” mejorado notablemente el estado fitosanitario del cultivo.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

Ósmosis. – Es un fenómeno físico relacionado con el movimiento de un disolvente a través de una membrana semipermeable. Tal comportamiento supone una difusión simple a través de la membrana, sin gasto de energía. La ósmosis del agua es un fenómeno biológico importante para el metabolismo celular de los seres vivos (8).

Edafología. – Es una rama de la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea. Dentro de la edafología aparecen varias ramas teóricas y aplicadas que se relacionan en especial con la física, la química y la biología (9).

Silicatos. – Son el grupo de minerales de mayor abundancia en la corteza terrestre, pues constituyen el 95 % de la litosfera, además de ser el grupo de mayor importancia geológica por ser petrogénicos, es decir, los minerales que forman las rocas. Todos los silicatos están compuestos por silicio y oxígeno, sin embargo, estos elementos pueden estar acompañados de otros entre los que destacan aluminio, hierro, magnesio o calcio. Tienen como unidad básica fundamental al tetraedro de silicio (SiO_4)⁴⁻, que se explica como un catión de silicio (Si^{4+}) enlazado con 4 aniones de oxígeno (O^{2-}), los cuales se hallan dispuestos a su alrededor en las direcciones de los vértices de un tetraedro (10).

Suelos oxidados. – Se denomina así a los suelos que presentan una abundante cantidad de óxidos en su composición. Esto está estrechamente relacionado con su capacidad Redox, es decir, la capacidad reductora u oxidativa. Este atributo se encuentra estrechamente relacionado con la aireación del sistema edáfico y el pH, puesto que, ambas condiciones determinan la actividad microbiana como el tipo de reacciones que suceden en él (11).

Los óxidos de hierro son los óxidos metálicos más abundantes en el suelo, en especial depositados como recubrimiento de minerales primarios y secundarios o infiltrados en agregados de arcilla, los cuales alteran la carga eléctrica, modifican las propiedades de superficie e incrementan la capacidad amortiguadora del suelo; esto debido a que el hierro juega un papel importante en la agregación de partículas y en la formación de la estructura del suelo (11).

2.2. Marco referencial.

2.2.1. Antecedentes investigativos.

Son varios los beneficios que ofrece el Silicio para la agricultura, no obstante, las investigaciones realizadas en este campo son escasas. Para el caso del cultivo de cacao no hay registros de investigaciones relacionadas, sin embargo, se presentan a continuación antecedentes de la aplicación de silicato de calcio en otros cultivos de importancia económica en el país.

El silicio es un nutriente que está siendo utilizado en diversos cultivos, debido a sus efectos beneficiosos en la fisiología de la planta y en la protección al ataque de insectos plaga y de agentes causantes de enfermedades; dentro de este contexto, Guimarões (12), evaluó la respuesta fisiológica en tres genotipos de cacao sometidos a diferentes concentraciones de silicato de potasio y su interacción con insectos plaga, demostrando un incremento significativo de la tasa fotosintética, especialmente en el genotipo CCN-51, del cual también demostró una mayor resistencia al ataque áfidos y defoliadores complementada con incremento significativo de los rendimientos productivos.

Rugel (13), en su investigación evaluó cinco niveles de silicato de calcio y tres de urea en fertilización edáfica del cultivo de arroz obteniéndose como resultado un incremento en la producción donde el tratamiento que presentó mejor respuesta fue con 200 kg/ha de Si más 160 kg/ha de N con un promedio de producción de 7653 kg /ha, obteniendo un beneficio neto marginal de 463,33 USD y la tasa de retorno marginal de 713%.

Uno de los estudios más recientes en Brasil realizado por un equipo de investigadores demostraron los beneficios de la aplicación de silicio en el cultivo de papa incorporado al suelo. Los resultados mostraron un aumento de la producción total de tubérculos del 14.3% y de la producción de tubérculos comercializables en 15.8%. Muchos de esos resultados positivos se debieron a una reducción del 63% en el encamado de las plantas, ya que la reducción en el encamado de las astas, proporcionada por la aplicación de silicio, puede estar relacionada con la mejor condición hídrica en las células promovida por el ajuste osmótico, lo que resultó en células más turgentes y con mayor resistencia mecánica (14).

Actualmente el silicio ha adquirido singular importancia no solo por su uso en electrónica, sino también por sus efectos benéficos en algunos cultivos de importancia económica, razón por la cual se han desarrollado varias investigaciones entre las cuales resalta la desarrollada por Villalón *et al.*, (15) quienes evaluaron los impactos del dióxido de silicio como fertilizante sobre la calidad de la planta del chile piquín, en mezcla con enmiendas orgánicas como lombricomposta. Se determinó la incidencia del silicio en el crecimiento activos de las plantas superando a la aplicación de lombricomposta de manera unitaria y al tratamiento testigo quien alcanzó el índice mas bajo de desarrollo vegetativo.

Dentro de la agricultura local, el silicio es un elemento poco explotado, no obstante, en el cultivo de arroz se han evaluado el rol del silicio en el metabolismo de este importante cereal en la investigación desarrollada por Naranjo y Solórzano (16), quienes evaluaron el efecto de aplicar silicio en varias dosis de forma edáfica en dos etapas fenológicas alcanzando mayores rendimientos y resistencia a plagas y enfermedades con la mayor dosis de silicio empleada.

2.3. Marco teórico.

2.3.1. Generalidades del cultivo de cacao.

El cultivo de cacao es originario de la zona de Centroamérica parte de Sudamérica, antes de que se convirtiera en un cultivo de expansión mundial, sin embargo, estudios realizados sobre el origen exacto posiciona al cacao como aborigen de la zona amazónica de Brasil. El género *Theobroma* significa “alimento de los Dioses” en el idioma griego (17).

Este cultivo es exigente en lo que respecta a condiciones de humedad relativa, las cuales deben ser superior al 70%, además requiere de una alta tasa de precipitación y sobre todo una temperatura entre los 18 a 32 °C, lo que lo convierte en un cultivo idóneo para las zonas de la franja ecuatorial. Por lo general, este cultivo tiene la capacidad de desarrollarse en ambientes con penumbra, y gracias a esta condición tienen la capacidad de conservar la humedad necesaria para satisfacer a cabalidad los procesos fisiológicos, no obstante, el exceso de humedad puede llegar a ser una limitante seria al desencadenar una alta incidencia de enfermedades fungosas (17).

2.3.1.1. Cacao CCN-51.

El cacao (*Theobroma cacao* L. Cv. CCN-51) representa el cultivar que más hectáreas posee en el país, gracias a que es considerado un árbol precoz de alta calidad y productividad, muy tolerante a las enfermedades, con mazorcas y semillas grandes y de fácil manejo debido a que no alcanza grandes alturas (18).

El clon CCN-51 fue desarrollado en 1965 luego de varias investigaciones, siendo el agrónomo ambateño Homero Castro Zurita quien logró crear este cultivar, razón por la cual las siglas CCN significan Colección Castro Naranjal. Este clon se originó del cruce de los clones ICS-95 x IMC-67, obteniendo un híbrido F1 que posteriormente se sometió a un segundo cruce con un cultivar de cacao encontrado por Castro Zurita en el Oriente ecuatoriano el cual denominó “Canelo” (19).

De los clones obtenidos fue el identificado con el número 51 quien alcanzó una mayor productividad y tolerancia a enfermedades. El clon CCN-51 fue declarado el 22 de junio del 2005, mediante acuerdo ministerial No 040, como un bien ecuatoriano de alta productividad. Actualmente es cultivado en el país considerado como un cacao ordinario, corriente o común (19).

Ecuador presenta zonas ideales para el desarrollo de este cultivo, donde se presentan las condiciones son las más idóneas para las plantas, por lo que este cultivo puede empezar a producir a partir de los 24 meses después del trasplante y fácilmente alcanzar rendimientos que pueden superar los 50 qq/ha. Las zonas de mayor producción de este cultivo son las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y El Oro. El país compite con grandes potencias como Camerún y Brasil en el mercado externo del producto (20).

Sin embargo, a pesar de que esta variedad es preferida por un gran número de cultivadores debido a su alto rendimiento y tolerancia a las enfermedades, su utilización como materia prima en la elaboración de chocolatería fina ha recibido críticas de parte de varios sectores, dadas sus pobres características de sabor y aroma debido a las bajas tonalidades de sabor a fruta y rasgos florales, sumadas a un excesivo amargor y alta astringencia (21).

2.3.2. Fertilización edáfica.

Nutrir las plantas siempre ha sido un desafío para la agricultura. Las primeras fuentes de alimento para el cultivo han sido las propias del suelo que ofrecen su potencial mineral originado en las rocas madres y su componente orgánico (material que procede de organismos vivos y biomasa del propio árbol) (22).

La carencia de fertilización adecuada es una de las causas de los bajos rendimientos del cacao; encontrándose que los conocimientos adquiridos en los diferentes países, aunque valiosos, son aún insuficientes para dar una idea clara de las necesidades nutritivas del árbol de cacao (23).

La fertilización es un recurso para aumentar la producción, ya que los huertos de cacao pueden requerir algún nutriente que esté limitando su normal desarrollo y la fertilización debe de ser hecha en base a las necesidades de esa plantación. Los fertilizantes solamente cumplen un efecto benéfico, si es que son aplicados correctamente.

Una mala aplicación podría causar efectos adversos sobre la plantación y el suelo. Para asegurar el éxito de la práctica de fertilización, esta debe ir acompañada de otras labores como: reducción de la sombra definitiva, control de malezas, riego, control de enfermedades y plagas, entre otros factores (24).

Los rendimientos en los cultivos de cacao pueden reducir rápidamente con el tiempo cuando no se aplica fertilizantes y la plantación envejece tempranamente. Las respuestas a los tratamientos de fertilización dan un rendimiento promedio de 1135 kg/ha de cacao seco, lo que significa un incremento de hasta 100% sobre huertas sin fertilizar. Los datos indican un balance positivo cuando se calculan los gastos y los ingresos. Antes de realizar un programa de fertilización, debe hacerse un análisis de suelo y posteriormente interpretar dichos resultados, para determinar los requerimientos nutricionales del cultivo, y hacer las recomendaciones necesarias (25).

2.3.3. El silicio (Si).

Un suelo bien manejado contiene los nutrientes ideales para cualquier cultivo, principalmente N, P, K, Ca, Mg, y además de estos, una buena cantidad de materia orgánica. Sin embargo, uno de los minerales primarios más abundantes en los suelos es el óxido de silicio (SiO_2), que forma la base de la estructura de la mayoría de los minerales arcillosos. El silicio (Si) se encuentra en suelos tropicales principalmente en forma de cuarzo, ópalo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) y otras formas no disponibles para las plantas. En suelos oxidados, la disponibilidad de silicio es menor en función de meteorización avanzada (4).

El silicio (Si), después del oxígeno, es el segundo elemento más abundante en la tierra, constituyendo aproximadamente el 28 % de la corteza terrestre. Es encontrado solamente en formas combinadas, como la sílice y minerales siliconados. Los silicatos son minerales en los cuales el silicio está combinado con oxígeno u otros elementos como Al, Mg, Ca, Na, Fe, K y otros, en más del 95 % de las rocas terrestres, los meteoritos, las aguas y en la atmósfera. Los minerales siliconados más comunes son el cuarzo, los feldespatos alcalinos y las plagioclasas (26).

2.3.3.1. Características del silicio.

El Si se encuentra presente en la solución del suelo como ácido monosilícico (Si(OH)_4), la mayor parte en forma no disociada, la cual está fácilmente disponible para las plantas. Debido a la desilicización causada por el intenso intemperismo y la lixiviación de los suelos tropicales, las formas de Si más encontradas en estos suelos son cuarzo, ópalo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) y otras formas no disponibles para las plantas. Las formas de Si químicamente activas en el suelo están representadas por el ácido monosilícico soluble y francamente adsorbido, ácido polisilícico, y compuestos organo-silícicos (26).

El empleo de silicio en la agricultura se presenta cada vez más como otra forma de optimizar el uso de insumos agrícolas, esto debido al creciente uso de silicatos como fuentes de silicio (Si), el mismo que al ser absorbido por las plantas se deposita en las paredes celulares de la epidermis y fortalecen su estructura, otorgando mayor protección contra ataques de plagas y enfermedades (27).

El uso de silicato de calcio y magnesio también se ha vuelto más interesante debido a su capacidad correctiva para la acidez del suelo, debido a la formación de hidroxilos que neutralizan iones H^+ presentes en la solución del suelo, además de aportar calcio y magnesio (27).

2.3.3.2. El silicio en la fisiología vegetal.

El proceso natural de meteorización puede presentar serias limitaciones químicas para el normal desarrollo de las plantas, esto debido a que la meteorización promueve una alta acidez del suelo, baja capacidad de intercambio catiónico (CTC), disminución de la saturación en bases y gran capacidad para fijar fósforo (4).

La nutrición mineral de las plantas ha sido uno de los factores más estudiados con relación a la susceptibilidad y resistencia de las plantas a plagas. De modo general, elevados tenores de nitrógeno y bajas concentraciones de potasio aumentan la susceptibilidad de las plantas a los agentes nocivos. El silicio promueve el fortalecimiento de la pared celular de las hojas y de los tallos al dejar las plantas más erectas y aumentar el área de exposición al sol (26).

Entre los inductores de resistencia más estudiados, el silicio ha tenido destaque por traer beneficios para las plantas, siendo capaz de aumentar el contenido de clorofila de las hojas y la tolerancia de las plantas a las tensiones ambientales como frío, calor, sequía, desbalance nutricional y toxicidad a metales, además de reforzar la pared celular y aumentar la resistencia contra patógenos e insectos (28).

Existen investigaciones que demuestran que el (Si) ayuda en la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades, disminuyendo la tasa de transpiración y participa activamente en el ciclo de la planta; está comprobado que la fertilización con (Si) puede reducir o eliminar la cantidad de aplicaciones de agroquímicos durante el ciclo de cultivo, debido a que, después de la aplicación de Si se forma una barrera debajo de la cutícula de las raíces, formando así una capa de sílice en mayor proporción que confiere mayor resistencia a la planta, obstaculizando la penetración y el desarrollo de hifas hongos (4).

Varios otros beneficios son proporcionados por el (Si) en las plantas como una mayor acumulación de materia seca y mayor producción de hojas, así como una mayor rigidez de los tejidos estructurales que proporcionan hojas erectas y, por lo tanto, mayor capacidad fotosintética. Del mismo modo, el (Si) fortalece la estructura de la pared celular, lo que confiere una mayor lignificación y la activación de mecanismos específicos como la producción de fitoalexinas y síntesis de proteínas relacionadas con la resistencia a patógenos (27).

2.3.3.3. Metabolismo del silicio.

La aplicación de silicatos al suelo libera ácido ortosilícico (H_4SiO_4), el cual es conocido como la única forma de silicio que se halla disponible para las plantas. Este compuesto puede desplazar los iones fosfatos (H_2PO_4^-) que se encuentran fijados por óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio; además también puede desplazar aquellos fosfatos unidos en los sitios de absorción de las arcillas. Este ácido también posee la capacidad de fijar los cationes de hierro y aluminio cuando se encuentran libres en la solución del suelo, donde pueden generar problemas de toxicidad para los cultivos (29).

El silicio es un elemento considerado no esencial para el desarrollo de los cultivos, no obstante, diversos estudios han encontrado concentraciones significativas de dicho elemento en la mayoría de plantas superiores, demostrando la importancia que este mineral puede tener como un elemento importante para los cultivos. Las plantas obtienen silicio de la solución del suelo en forma de ácido ortosilícico, a pesar de que también pueden crecer y desarrollarse en ausencia de este nutriente (29).

Otro de los beneficios que el silicio promueve, es la reducción del efecto tóxico por presencia de cadmio (Cd) en las plantas, no solo por la inmovilización de este elemento en el suelo gracias al incremento del pH, si no que, también por mitigar los efectos tóxicos del elemento dentro de la planta. La aplicación de (Si) regula el equilibrio de los metales en el suelo al reducir el paso de metales en fase sólida en la solución del mismo, llegando a observar un notable descenso en los niveles de cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu) y plomo (Pb) en suelos que recibieron aplicación de silicio (30).

La aplicación de elementos como el (Ca) y el (Si) han sido ampliamente estudiado para inducir la resistencia en plantas a los patógenos, reduciendo notablemente la incidencia y gravedad de muchas afecciones generalmente fungosas. Estos dos elementos son absorbidos por las plantas junto con el agua del suelo y por flujo de masa se mueven principalmente a los órganos de transpiración acumulándose en las hojas, siendo su transporte bastante limitado a través del floema a los frutos (31).

2.3.4. El calcio (Ca).

La nutrición adecuada en los cultivos se ve reflejada en su grado de productividad y calidad de los frutos cosechados, bajo este principio, un adecuado contenido de nutrientes presentes en el suelo representa la base de un buen desarrollo metabólico de la planta y sus frutos, sin embargo factores extrínsecos e intrínsecos pueden llegar a impedir la asimilación de nutrientes, aun en suelos fértiles, razón por lo cual el uso de fertilizantes foliares compensan o suplementan esta carencia (32).

Dentro de este aspecto, la suplementación foliar con calcio presenta vital importancia durante la etapa de fructificación, asegurando un adecuado llenado de los frutos y excelente maduración. Adicional, el empleo de fertilizantes edáficos con calcio, sean estos puros o en mezcla con otros nutrientes mejoran su movilidad y absorción, siendo buenos correctores de las deficiencias (32).

2.3.4.1. Fuentes de calcio.

Las fuentes de calcio son muy variables para su uso en la agricultura, entre estos tenemos los caldos minerales, que básicamente son soluciones que nutren al suelo, y por ende a la planta, bloqueando metales pesados y estimulando el metabolismo y crecimiento de raíces. También pueden encontrarse combinaciones con otros minerales como el cobre, azufre, permanganato, entre otros. Hay combinaciones que se elaboran a base de calor, como el caldosulfocálcico a base de azufre y cal, comúnmente usado como acaricida y fungicida, además que favorece la síntesis de proteínas. Otros preparados calcicos son: caldo de ceniza, caldo silito-sulfocálcico, caldo emulsión ceniza, polisulfuro de calcio (33).

Existen otros abonos que se elaboran en frío, como el caso del caldo Bordelés, cuyo uso se extiende hasta acción fungicida, ideal para ser usado en la cicatrización de árboles, además del control de la antracosis y del tizón temprano; también existen caldos minerales enriquecidos con estiércol, melaza, suero de leche, agua y distintas minerales como harinas de rocas, granitos, basaltos, además de compuestos de origen animal como la harina de hueso o sangre, siendo este biofermento muy utilizado para nutrir, prevenir y estimular la inducción de resistencia de las plantas contra patógenos y enfermedades (33).

2.3.5. Uso de silicio y calcio en el cultivo de cacao.

El empleo de productos elaborados a base de sales minerales y otros compuestos de origen natural han mostrado grandes resultados en el control de diversas afecciones en las plantas; dos ejemplos claros son la aplicación de caldo bordelés en el control de *Plasmopara viticola* en el cultivo de vid y de polisulfuro de calcio en el control de *Venturiaina equalis* en el cultivo de manzano. En el caso específico del cultivo de cacao, el caldo bordelés se ha empleado con éxito en el control de mazorca negra, ocasionada por patógeno *Phytophthora palmivora*, mientras que el polisulfuro de calcio logró un control aceptable sobre *Moniliophthora roreri*, evaluadas en condiciones *in vitro* así como en plantaciones comerciales (34).

El empleo de silicio y calcio dentro del cultivo de cacao presenta varios beneficios a nivel de suelo, debido a que recientes estudios han demostrado que los suelos dedicados al cultivo de cacao podrían presentar altos niveles de metales pesados, esto podría llevar a problemas de consumo y exportación de este producto en un futuro. Esto se debe principalmente a que estos metales pesados presentes en el suelo, una vez que se hallan disponibles, pueden llegar a ser absorbidos por la planta, a pesar de que su distribución dentro de la planta y posterior acumulación llega a ser variable. Específicamente en el caso del cadmio, hasta la actualidad, aún no se conoce el rol fisiológico definido que cumple en la planta, pero puede llegar a concentrarse raíces, brotes, hojas o partes comestibles como los granos por su constitución grasosa (35).

La aplicación de enmiendas calcicas y silícicas se presentan como una alternativa para corregir los problemas de acidez presentes en los suelos cultivados con cacao, estas enmiendas incrementan el contenido de bases y neutralizan los protones resultados del proceso de acidificación. Por lo general, los suelos ácidos presentan cargas variables, caracterizadas por tener una alta concentración de Al^{3+} , Fe^{2+} y Mn^{2+} en disponibilidad en la superficie de la fase coloidal del suelo (36).

El incremento de la carga positiva merma la capacidad de retención de bases de intercambio en el complejo arcilla, la materia orgánica y, a su vez, genera un incremento de la concentración de aluminio disponible. Esta limitante genera la necesidad de aumentar la capacidad de intercambio catiónico del suelo, para que, de esta manera las bases Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} sean retenidas en el suelo y puedan ser asimiladas por las plantas (36).

La reacción desencadenada en el suelo por la adición de compuestos cálcicos induce a que los iones H^{+} y Al^{3+} que se encuentran presentes en la solución de suelo, reaccionen a las enmiendas cálcicas, dando como resultado la liberación de agua y aluminio precipitado, el cual es reemplazado en los sitios de intercambio por calcio y otros cationes básicos, desplazando al aluminio toxico en una forma inerte. El componente principal de los carbonatos de calcio es la piedra caliza, ampliamente empleada para corregir la acidez del suelo y como fuente de calcio. El término “cal” generalmente suele referirse a una variedad de productos como dolomita, cal agrícola, cal apagada, entre otros, pero para su uso en agricultura generalmente se refiere a la piedra caliza molida (36).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. Localización.

El proyecto de investigación fue llevado a cabo en un cultivo de cacao CCN-51 ubicado en una finca agrícola perteneciente al Ing. Edison Rodríguez localizada en el recinto Chipe, perteneciente al cantón Quinsaloma, Provincia de Los Ríos, georreferenciada entre las coordenadas 01°08'26" de latitud sur y 79°21'32" de longitud oeste, con una altitud de 89 msnm.

Tabla 1. *Condiciones meteorológicas de la zona de estudio.*

Parámetros	Valores medios
Temperatura (°C)	25.3
Humedad Relativa (%)	82.0
Heliofanía (horas luz/año)	1041.1
Precipitación (mm/año)	3229.3
Zona ecológica	bh-T

Fuente: (37).

3.2. Tipo de investigación.

La investigación desarrollada fue de tipo experimental donde se registró el comportamiento productivo del cultivo de cacao CCN-51 en respuesta a la aplicación de silicato de calcio y nitrógeno en forma de urea dirigida al suelo.

3.3. Método de investigación.

La presente investigación se basó en la observación directa de los cambios ocurridos durante el experimento, además de registrarse las mediciones correspondientes que permitieron alcanzar los objetivos propuestos en el presente estudio.

Se empleó el método estadístico al analizar los datos recolectado durante el ensayo, permitiendo obtener información precisa sobre la producción y crecimiento vegetativo obtenido gracias a los tratamientos aplicados.

3.3.1. Manejo del experimento.

3.3.1.1. Adecuamiento de la plantación.

Para el presente trabajo investigativo se dispuso de una plantación de cacao CCN-51 de 2.8 años de edad en etapa productiva, cultivado bajo sistema de siembra de triángulo equilátero a una distancia de 2.9 m entre plantas obteniendo así una densidad poblacional de 1373 plantas/ha. Las plantas fueron sometidas a poda de mantenimiento antes de la aplicación de los tratamientos. El control de malezas que se realizó fue de acuerdo al programa de la finca es mediante la aplicación de glifosato + metsulfuron, en dosis de 2.0 L/ha y 16g/ha respectivamente, de manera alternada con paraquat en dosis de 1.5 L/ha y control manual de acuerdo a la emergencia de las malezas. Se realizó una corona alrededor de la planta con un radio de 1 m, dentro del cual no existió maleza ni hojarasca. Previo a la aplicación de los fertilizantes se aplicó riego de manera localizada cuidando de no generar encharcamiento.

3.3.1.2. Aplicación de los tratamientos.

Los tratamientos fueron aplicados de acuerdo a las dosis establecidas (Tabla 2), de manera única y bajo sistema de aplicación dispersa de manera uniforme en toda la circunferencia generada para el efecto. Los fertilizantes fueron aplicados con el terreno humedecido, el mismo que se mantendrá uniforme durante todo el proceso experimental mediante riego localizado.

3.4. Fuente de recopilación de información

3.4.1. Fuentes primarias.

Las fuentes primarias responden a la observación directa de la evolución de la planta durante el periodo de ensayo, el registro de los datos obtenidos y la experiencia adquirida.

3.4.2. Fuentes secundarias.

Las fuentes secundarias de la investigación se obtuvieron a través de medios informativos como revistas científicas online, libros, documentos de internet y otras fuentes bibliográficas actualizadas.

3.5. Diseño de la investigación

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar, con arreglo factorial 3x3 agregado con un tratamiento testigo sin aplicación de fertilizantes, evaluándose tres niveles de silicato de calcio comercial (CaSiO_3), cuya composición es de 62% de Si y 12% de Ca; y de tres niveles de urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) que contiene un 46% de N, más un tratamiento testigo, para lo cual se emplearon diez plantas por cada unidad experimental y distribuidos en tres bloques. Los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 2.

El diseño de la investigación responde al siguiente modelo matemático:

(Ecuación 1)

$$Y_{klj} = \mu + \alpha_k + \gamma_l + \varepsilon_{kl} + \epsilon_{klj}$$

Donde:

Y_{klj} es la variable de respuesta o variable dependiente

μ es la media general

α_k es el efecto del factor A

γ_l es el efecto del factor B

ε_{kl} es la interacción de los factores A x B

ϵ_{klj} es el error experimental

Los tratamientos estuvieron conformados por la combinación de tres niveles de dos factores de estudios, los mismos que se detallan a continuación:

Factor A:

Niveles de Silicato de calcio:

A1: 150 kg/ha

A2: 250 kg/ha

A3: 350 kg/ha

Factor B:

Niveles de Urea:

B1: 150 kg/ha

B2: 250 kg/ha

B3: 350 kg/ha

Tabla 2. *Tratamientos a evaluar.*

Tratamientos		Dosis por hectárea	Plantas	Rep.	U.E.
T0	Testigo		10	3	30
T1	A1xB1	150 kg (CaSiO ₃) + 150 kg (CO(NH ₂) ₂)	10	3	30
T2	A1xB2	150 kg (CaSiO ₃) + 250 kg (CO(NH ₂) ₂)	10	3	30
T3	A1xB3	150 kg (CaSiO ₃) + 350 kg (CO(NH ₂) ₂)	10	3	30
T4	A2xB1	250 kg (CaSiO ₃) + 150 kg (CO(NH ₂) ₂)	10	3	30
T5	A2xB2	250 kg (CaSiO ₃) + 250 kg (CO(NH ₂) ₂)	10	3	30
T6	A2xB3	250 kg (CaSiO ₃) + 350 kg (CO(NH ₂) ₂)	10	3	30
T7	A3xB1	350 kg (CaSiO ₃) + 150 kg (CO(NH ₂) ₂)	10	3	30
T8	A3xB2	350 kg (CaSiO ₃) + 250 kg (CO(NH ₂) ₂)	10	3	30
T9	A3xB3	350 kg (CaSiO ₃) + 350 kg (CO(NH ₂) ₂)	10	3	30
Total plantas					300

En la Tabla 3 se muestra la dosis aplicada de cada fertilizante por planta en cada tratamiento evaluado.

Tabla 3. *Dosificación de cada fertilizante empleado.*

Tratamientos	Dosis (g/planta)
--------------	------------------

		CaSiO₃	CO(NH₂)₂	Total
T0	Testigo	0	0	0
T1	A1xB1	109.25	109.25	218.50
T2	A1xB2	109.25	182.08	291.33
T3	A1xB3	109.25	254.91	364.16
T4	A2xB1	182.08	109.25	291.33
T5	A2xB2	182.08	182.08	364.16
T6	A2xB3	182.08	254.91	437.00
T7	A3xB1	254.91	109.25	364.16
T8	A3xB2	254.91	182.08	437.00
T9	A3xB3	254.91	254.91	509.82
Total (kg)		1.64	1.64	3.27

3.6. Instrumentos de investigación.

Se evaluó cuantitativamente el efecto de los fertilizantes en la etapa productiva del cultivo de cacao (floración y fructificación) para lo cual se presentaron las siguientes variables a medir.

3.6.1. Índice de floración.

La variable fenológica de floración fue registrada cada 15 días, contabilizándose el número de cojinetes florales en cada árbol y luego los datos se acumularon para presentar el total de flores al finalizar el ensayo. Se empleó una escala arbitraria de 0 a 4, dependiendo del grado de emisión de flores por las plantas en cada unidad experimental. Esta escala estuvo dispuesta de manera que 0 = 0% (nula presencia de flores); 1 = 1-25% (poca presencia de flores); 2 = 26-50 % (ligera presencia de flores); 3 = 51-75 % (moderada presencia de flores) y 4 = >76% (abundante floración) (38).

3.6.2. Índice de fructificación.

Cada 15 días se contabilizaron los frutos recién formados en los mismos árboles seleccionados para contar las flores. Los frutos recién formados se diferenciaron de aquellos contabilizados en el último registro básicamente por su tamaño. Los datos se acumularon para presentar el total de frutos (24).

3.6.3. Incidencia de Cherrelle Wilt.

Dentro de esta variable se evaluó el número de Cherrelle Wilt, registrada mensualmente empleando una escala arbitraria de 0 a 4, dependiendo de la presencia de frutos marchitos prematuramente (menos de seis semanas) por las plantas en cada unidad experimental. Esta escala estuvo dispuesta de manera que 0 = 0% (nula presencia); 1 = 1-25% (poca presencia); 2 = 26-50 % (ligera presencia); 3 = 51-75 % (moderada) y 4 = >76% (abundante), estos datos fueron registrados de acuerdo a los periodos de evaluación (38).

3.7. Tratamiento de los datos.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de la varianza y para las comparaciones de las medias se empleó el Test de Tukey a una probabilidad del 5% ($p < 0.05$). El esquema del análisis de varianza se muestra en la Tabla 4. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el empleo del Software estadístico InfoStat versión 2018 (39).

Tabla 4. *Análisis de varianza.*

Fuente de variación		Grados de libertad
Tratamientos	(ab-1)	9
Niveles de Silicato de Calcio	(a-1)	2
Niveles de Nitrógeno	(b-1)	2
Interacción AxB	(a-1)(b-1)	4
Testigo vs resto		1
Error experimental	ab(n-1)	20
Total	abn-1	29

3.8. Recursos humanos y materiales.

Para el desarrollo de esta investigación se dispuso de recurso humano que fue conformado gracias a la ayuda del Ing. Wilfrido Escobar en calidad de Cotutor de Unidad Integradora Curricular, el Ing. Jaime Vera Chang como Tutor de la Unidad y el Sr. José Jumbo Tejena en calidad de Autor. Los materiales a empleados se presentan en la siguiente lista a continuación.

Materiales:

- ❖ Machetes
- ❖ Tijeras de podar
- ❖ Baldes
- ❖ Cinta métrica
- ❖ Calibrador pie de rey
- ❖ Balanza
- ❖ Lápices
- ❖ Cuaderno de registro
- ❖ Guantes
- ❖ Mandil
- ❖ Cámara

Insumos:

- ❖ Silicato de calcio
- ❖ Urea

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados y discusión.

4.1.1. Índice de floración.

Se evaluó la fenología de la floración de forma periódica cada 15 días obteniendo así ocho evaluaciones durante cuatro meses de ensayo. Durante la primera evaluación se observa que el tratamiento T8 alcanzó un índice de floración de 2.9 que, de acuerdo a la escala empleada en esta variable, se encuentra entre una incidencia leve a moderada, promedio que difiere estadísticamente del resto de tratamientos evaluados. Esta misma condición se observa a los 60 días, debido a que para la siguiente evaluación se observó un descenso en la emisión de flores por parte de las plantas en forma general, siendo este mismo tratamiento el que alcanzó el valor más alto con 1.80, no obstante, se observó que no existió diferencias estadísticas entre los tratamientos a excepción del tratamiento T9 siendo el valor más bajo con 0.80. (Tabla 5)

A partir de los 90 hasta los 120 días de evaluación se observó un incremento en la incidencia de floración, siendo esta vez el tratamiento T9 el que alcanzó la mayor tasa de florecimiento siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos evaluados. El coeficiente de variación alcanzado osciló entre los 17 y 24 %, valores dentro del rango aceptable para este tipo de evaluación.

El tratamiento T8 y T9 alcanzaron los mayores índices de floración durante el experimento lo cual demuestra que las mayores dosis de silicato de calcio y urea permitieron alcanzar una mayor tasa de floración, lo cual explica que al aplicar una combinación de estos fertilizantes desencadena una reacción en el suelo que permite aprovechar los elementos que estando presentes en el suelo no estaban disponibles para la planta.

Investigaciones realizadas por Correa (36), han demostrado que, al adicionar silicatos en forma de enmiendas cálcicas y orgánicas al sustrato, lograron aumentaron la disponibilidad inmediata de los macronutrientes principales, como nitrógeno, fósforo y potasio, del mismo modo aumentó la disponibilidad de los elementos esenciales, especialmente nitrógeno de 0.06% a 0.29 %

El efecto que genera la adición de silicato de calcio en el cultivo de cacao CCN-51 permite alcanzar una mayor tasa de floración, estos resultados concuerdan con los presentados por Sánchez *et al.*, (40), quienes al aplicar diferentes niveles de zeolitas de uso agrícola (aluminosilicatos) obtuvieron una mayor tasa de floración en comparación con plantas bajo sombra y testigos sin aplicación de fertilizantes. Se alcanzó un promedio de 1.27 al emplear Zeolita al 25% durante la época lluviosa y 1.04 durante la época seca.

El índice de floración obtenido para el cultivo de cacao CCN-51 de acuerdo a los factores evaluados como los niveles de Silicato de calcio y Úrea, demostraron mediante un análisis de varianza que existió un efecto significativo para la aplicación de silicatos desde la primera evaluación mientras que para la aplicación de úrea solo fue significativo a partir de los 60 días. La interacción entre estos factores fue significativa a partir de los 90 días de evaluación. (Anexo 1).

El clon CCN-51 responde de forma positiva a la aplicación de compuestos nitrogenados, empleando dosis bajas para alcanzar mayores coeficientes de producción, estos resultados son comparables con lo obtenidos por Puentes *et al.*, (41), quienes en su investigación demostraron que el clon CCN-51 presentó el mayor rendimiento con la menor dosis (T1), considerándolo más eficiente en comparación con los demás clones. No obstante, a medida que aumentaban los niveles de fertilización en el suelo, el rendimiento disminuyó, atribuyendo que el exceso de fertilización pudo haber ocasionado un desbalance nutricional en la planta que se habría manifestado en una pérdida del rendimiento.

Tabla 5. Índice de floración obtenidos en el cultivo de cacao CCN-51 bajo fertilización edáfica con Silicato de Calcio y Úrea en la zona de Quinsaloma, 2019.

Tratamiento	15 días	30 días	45 días	60 días	75 días	90 días	105 días	120 días
T0	0.43 e*	0.80 c*	0.43 d*	1.00 d*	1.00 ab*	0.70 d*	1.00 cd*	1.67 d*
T1	2.80 ab	1.77 bc	1.53 c	1.90 bcd	1.20 ab	0.67 d	0.90 cd	1.23 d
T2	2.10 abc	1.43 bc	2.1 bc	1.70 cd	1.57 ab	1.20 bcd	0.77 d	1.43 d
T3	1.80 cd	2.00 abc	2.0 bc	1.77 cd	1.20 ab	1.00 cd	1.67 bcd	2.13 bcd
T4	1.10 de	1.87 bc	2.33 bc	2.00 bcd	1.57 ab	2.10 ab	2.30 ab	2.80 abc
T5	1.80 cd	2.20 ab	2.57 b	2.57 abc	1.67 ab	2.37 a	2.67 a	3.00 ab
T6	2.33 abc	2.37 ab	2.20 bc	2.23 bcd	1.20 ab	2.20 a	1.77 abc	1.90 bcd
T7	1.87 bcd	2.33 ab	2.57 b	3.23 ab	1.67 ab	1.90 abc	2.20 ab	1.70 cd
T8	2.90 a	3.33 a	3.70 a	3.53 a	1.80 a	2.33 a	2.00 ab	2.30 bcd
T9	2.13 abc	2.67ab	2.80 ab	2.47 abc	0.80 b	1.90 abc	2.67 a	3.77 a
Media	1.93	2.08	2.22	2.24	1.37	1.64	1.80	2.19
C.V (%)	17.62	21.99	13.92	20.58	24.27	20.02	18.92	17.46

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La variable fenológica de floración fue registrada empleando una escala arbitraria de 0 a 4, dependiendo del grado de emisión de flores por las plantas en cada unidad experimental. Esta escala está dispuesta de manera que 0 = 0% (nula presencia de flores); 1 = 1-25% (poca presencia de flores); 2 = 26-50 % (ligera presencia de flores); 3 = 51-75 % (moderada presencia de flores) y 4 = >76% (abundante floración). C.V.: Coeficiente de variación.

4.1.2. Índice de fructificación.

Se evaluó el promedio de frutos producidos de acuerdo a los tratamientos, donde se pudo observar que durante los primeros 15 días no se evidenció diferencias entre los tratamientos evaluados, alcanzando un promedio de 1.26 mazorcas por plantas. A partir de los 30 días se pudo observar diferencias estadísticas entre los tratamientos, donde se observa que el tratamiento T8 alcanzó el mejor promedio de producción con 7.10 mazorcas. Esta tendencia de incremento de número de mazorcas se mantuvo hasta los 60 días con 22 mazorcas, ya para los 75 días se vio una merma en el número de mazorcas y se mantuvo intermitente hasta finalizar el ensayo con el T8 con un promedio de 24.87. el promedio de mazorcas formadas fue de 11.64. (Tabla 6).

Paspuel (1), en su investigación demostró que la aplicación de fertilizantes de origen inorgánico favoreció la respuesta fisiológica de la planta en la producción de frutos, potencializando la genética altamente productiva que posee esta variedad de cacao. En su ensayo evaluó tres tipos de fertilizantes alcanzando un promedio de producción de frutos de 32 mazorcas por plantas al emplear fertilizantes inorgánicos, por encima de la fertilización orgánica y el testigo sin fertilizar.

Bustos (42), por su parte, demostró que al aplicar diferentes dosis de silicato al cultivo de cacao se pueden alcanzar mayores promedios de producción de mazorcas por plantas al emplear silicio en solución a una concentración de 1.2 L/ha, logrando alcanzar promedio de 44.5 mazorcas sanas. De acuerdo a la experiencia adquirida este autor demuestra evidentemente que la acumulación de silicio en hojas (fitolitos), son responsables de mejorar la resistencia al ataque de enfermedades de la mazorca, debido a que tienden a acumularse en gran medida en la periferia de células epidermales de los tejidos. Esta acumulación crea una barrera mecánica que es responsable de aumentar la resistencia a factores externos como el ataque de plagas, enfermedades y estrés abiótico.

Quiñonez (43), demuestra en su investigación que el cultivo de cacao CCN-51 responde de manera muy significativa a la aplicación de fertilizantes conteniendo silicio, puesto que al aplicar una dosis de 180 kg/ha de fertilizantes como mayor dosis logró

Tabla 6. Promedio de frutos de cacao CCN-51 obtenidos bajo fertilización edáfica con Silicato de Calcio y Úrea en la zona de Quinsaloma, 2019.

Tratamiento	15 días	30 días	45 días	60 días	75 días	90 días	105 días	120 días
T0	0.77 a*	1.00 d*	0.57 d*	1.23 d*	1.23 c*	1.37 e*	1.67 f*	2.43 f*
T1	1.33 a	2.10 cd	1.53 cd	2.77 cd	3.43 c	4.00 de	4.57 ef	5.00 ef
T2	1.53 a	1.90 cd	2.67 bcd	5.80 cd	7.57 bc	8.03 cd	9.10 d	8.13 de
T3	1.00 a	1.43 d	6.30 bcd	6.57 bcd	7.23 bc	7.57 cd	7.33 de	8.10 de
T4	1.13 a	3.53 bcd	9.47 abcd	11.00 bc	10.57 b	10.0 bc	10.00 cd	10.33 cd
T5	1.00 a	2.67 cd	7.33 bcd	11.33 bc	11.23 b	13.53 b	14.37 b	14.23 bc
T6	1.00 a	2.00 cd	11.77 abc	12.23 bc	12.43 b	14.23 b	13.67 bc	13.47 bc
T7	1.43 a	6.77 ab	12.57 ab	15.63 ab	12.23 b	13.80 b	13.57 bc	14.13 bc
T8	1.47 a	7.10 a	18.87 a	22.00 a	20.33 a	20.87 a	22.67 a	24.87 a
T9	1.97 a	5.03 abc	10.90 abcd	10.23 bcd	11.33 b	13.90 b	15.33 b	15.70 b
Media	1.26	3.35	8.20	9.88	9.76	10.73	11.23	11.64
C.V (%)**	20.65	15.05	17.98	19.24	11.51	8.18	6.41	6.22

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). C.V.: Coeficiente de variación.

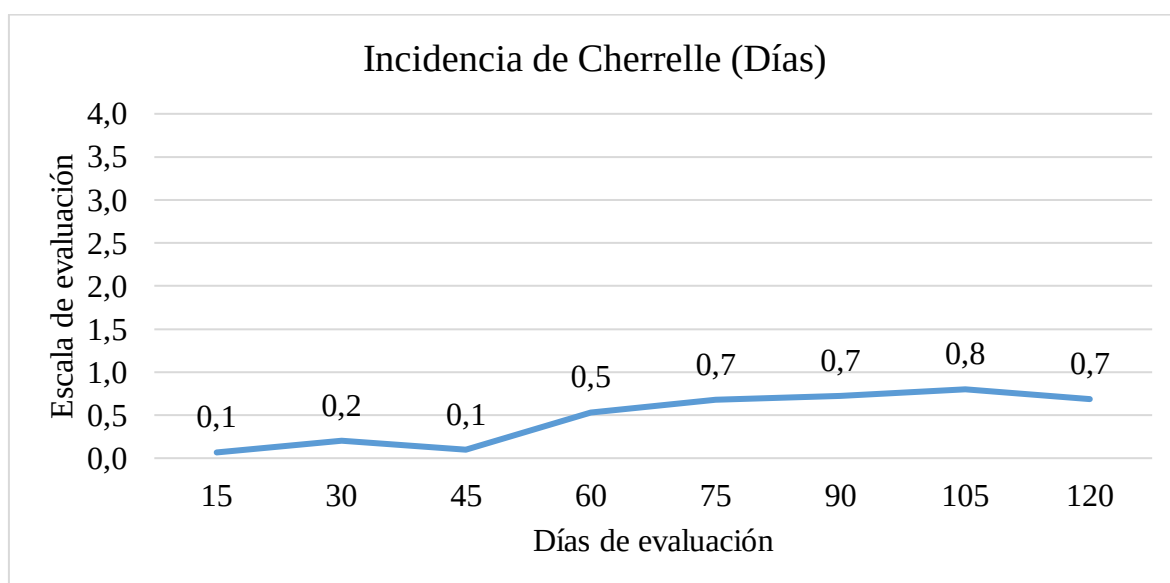
**Datos ajustados a $(\sqrt{x} + 0.5)$

obtener una respuesta del número de frutos promedio producidos de 18.25 mazorcas por planta, valores por debajo de la media obtenida en la presente investigación, sin embargo, fue superior a los demás tratamientos evaluados y al testigo.

4.1.3. Incidencia de Cherrelle Will.

Esta intermitencia en el número de mazorcas presentada en resultados anteriores se atribuye a la presencia de Cherrelle, esta incidencia se evaluó siguiendo la misma metodología para la floración, donde se observa que a partir de los 60 días se evidenció un incremento en la incidencia de este desorden fisiológico de la planta, ya para los 75 días se observa un incremento en las medias hasta los 105 días, para descender en la última evaluación al final de la investigación (Gráfico 1).

Gráfico 1. *Incidencia de Cherrelle en el cultivo de cacao fertilizado edáficamente con Silicato de calcio y Úrea en la zona de Quinsaloma.*



El uso de silicio en cacao demuestra que la dosis más baja no incide en la presencia de Cherrelle, a pesar de que al emplear dosis altas se vio favorecido la producción de frutos, estos resultados se afirman con los obtenidos por Aguilera (44), en su investigación al fertilizar cacao CCN-51 en la zona de Santo Domingo, obtuvo como resultado diferencias estadísticas entre los tratamientos posicionando al T2 (200 kg/ha de silicio) como el tratamiento con mayor incidencia de Cherrelles con una media de 3.42, no obstante, al aplicar 300 kg/ha de silicio alcanzó una media de producción de mazorcas superior al resto

de tratamientos con 5.48 mazorcas, seguido del T1 con dosis de 100 kg/ha de silicio con valor promedio de 4.3 mazorcas.

Este mismo autor señala además que la incidencia de Cherrelles, así como el incremento en la producción están relacionados 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 (44).

Álvarez y Osorio (45), por su parte sostienen que el silicio acumulado en las hojas la mantienen erecta, por lo que de esta forma mejora su postura y atribuye una mejor tasa fotosintética de la planta. Afirman que existen hipótesis de que los cuerpos de sílice en la epidermis de la hoja facilitarían la transmisión de luz al tejido mesófilo fotosintético lo que favorecería este proceso, no obstante, recalcan que no hay evidencia suficiente para aprobar con certeza esta hipótesis, no obstante, señalan que es muy probable que en suelos muy meteorizados la disponibilidad de silicio sea muy baja y por tanto, una aplicación de silicio tendría una alta probabilidad de respuesta del cultivo.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- Se estimó el índice de floración obtenido mediante el empleo de una escala cuantitativa en respuesta a la aplicación de silicato de calcio y nitrógeno, donde se encontró que la dosis del tratamiento T8 permitieron inducir a una mejor tasa de florecimiento.
- Al emplear una mayor dosis de silicato y la media de urea se obtuvo un mayor número de frutos formados durante toda la investigación. Se alcanzó un promedio de 24 frutos sanos a cosecha para el tratamiento de 350 kg de silicato más 250 kg de úrea, en respuesta al mejoramiento del metabolismo de la planta debido a que el silicio mejora notablemente el estado fitosanitario de las plantas y sumado a la presencia de nitrógeno que permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes.
- La incidencia de Cherrelles obtenidos por planta se evidenció a partir de los 60 días y se acentuó en los tratamientos con las dosis más bajas, a excepción de los tratamientos T9 y T7 con dosis altas de silicato, donde se evidenció una incidencia notable, en respuesta a la alteración de los nutrientes del suelo como efecto de la presencia de silicio.

5.2. Recomendaciones.

- Evaluar la fertilización foliar con silicio como una metodología para asimilación más efectiva del nutriente, y su posible antagonismo con el cadmio.
- Determinar el impacto económico generado por el empleo de silicato más úrea en programas de fertilización en plantaciones comerciales.
- Evaluar el efecto del silicio en la planta y su relación a la disminución de la incidencia de Cherrelle.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1. Referencias bibliográficas.

1. Paspuel M. Respuesta del cacao a la aplicación del fertilizante "Full Cacao" en comparación con la fertilización convencional en Pangua Quito: Universidad Central del Ecuador; 2018.
2. Jacome J. Análisis de la diversidad fenotípica del cacao nacional x trinitario (*Theobroma cacao*) en la provincia de El Oro Machala: UTMACH; 2018.
3. Moran M, Molina V, Chávez R, Ruiz Y. Influencia del boro en la floración y rendimiento del cacao variedad CCN-51 en la zona de Mata de Cacao. Revista AGRO-UTB. 2018; 1(3): p. 53-60.
4. Moraes ER, Reis AC, Silva NE, Ferreira M, Meneses FG. Nutrientes no solo e produção de quiabo conforme doses de silicato de cálcio e magnésio. Revista de Agricultura Neotropical. 2018; 5(1): p. 60-65.
5. Ruiz JM. Importancia del silicio en la fertilización de cultivos agrícolas y en particular en la producción bananera. EL Productor. 2014; 1(1): p. 1-7.
6. Buechel T, Chen J. Rol del calcio en el cultivo de plantas. Revista Promix. 2018; 1(1): p. 1-4.
7. Echeverría J. Efecto de diferentes coadyuvantes en el establecimiento y supervivencia de *Trichoderma* (*Trichoderma sp.*), sobre mazorcas de cacao, para el control biológico de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) Sangolqui: ESPE; 2018.
8. Groot SR, Mazur P. Non-equilibrium thermodynamics. Segunda ed. Amsterdam: Dover publications; 1985.
9. Porta J, López M, Roquero C. Edafología para la agricultura y el medio ambiente Silsoe: IEC; 2003.
10. Ibáñez S, Moreno H, Gisbert J. Estructura general de los silicatos Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia; 2010.

11. Acevedo O, Ortiz E, Cruz M, Cruz E. El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latinoamericana*. 2004; 22(4): p. 485-497.
12. Guimarães D. Fotossíntese, crescimento e composição química em plantas de *Theobroma cacao* L. submetidas a diferentes concentrações de silicato de potássio e sua interação com insetos-praga Vitoria: Universidade Federal do Espírito Santo; 2011.
13. Rugel R. Estudio de cinco niveles de silicato de calcio y tres de nitrógeno en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) variedad INIAP-15 Guayaquil: Universidad de Guayaquil; 2016.
14. Filgueiras O. Silicio en la agricultura. 140th ed.: Pesquisa; 2007.
15. Villalón H, Castillo M, Garza F, Guevara J, Sánchez L. Dióxido de silicio como estimulante del índice de calidad de plantas de chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) producidas en vivero. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 2018; 9(50): p. 294-303.
16. Naranjo JF, Solórzano S. Evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano; 2018.
17. Castillo C. Efecto del silicio en el manejo fitosanitario del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L. Cv. CCN-51), en época lluviosa Santo Domingo, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Ejército ESPE; 2019.
18. Villamizar Y, Rodríguez J, León L. Caracterización fisicoquímica, microbiológica y funcional de harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51. *Cuaderno Activa*. 2016; 1(9): p. 65-75.
19. Engracia J. Evaluación de cuatro tipos de poda de mantenimiento en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) CCN-51 en la zona de Zapotal, provincia de Los Ríos Quevedo, Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2018.
20. Barrezueta S, Paz A. Indicadores de sostenibilidad para la producción de cacao Nacional y CCN51 en la provincia El Oro-Ecuador. *Educatconciencia*. 2017; 13(14): p. 16-26.

21. Pallares A, Estupiñán M, Perea J, López L. Impacto de la fermentación y secado sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del clon de cacao CCN-51. *Revista Ion*. 2016; 29(2): p. 7-21.
22. Morante J. Efecto del activador de microorganismo Biorootz, sobre el comportamiento agronómico de plántulas en semilleros de cacao en la zona de Caracol, Los Ríos Babahoyo: Universidad Tecnica de Babahoyo; 2014.
23. Ruales J, Burbano H, Ballesteros W. Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 2011; 28(2): p. 81-94.
24. López H. Evaluación del efecto de aplicación del activador fisiológico orgánico Florone en el cultivo de cacao Babahoyo: Universidad Tecnica de Babahoyo; 2012.
25. Herrera H. Diagnóstico del estado nutricional y recomendaciones de fertilización en cacao CCN-51 en la finca El Capullo, cantón El Triunfo, provincia del Guayas Guayaquil: Universidad de Guayaquil; 2018.
26. Castellanos L, De Mello R, Silva C. El Silicio en la resistencia de los cultivos. *Cultivos Tropicales*. 2015; 36(1): p. 16-24.
27. Souza JP, Martins GL, Pereira AC, Binotti FF, Maruyama WI. Efeito de silicato de cálcio e magnésio no crescimento inicial de milho transgênico. *Revista de Agricultura Neotropical*. 2015; 2(3): p. 13-17.
28. Silveira L, Pratisoli D, dos Santos PC, Carvalho A, Freitas M, Massini L. Comportamento de *Tetranychus urticae* Koch em folhas de mamoeiro tratadas com silicato de potássio. *Sessão Fruticultura Temperada e Tropical*. 2018; 29(1): p. 80-86.
29. Sancho A, Gadeas A. Incorporación del silicato de magnesio en la fertilización mineral del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en La Vega, San Carlos, Costa Rica. *Revista AgroInnovación en el Trópico Húmedo*. 2018; 1(1): p. 25-34.
30. Nascimento AL, Zuba GR, Sampaio RA, Fernandes LA, Carneiro JP, Barbosa CF. Metais pesados no solo e mamoneira adubada com biossólido e silicato de cálcio e

magnésio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2015; 19(5): p. 505–511.

31. Nascimento AD, Feijó FM, Albuquerque AW, Assunção IP, Lima GS, Reis LS. Severidade da antracnose do Feijão-Fava afetada por doses de cálcio e fontes de silício. Ciência Agrícola Rio Largo. 2017; 15(2): p. 61-68.
32. Figueroa M. Aplicación foliar de calcio en el cultivo de mora (*Rubus glaucus* Benth) y su influencia en la calidad y productividad del fruto, en el cantón Tulcán, Carchi-Ecuador: Universidad Politécnica Estatal del Carchi; 2017.
33. Goyes S, Moserrate P. El impacto de los abonos orgánicos en la agricultura. Importancia para el estudiante de agronomía. Opuntiabrava. 2018; 15(2): p. 1-8.
34. Ochoa L, Ramirez S, López O, Espinosa S, Alvarado A, Álvarez F. Control in vivo de *Moniliophthora roreri* en *Theobroma cacao*, utilizando polisulfuro de calcio y silicosulfocálcico. Revista Ciencia y Agricultura. 2017; 14(2): p. 59-66.
35. Arévalo E, Obando M, Zúñiga L, Arévalo C, Baligar V, He Z. Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. Ecología aplicada. 2016; 15(2): p. 81-89.
36. Correa J. Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de cadmio en plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región San Martín Tarapotó, Perú: Universidad Nacional de San Martín-Tarapotó; 2018.
37. INAMHI. Anuario Meteorológico Quito: Servicio Meteorológico; 2015.
38. Vera J, Goya A. Comportamiento agronómico, calidad física y sensorial de 21 líneas híbridas de cacao (*Theobroma cacao* L.). La Técnica. 2015; 1(15): p. 26 - 37.
39. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzáles L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat versión 2018 Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba; 2018.

40. Sánchez F, Vásconez G, Abril F, Vera J, Ramos R, Díaz G, et al. Zeolitas en la fertilización química del cacao CCN-51 asociado con cuatro especies maderables. *Ciencia y Tecnología*. 2013; 6(2): p. 21-29.
41. Puentes Y, Menjivar J, Aranzazu F. Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Bioagro*. 2014; 26(2): p. 99-106.
42. Bustos G. Efecto de un compuesto a base de silicio, sobre el manejo fitosanitario del cultivo de cacao CCN-51 Santo Domingo, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Ejército ESPE; 2017.
43. Quiñonez W. Efecto de la aplicación de tres niveles de fertilizante Eco-Cacao en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Esmeraldas Quevedo, Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2015.
44. Aguilera O. Efecto de la aplicación edáfica de un compuesto a base de silicio para mejorar la productividad en cacao CCN-51 Santo Domingo, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Ejército ESPE; 2017.
45. Alvarez C, Osorio W. Silicio agrónomicamente esencial Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2014.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1. Anexo 1. Análisis de varianza.

Tabla 7. *Análisis de varianza para la variable incidencia de floración*

F.V.	Cuadrados medios por periodo de evaluación							
	15 días	30 días	45 días	60 días	75 días	90 días	105 días	120 días
Tratamiento	1.63***	1.43***	2.17***	1.68***	0.33*	1.37***	1.50***	1.87***
Bloque	0.24 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.83**	0.41*	0.39 ^{ns}
Silicato	0.83**	2.49**	2.97***	3.82***	0.06 ^{ns}	4.23***	4.01***	2.87***
Lineal	0.02 ^{ns}	4.91***	5.89***	7.48***	0.05 ^{ns}	5.34***	6.24***	4.40***
Cuadrática	1.64**	0.07 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.07 ^{ns}	3.13***	1.78**	1.34*
Urea	0.27 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.99**	0.44 ^{ns}	0.87**	0.39 ^{ns}	0.16 ^{ns}	1.07**
Silicato*Urea	1.27***	0.43 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.76**	2.01***
Testigo vs. Resto	0.14 ^{ns}	1.16*	1.11**	0.17 ^{ns}	1.07**	0.23 ^{ns}	2.54***	8.25***
Error	0.12	0.21	0.10	0.21	0.11	0.11	0.12	0.15

NS: No significativo; *Significativo ($p < 0.05$); **Muy significativo ($p < 0.01$); ***Altamente significativo ($p < 0.001$)

Tabla 8. *Análisis de varianza para la variable fructificación.*

F.V.	Cuadrados medios por periodo de evaluación							
	15 días	30 días	45 días	60 días	75 días	90 días	105 días	120 días
Tratamiento	0.37 ^{ns}	14.58***	97.38***	114.00***	84.76***	97.71***	108.65***	121.03***
Bloque	1.37 ^{ns}	0.86 ^{ns}	16.16 ^{ns}	6.75 ^{ns}	2.44 ^{ns}	7.79 ^{ns}	17.98**	20.85**
Silicato	0.76 ^{ns}	50.58***	254.88***	271.00***	168.04***	214.29***	234.60***	280.01***
Lineal	0.50 ^{ns}	90.68***	506.68***	535.74***	329.39***	419.53***	467.16***	560.01***
Cuadrática	1.01 ^{ns}	10.49*	3.08 ^{ns}	6.27 ^{ns}	6.69 ^{ns}	9.04 ^{ns}	2.04 ^{ns}	0.0030 ^{ns}
Urea	0.0026 ^{ns}	4.37 ^{ns}	9.54 ^{ns}	32.81 ^{ns}	42.55**	53.65***	81.21***	79.30***
Silicato*Urea	0.25 ^{ns}	0.72 ^{ns}	38.39 ^{ns}	42.30*	24.83*	12.82*	10.40*	22.03***
Testigo vs. Resto	0.82 ^{ns}	18.46**	194.06**	249.22***	242.35***	292.24***	304.65***	282.54***
Error	0.53	1.35	12.57	11.04	4.92	3.05	2.22	2.43

NS: No significativo; *Significativo (p<0.05); **Muy significativo (p<0.01); ***Altamente significativo (p<0.001)

7.2. Anexo 2. Evidencia fotográfica.



Poda y selección de plantas para las unidades experimentales.



Pesado y elaboración de las dosis de fertilizante a aplicar.



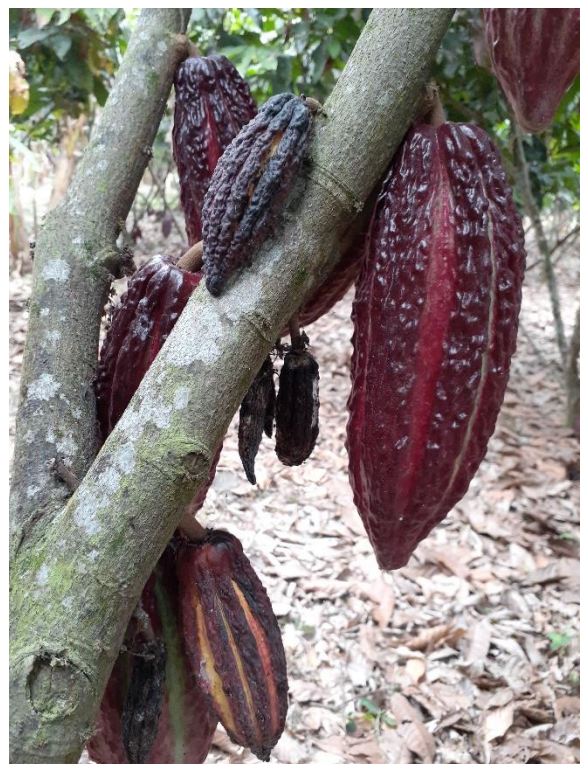
Distribución y aplicación de tratamientos.



Evaluación de variables.



Formación de frutos 60 días de evaluación.



Presencia de Cherelle



Frutos formados a los 120 días