



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 TITULACION, PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO
DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**“EFECTO DE LA APLICACIÓN EDÁFICA DE SILICIO, EN EPOCA
LLUVIOSA, EN EL CULTIVO DE CACAO CCN51”**

AUTOR: SORNOZA ORMAZA JOHN EMILIO

DIRECTOR: VACA PAZMIÑO EDUARDO PATRICIO

SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS - ECUADOR

2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

i

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA SANTO DOMINGO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación “**EFEECTO DE LA APLICACIÓN EDÁFICA DE SILICIO, EN EPOCA LLUVIOSA, EN EL CULTIVO DE CACAO CCN51**”. Realizado por el estudiante **JOHN EMILIO SORNOZA ORMAZA**, 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 las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **SORNOZA ORMAZA JOHN EMILIO** para que lo sustenten públicamente.

Santo Domingo, 02 de agosto del 2018

MSc. EDUARDO PATRICIO VACA PAZMIÑO

DIRECTOR



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **JOHN EMILIO SORNOZA ORMAZA** con cedula de identidad N° 2300479090 declaro que este trabajo de titulación “**EFECTO DE LA APLICACIÓN EDÁFICA DE SILICIO, EN EPOCA LLUVIOSA, EN EL CULTIVO DE CACAO CCN51**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existente, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos 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, 02 de agosto del 2018

JOHN EMILIO SORNOZA ORMAZA

C.C. 2300479090



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA SANTO DOMINGO**

AUTORIZACIÓN

Yo, JOHN EMILIO SORNOZA ORMAZA, 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 SILICIO, EN EPOCA LLUVIOSA, EN EL CULTIVO DE CACAO CCN51”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad

Santo Domingo, 02 de agosto del 2018

JOHN EMILIO SORNOZA ORMAZA

C.C. 2300479090

DEDICATORIA:

En primer lugar a Dios y la Virgen María, por permitirme culminar un peldaño más de mi vida, por darme fuerzas espirituales y físicas, por permitir que buenas personas hayan llegado a mi vida, que han dejado grandes lecciones en mí.

A mis padres José Sornoza y Belly Ormaza, por ser quienes desde pequeño me moldearon para que logre ser la persona que soy ahora, por darme sus consejos, por darme su amor, cariño incondicional y por estar ahí siempre para apoyarme en cualquier decisión que haya tomado.

A mi hermana Jenniffer Sornoza, por ser mi confidente, mi mejor amiga, la persona con la que sé que siempre puedo contar, por darme consejos, por hacerme sonreír siempre, por querer siempre estar conmigo, por todo el amor que me da.

En general a toda mi familia que deposito su confianza en mí, y eso me motivo más para no dejarme rendir en momentos difíciles.

A mis amigos, amigas, compañeros de la universidad, en especial a los que siempre estuvieron conmigo acompañándome en el transcurso de mi vida universitaria, que con su enseñanzas lograron que yo sea una mejor persona, no como profesional , más bien como persona.

John Emilio Sornoza Ormaza

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecer a Dios y a la Virgen María, por llevarme por el camino correcto, por iluminar mi mente en situaciones difíciles y por estar acompañándome siempre.

A la universidad de las fuerzas armadas ESPE, principalmente a sus docentes que lograron moldearme en el aspecto académico y moral, ellos con sus conocimientos lograron que me desarrolle como profesional.

A mi guía en la parte final de mi carrera; el Ingeniero Patricio Vaca, quien me enseñó muchas cosas, no tan solo para mi desarrollo como profesional, si no, valores, cosas que a futuro serán más valiosas que lo académico.

A la empresa Fermagri, por haber depositado la confianza en mí, por el apoyo económico y técnico que recibí.

A los dueños del predio donde se realizó la investigación; el Ing. Galo Chiriboga y la Sra. Ana Jaramillo, ya que con su voluntad se logró realizar todos los procesos, por estar abierto a investigaciones que logren crear conocimientos de tecnologías nuevas.

En general a toda mi familia que deposito su confianza en mí, y eso me motivo más para no dejarme rendir en momentos difíciles.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA:	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE	vi
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEORICO	3
2.1. El cultivo de cacao en Ecuador.....	3
2.2. El cultivo de cacao en Santo Domingo.....	3
2.3. Índice de semilla e índice de mazorca en cacao.	4
2.4. El Silicio	5
2.4.1. El Silicio en las plantas.....	5
2.4.2. Silicio un constituyente clave de las plantas.....	6
2.4.3. El silicio en el incremento de la producción y calidad de las cosechas agrícolas	7
2.4.4. El silicio en la restauración de la degradación edáfica y el incremento del nivel de fertilidad para la producción.....	8
2.4.5. El silicio incrementa la resistencia del suelo contra la erosión del viento y agua	9
2.4.6. El silicio incrementa la resistencia a la sequía en las plantas:	9
2.4.7. El silicio mejora la nutrición del fósforo en las plantas:	10
2.4.8. El silicio reduce la lixiviación de fósforo, nitrógeno y potasio, en las áreas de cultivo:	10
2.4.9. El silicio tiene acción sinérgica con Ca, Mg, Fe, Zn y Mo:	10
2.4.10. Absorción de la planta óptima	11
2.5. Silicio comercial	12
2.5.1. Características del producto.....	12

2.5.2. Propiedades físicas y químicas	12
III. METODOLOGÍA	14
3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN	14
3.1.1. Ubicación Política	14
3.1.2. Ubicación Geográfica.....	14
3.1.3. Ubicación Ecológica.....	14
3.2. MATERIALES.....	15
3.3. MÉTODOS.....	15
3.3.1. Diseño Experimental	16
3.3.1.1. Factores de estudio a probar	16
3.3.1.2. Tratamientos a comparar	16
3.3.1.3. Tipo de diseño	17
3.3.1.4. Repeticiones o bloques	17
3.3.1.5. Características de las Unidades Experimentales.....	17
3.3.1.6. Croquis del ensayo	18
3.3.2. Análisis Estadístico	18
3.3.2.1. Esquema de análisis de varianza	18
3.3.2.2. Coeficiente de variación	19
3.3.2.3. Análisis funcional.....	19
3.3.3. Relación costo – beneficio.....	19
3.3.4. Variables a medir.....	19
3.3.6. Aplicación de tratamientos.	21
IV. RESULTADOS	23
4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	23
4.2. ANÁLISIS DEL SUELO.	23
4.3. NÚMERO DE CHERELES	31
4.4. NÚMERO DE MAZORCAS SANAS.	33
4.5. CHERELLE WILT.....	34
4.6. PRODUCCIÓN DE ALMENDRAS DE CACAO.....	38
4.7. ÍNDICE DE SEMILLAS.....	47
4.8. ÍNDICE DE MAZORCA.	49

4.9.	COSTO – BENEFICIO	50
V.	DISCUSION.....	52
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
6.1.	CONCLUSIONES.....	55
6.2.	RECOMENDACIONES	56
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	57

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Tratamientos evaluados en el ensayo.	16
Cuadro 2.	A continuación se presenta el esquema realizado de la distribución de los tratamientos en campo	18
Cuadro 3.	Esquema para el análisis de varianza.	18
Cuadro 4.	Análisis del suelo realizado al final del proyecto de investigación del Ingeniero Martin Aguilera.	23
Cuadro 5.	Análisis inicial del suelo vs final de los tratamientos T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).	24
Cuadro 6.	Resumen de los análisis de la varianza para la variable número de chereles.	31
Cuadro 7.	Análisis de varianza para la variable número de chereles, referente a la primera evaluación.	31
Cuadro 8.	Prueba de significancia según Duncan para la variable número de chereles, referente a la primera evaluación.	32
Cuadro 9.	Resumen de los análisis de la varianza para la variable número de mazorcas sanas.	33
Cuadro 10.	Resumen de los análisis de la varianza para la variable cherelle wilt.	34
Cuadro 11.	Análisis de varianza para la variable cherelle wilt, referente a la primera evaluación.	35
Cuadro 12.	Prueba de significancia según Duncan para la variable cherelle wilt, referente a la primera evaluación.	35
Cuadro 13.	Análisis de varianza para la variable cherelle wilt, referente a la segunda evaluación.	36
Cuadro 14.	Prueba de significancia según Duncan para la variable cherelle wilt, referente a la segunda evaluación.	37
Cuadro 15.	Resumen de los análisis de la varianza para la variable producción de almendras.	38
Cuadro 16.	Análisis de varianza para la variable producción de almendras, referente al primer mes (febrero) de evaluación.	39
Cuadro 17.	Prueba de significancia según Duncan para la variable producción de almendras, referente al primer mes (febrero) de evaluación.	39
Cuadro 18.	Análisis de varianza para la variable producción de almendras, referente al segundo mes (abril) de evaluación.	40

Cuadro 19. Prueba de significancia según Duncan para la variable producción de almendras, referente al segundo mes (abril) de evaluación.	41
Cuadro 20. Análisis de varianza para la variable producción de almendras, referente al tercer mes (julio) de evaluación.	42
Cuadro 21. Prueba de significancia según Duncan para la variable producción de almendras, referente al tercer mes (julio) de evaluación.	42
Cuadro 22. Análisis costo – beneficio, analizando los costos de producción versus la producción de cacao.	50
Cuadro 23. Proyección para producir una hectárea de almendras de cacao CCN51, utilizando 300 Kg/ha de Silmag.	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Comparación de la cantidad inicial de silicio con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).	25
Figura 2.	Comparación de la cantidad inicial de nitrógeno con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).	26
Figura 3.	Comparación de la cantidad inicial de fosforo con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).	27
Figura 4.	Comparación de la cantidad inicial de potasio con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).	28
Figura 5.	Comparación de la cantidad inicial de calcio con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).	29
Figura 6.	Comparación de la cantidad inicial de azufre con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).	30
Figura 7.	Prueba de Duncan para la variable número de chereles, referente a la primera evaluación.	32
Figura 8.	Prueba de Duncan para la variable cherelle wilt, referente a la primera evaluación.	36
Figura 9.	Prueba de Duncan para la variable cherelle wilt, referente a la segunda evaluación.	37
Figura 10.	Prueba de Duncan para la variable producción de almendras, referente al primer mes (febrero) de evaluación.....	40
Figura 11.	Prueba de Duncan para la variable producción de almendras, referente al segundo mes (abril) de evaluación.	41
Figura 12.	Prueba de Duncan para la variable producción de almendras, referente al tercer mes (julio) de evaluación.	43
Figura 13.	Precipitación en la zona de Luz de América desde enero – agosto 2017.	44
Figura 14.	Precipitación vs producción de almendras total, febrero – julio 2017.	44
Figura 15.	Precipitación vs producción de almendras de cacao CCN-51, correspondiente al mes de febrero del 2017.	45
Figura 16.	Precipitación vs producción de almendras de cacao CCN-51, correspondiente al mes de abril del 2017.	46
Figura 17.	Precipitación vs producción de almendras de cacao CCN-51, correspondiente al mes de julio del 2017.	46
Figura 18.	Índice de semilla para los diferentes tratamientos.....	48
Figura 19.	Índice de mazorca para los diferentes tratamientos.....	49

RESUMEN

Evaluar aplicaciones edáficas de silicio, en época lluviosa, en el cultivo de cacao CCN51, es alternativa para determinar incrementos de producción. Esta investigación se realizó en Santo Domingo de los Tsáchilas, finca “La Floreana”, km 16 vía Santo Domingo-Quevedo, latitud: 692521, longitud: 9959159, a 343 msnm, temperatura promedio 24,9°C, HR 89.25%. Evaluamos aplicaciones edáficas de silicio, número de mazorcas, y chereles, producción de almendras de cacao, de tres tratamientos a base de silicio. Investigaciones realizadas demuestran que aplicar silicio beneficia a las plantas, mejora el desarrollo del cultivo, la calidad de hojas, vigor y resistencia a plagas y enfermedades, mejora rendimientos y calidad de las cosechas. Las aplicaciones de silicio al suelo optimizan su fertilidad, mejora las propiedades físicas y químicas. Los tratamientos fueron; 100 -200 y 300 Kg/ha de Silmag 40, más un testigo, el área de ensayo fue 1 600 m². Los resultados del laboratorio AgrarProjekt, demuestran que T3 (300 Kg/ha) tuvo mayor consumo de silicio de la solución del suelo, comparando el análisis inicial se redujo en 4,1 mg/Kg. Las cantidades de N, P, Mg y Ca de la solución del suelo, aumentaron su disponibilidad, el K aumento su consumo de la solución del suelo. Para la variable cherele wilt T2 y T3 (200 y 300 Kg/ha de Si), presentaron la menor afección de chereles. La cosecha de almendras de febrero T3 fue el mejor tratamiento, aumentó 87,23% su capacidad productiva, para el mes de abril incrementó 25,61% la capacidad productiva del cultivo.

PALABRAS CLAVES

- **SILICIO CACAO**
- **PRODUCCIÓN CACAO**
- **SILMAG**
- **ÍNDICE DE SEMILLAS**
- **ÍNDICE DE MAZORCA**

ABSTRACT

Evaluated application is edaphic s silicon in season Rainy time in the cultivation of cocoa CCN51 is alternative to determine production increases. This investigation was carried out in Santo Domingo de los Tsáchilas, farm "La Floreana ", km 16 via Santo Domingo-Quevedo, latitude: 692521, longitude: 9959159, at 343 msnm, average temperature 24.9 ° C, HR 89.25%. Edáfica s application is evaluated Silicio, number of ears, and chereles, production of cocoa beans, three treatments based on silicon. Research shows that silicon bene estate apply to plants, improves crop development, quality of leaves, vigor and resistance to pests and diseases, improve performance and quality s crop s. Silicon applications to the soil optimize its fertility, improve physical and chemical properties. The treatments were; 100 -200 and 300 Kg / ha of Silmag 40, plus a control, the test area was 1 600 m2. The results of the AgrarProjekt laboratory, show that T3 (300 Kg / ha) had higher silicon consumption of the soil solution, comparing the initial analysis was reduced by 4.1 mg / Kg. The amounts of N, P, Mg and Ca of the soil solution increased its availability; the K increased its consumption of the soil solution. For the variable cherelle wilt T2 and T3 (200 and 300 Kg / ha of Si), presented the lowest affectation of chereles. The almond harvest of February T3 was the best treatment, its production capacity increased 87.23%, for the month of April the productive capacity of the crop increased 25.61%.

KEYWORDS

- **SILICON CACAO**
- **PRODUCTION CACAO**
- **SILMAG**
- **INDEX OF SEEDS**
- **COZY INDEX**

I. INTRODUCCIÓN

Los aztecas aprendieron de los mayas el cultivo y uso del cacao. Nombrando “cacahuat” al cacao y “xocolatl” a la bebida, que era muy apreciada y apetecida, las semillas también se utilizaban como monedas de cambio.

En 1830, declarada la fundación del Ecuador. Muchas familias adineradas dedican sus tierras a este cultivo. Hacia 1 880 la producción llega a 15 000 TM, y luego pasa a 40 000 TM. Durante la década de 1 890, Ecuador es el país más importante en la exportación mundial de cacao. Los primeros bancos del país se crean gracias a este rubro.

En la década de 1 920 aparece y se expande las enfermedades Monilla (*Moniliophthora roreri*) y Escoba de la Bruja (*Moniliophthora perniciosa*), reduciendo la producción al 30% durante la Primera Guerra Mundial, este negocio entro en recesión (Anecacao, 2010).

La provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas tiene entre sus principales actividades la producción de cacao.

La aplicación de fertilizantes con silicio son más comunes en Corea y Japón, con consumos anuales de 400 000 y 1 000 000 de TM, respectivamente, logrando incrementos y/o sostenimientos en la producción de arroz. En Brasil, Australia, Sudáfrica e India es utilizado

para incrementar la producción de caña de azúcar. México también está desarrollando su uso a nivel experimental y comercial (Raya Pérez & Aguirre Mancilla, 2012).

La presente investigación es un seguimiento al trabajo realizado en el 2016 por el ingeniero Martin Aguilera; que evaluó la respuesta productiva del cacao CCN-51 a las diferentes aplicaciones de silicio edáfico realizada en la época seca, este trabajo se hizo en la época lluviosa, para ofrecer una información completa y útil al productor de cacao de la provincia.

II. MARCO TEORICO

2.1. El cultivo de cacao en Ecuador

Actualmente, el Ecuador posee gran importancia en este producto: Más del 70% de la producción mundial de cacao fino de aroma se encuentra en nuestras tierras convirtiéndonos en el mayor productor de cacao fino o de aroma del mundo. Esto ha generado un reconocimiento favorable para el país. Este tipo de cacao, tiene características individuales distintivas, de toques florales, frutales, nueces, almendras, especias que lo hace único y especial, sobresaliendo con su ya conocido sabor arriba. Todos estos detalles de sabor y aroma están en el origen genético del grano, que se complementa con el correcto tratamiento post-cosecha, sumado a condiciones naturales de suelo, clima, temperatura, luminosidad que convergen en un solo punto, en un solo territorio, en el mágico y maravilloso Ecuador situado en la mitad del mundo (Pro-Ecuador, 2013).

2.2. El cultivo de cacao en Santo Domingo

El cacao (*Theobroma cacao L.*), es el cuarto rubro de explotación agrícola en Ecuador. La actividad da trabajo a 600 000 personas, en 470 054 ha establecidas en 100 000 fincas (CORPEI, 2008). En la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, se cultivan 19 837 ha de cacao, el 50% en manos de pequeños agricultores (Corrales, 2010).

En la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas se ha introducido clones de cacao, uno de ellos es el cacao CCN-51, llegando a producir de 40 a 45 quintales por hectárea cada año con una densidad de 800 a 900 plantas por hectárea; es por esto que los productores se han visto en la necesidad de crear asociaciones según su lugar de producción (Jácome, 2010).

El Gobierno Provincial de Santo Domingo de los Tsáchilas estima que en la provincia existen cerca de 10 mil hectáreas de cacao entre CCN-51 y Nacional. Las zonas de mayor producción de la Provincia son las parroquias de Valle Hermoso, Puerto Limón, Luz de América y San Jacinto del Búa, aunque en general se observan cultivos en toda la provincia con menores potenciales productivos. En cuanto a los productores, cerca del 80% son pequeños, alrededor de un 18% son medianos y apenas el 2% son considerados como grandes productores (Campos, 2011).

2.3. Índice de semilla e índice de mazorca en cacao.

Un índice de semillas promedio de 1.2 g en clones de cacao, similar al encontrado en los árboles superiores de Waslala. Aplicando el valor mínimo aceptable para la industria de chocolate de 1 g (Arciniegas, 2005). Dado que el peso de la almendra es un buen indicador de rendimiento, se hace necesario seleccionar clones con semillas medianas o grandes y uniformes, ya que semillas pequeñas pueden quemarse durante el tostado. A menor índice de semilla mayor cantidad de semillas por kilogramo, lo que aumenta el porcentaje de cascarilla (Guzmán, 1997).

2.4. El Silicio

El ácido silícico fija el tejido de sostén de los cultivos con lo que se refuerza la estabilidad del tallo y disminuye el peligro de encamado. El ácido silícico también aumenta la resistencia frente a las enfermedades por hongos y desempeña algunas otras funciones. El silicio en las hojas tiene un rango amplio que es de uno hasta 10%. Los suelos están abastecidos con un 30% de silicio, por ende se supone cantidades óptimas en el suelo. Pero se conoce que no todos los elementos del suelo están disponibles para las plantas, por lo que puede ser útil una aportación adicional de silicatos solubles. (Finck, 1988).

2.4.1. El Silicio en las plantas

El Aspectos del Silicio en la nutrición vegetal el Silicio en el tejido vegetal de la mayoría de las plantas está presente en cantidades similares a los niveles de Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Fósforo (P). En determinadas especies vegetales aparece en porcentajes mayores que el Nitrógeno (N) o el Potasio (K). Por tanto, es esencial que la planta lo tome de la solución del suelo. Desde el punto de vista de la nutrición vegetal, su absorción no suele presentar problemas, donde aparece en forma de Sílice (SiO_2) y como Silicatos diversos. Solo el ácido Monosilícico (H_4SiO_2) es asimilados por las plantas, las otras formas no. En sistemas donde hay grandes extracciones de Silicio sin renovación, o en cultivos hidropónicos, es fundamental el aporte de fertilizantes o compuestos a base de Silicio en su formulación. El

ácido Monosilícico puede actuar como regulador de la absorción del nitrato por la planta, por tanto, cuando un suelo es bajo en nitratos, la aplicación de Silicio aumenta la concentración del nitrato en la planta. Por el contrario, cuando un suelo contiene nitratos en abundancia, la nutrición óptima en Silicio da lugar a reducir la acumulación del nitrato en las frutas. Además, la fertilización con Silicio puede aumentar la absorción de fósforo en suelos arenosos ya que no sólo fijan el fósforo, sino que lo desbloquea y lo pone en formas disponibles para poder ser asimilado por las plantas (Sephu, 2009).

2.4.2. Silicio un constituyente clave de las plantas

Todas las plantas cultivadas sobre suelo van a contener Si en sus tejidos, y se ha demostrado que 44 órdenes de angiospermas (que representan más de 100 órdenes o familias) también contienen silicio en sus tejidos. Para determinar si las plantas acumulaban Si los estudios anteriores se enfocaban en medir Si en el follaje y no en otros órganos de las plantas. Recientemente se ha demostrado que algunas especies vegetales (tomate y pimiento) acumulan más Si en sus raíces que en sus brotes. La extracción de silicio hacia los brotes varía según la especie y el nivel de madurez de la planta, con un rango de concentración que va desde 0,1% a 10%, en base a materia seca. Las plantas monocotiledóneas tenderán a acumular más Si en sus tejidos que las plantas dicotiledóneas. El silicio está en la planta en rangos parecidos a los de macro y micro nutrientes. Por todo esto, se establece que el Silicio es claramente un constituyente mayor de las plantas. La diferencia en la capacidad de acumulación de Si entre

diferentes plantas se atribuye principalmente a las diferentes habilidades de las raíces para absorber Si. Estudios en trigo, soja, arroz, maíz, zapallo y cebada. Una vez que pasa la barrera de la raíz, el Si se mueve por el xilema a través de transportadores y/o por transpiración hacia la endodermis de la raíz, membranas celulares del vascular bundle y las células de la hoja en la epidermis justo debajo de la cutícula. Una vez dentro de una célula, ocurre un proceso natural de polimerización que convierte el ácido silícico en silica insoluble ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; también conocido como gel de silica o fitolítidos) (Epstein & Sebastian , 2005).

Los beneficios de la mayor concentración de silicio en el suelo y suministro al suelo de minerales ricos en silicio a través de los procesos de fertilización, permiten una solución económica y rentable para la producción agrícola, destacando lo siguiente:

2.4.3. El silicio en el incremento de la producción y calidad de las cosechas agrícolas

La contribución por diferentes medios de silicio tiene un doble efecto en el sistema Suelo-Planta. En primer lugar, la nutrición con silicio al cultivo refuerza en la planta su capacidad de almacenamiento y distribución de carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción de cosecha, la autoprotección contra enfermedades, el ataque de insectos y de las condiciones climáticas. En segundo lugar, el tratamiento del suelo con sustancias con silicio biogeoquímicamente activo optimiza la fertilidad del suelo a través de mejorar la retención y disponibilidad del agua, sus propiedades físicas y químicas.

Un experimento que mostró los beneficios de la aplicación de silicio en el cultivo de la papa, en la forma de abono, incorporando el elemento al suelo. Los resultados mostraron un aumento de la producción total de tubérculos del 14,3% y de la producción de tubérculos comercializables -la papa buena para el consumo- en 15,8%. Muchos de esos resultados positivos se debieron a una reducción del 63% en el encamado de las plantas. Ese comportamiento del vegetal sucede cuando las ramas y las hojas crecen y no quedan rectas sino acostadas en el suelo causando una serie de problemas. La planta se ve privada de la fotosíntesis en todo su potencial y se vuelve más fácilmente susceptible a la acción microorganismos patogénicos. 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 (Costa, 2007).

2.4.4. El silicio en la restauración de la degradación edáfica y el incremento del nivel de fertilidad para la producción

De 40 a 300 kg de silicio por hectárea de suelo cultivado, son extraídos anualmente por las cosechas. La falta de ácidos monosilícicos y la disminución de silicio amorfo conducen a la destrucción de los complejos órgano-minerales, se aceleran la degradación de la materia orgánica del suelo y se empeora la composición mineral. La aplicación de fertilizantes

minerales con silicio es obligatoria para una agricultura sustentable y altamente efectiva en cualquier tipo de suelo.

2.4.5. El silicio incrementa la resistencia del suelo contra la erosión del viento y agua

La aplicación de silicio mineral al suelo, remedia y restaura su estructura, incrementa la capacidad de retención de agua (de 30 a 100%) y la capacidad de intercambio catiónico, sobre todo en pH mayores a 7.0. Se incrementa la estabilidad ante la erosión al promover la formación de agregados coloidales. El silicio ayuda al desarrollo del sistema radicular de la planta y puede incrementar la masa de raíces de un 50 a 200%, por lo que también estimula el mayor número de tallos por semilla.

2.4.6. El silicio incrementa la resistencia a la sequía en las plantas:

La disponibilidad del agua en el suelo es uno de los factores ambientales que más afectan el desarrollo del cultivo. “La presencia de mayor cantidad de silicio disponible en el suelo parece traer beneficios al cultivo en relación al déficit hídrico”, dice Crusciol. La acumulación de sílice en la pared celular reduce la pérdida de agua por transpiración, pudiendo ser un factor de adaptación al estrés hídrico (Costa, 2007). La fertilización con minerales de silicio activo, permiten completar la rehabilitación de suelos afectados por sales, compactación y bajos niveles de pH (Quero, 2008).

2.4.7. El silicio mejora la nutrición del fósforo en las plantas:

La fertilización con minerales ricos en silicio promueve la transformación del fósforo no disponible para la planta en formas asimilables y previene la transformación de fertilizantes ricos en fósforo en compuestos inmóviles. Fertilizantes de lenta liberación se pueden fabricar con materiales ricos en silicio.

2.4.8. El silicio reduce la lixiviación de fósforo, nitrógeno y potasio, en las áreas de cultivo:

El silicio como mejorador, puede reducir la lixiviación de nutrientes en los suelos arenosos y guardarlos en una forma disponible para la planta, tales como coloides.

2.4.9. El silicio tiene acción sinérgica con Ca, Mg, Fe, Zn y Mo:

Los seis elementos presentan una acción sinérgica, optimizando el desarrollo del cultivo y producción de cosecha, también se mejora la vida media de las cosechas percederas (Quero, 2008).

2.4.10. Absorción de la planta óptima

El silicio es absorbido por las raíces junto con el agua de la solución del suelo y fácilmente traslocado en el xilema. La cantidad de fertilizante silicatado que debe ser aplicada aún no ha sido determinada para la mayoría de suelos y cultivos, pero todo indica que cuanto mayor cantidad de silicio soluble activo esté presente, mejores serán los beneficios para el suelo y la planta. El sílice es tomado en grandes cantidades por la planta de arroz, aunque sus funciones en la fisiología del cultivo no son muy claras; los efectos del sílice han sido relacionados con: resistencia de la planta a enfermedades fungosas, ataque de insectos, mantenimiento de hojas y tallos erectos (resistencia al vuelco), eficiencia en el uso del agua incremento en los rendimientos del cultivo y translocación del fósforo. La solubilidad de sílice aumenta con el tiempo cuando el suelo se riega; igualmente, a medida que la materia orgánica es alta, la disponibilidad del sílice es mayor (Caicedo & Chavarriaga, 2008).

La forma de silicio que está disponible para las plantas como nutriente se llama ácido monosilícico (H_4SiO_4). La disponibilidad y cantidad de este compuesto está influenciada por otras partes de la composición del suelo, incluyendo el pH, la presencia de arcilla, materia orgánica y hierro (Fe) o óxidos / hidróxidos de aluminio (Al).

Todavía hay mucha investigación sobre cómo manejar el silicio en los suelos para una absorción óptima de la planta, pero los aerosoles de silicio solubles comercialmente disponibles son la mejor opción actual en el mercado (Management, 2010).

2.5. Silicio comercial

En esta investigación utilice el producto SILMAG 40 % SiO₂ + 17 % MgO + 5% S de la empresa FERMAGRI.

2.5.1. Características del producto

Producto granular, utilizado como fuente de magnesio, silicio y azufre para la aplicación al suelo en cultivos agrícolas, Debido a su composición química, al aplicarse el producto al suelo, se inicia la liberación del Silicio como Ácido Monosilícico (H₄SiO₄) que es la forma soluble que actúa en el suelo y la única forma química como las plantas pueden tomar silicio del mismo. Aumenta la disponibilidad del fósforo, actúa como neutralizante de la acidez del suelo, incrementa el pH e inactiva formas tóxicas de aluminio, hierro, manganeso y metales pesados presentes en el suelo. Mejora el comportamiento de los cultivos ante estrés por causa de sales y la capacidad de respuesta a condiciones de estrés por clima y/o ataque de plagas y de enfermedades (FERMAGRI, 2015).

2.5.2. 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: Muy poco soluble en agua, parcialmente soluble en ácido clorhídrico.

III. METODOLOGÍA

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Ubicación Política

El estudio se realizó bajo las condiciones climáticas de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo, parroquia Luz de América, recinto San Andrés 2, en la finca “Floreana”.

3.1.2. Ubicación Geográfica

El estudio de la investigación se ubicó geográficamente en las siguientes coordenadas UTM Latitud:

X: 692521

Y: 9959159

3.1.3. Ubicación Ecológica

Ecológicamente el área de estudio de acuerdo a la clasificación de L. Holdridge corresponde al bosque húmedo subtropical (bh-subtropical).

Las lluvias se distribuyen a partir de los meses de enero hasta finales de mayo que se considera como la época lluviosa, los meses más secos son entre julio y noviembre. La precipitación media anual es de 2 800 mm/año, la temperatura oscila entre los 21 y 28 °C.

El grado de humedad relativa oscila entre 84 % – 90 %, la heliofanía es de 650 horas sol / año en promedio (Inamhi, 2014).

3.2.MATERIALES

Plantas de cacao CCN51, balanza, sacos de yute y polietileno, pala, moto guadaña, carretilla, baldes de plástico, tijeras de podar, machetes, guantes, letreros, piola, libretas de campo, computadoras, cámara fotográfica, GPS. Balanza analítica, estilete, agua destilada, estufa, vasos de precipitación, guantes, fundas de papel, papel aluminio. Los insumos que utilicé fueron: SILMAG 40 % SiO₂ + 17 % MgO + 5% S, Fertilizantes, Herbicidas, Fungicidas y Adherente.

3.3.MÉTODOS

A partir de la investigación realizada por el ingeniero Martin Aguilera, continúe con el seguimiento, pero esta vez en la época lluviosa; entonces se tuvo la misma localidad es decir las plantas de cacao tienen aproximadamente 5 años de edad, con los mismo factores y variables a medir. En primer lugar se comenzó con lo que se contaba al recibir la investigación, es decir la línea base; dentro de ella se contó con los análisis de suelo y foliar del estudio realizado por el ingeniero Martin Aguilera, con registros de producción y datos en general de la investigación anterior y en campo se observó mazorcas y chereles presentes.

3.3.1. Diseño Experimental

3.3.1.1. Factores de estudio a probar

En el presente trabajo de investigación se utilizó como factor en estudio el fertilizante SILMAG, con dos aplicaciones las cuales se realizaron al primer y cuarto mes de iniciada la investigación, esto debido a que la bibliografía dice que la curva de liberación así como el nivel de Si foliar declina fuertemente a partir de la semana 16 de la última aplicación.

3.3.1.2. Tratamientos a comparar

A continuación en el cuadro 1 se describen los tratamientos aplicados en la investigación.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el ensayo.

Tratamiento	Descripción
T0	Sin aplicación (Testigo)
T1	100 Kg/ha de SILMAG 40
T2	200 Kg/ha de SILMAG 40
T3	300 Kg/ha de SILMAG 40

3.3.1.3. Tipo de diseño

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

3.3.1.4. Repeticiones o bloques

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 m²

Largo: 8 m

Ancho: 8 m

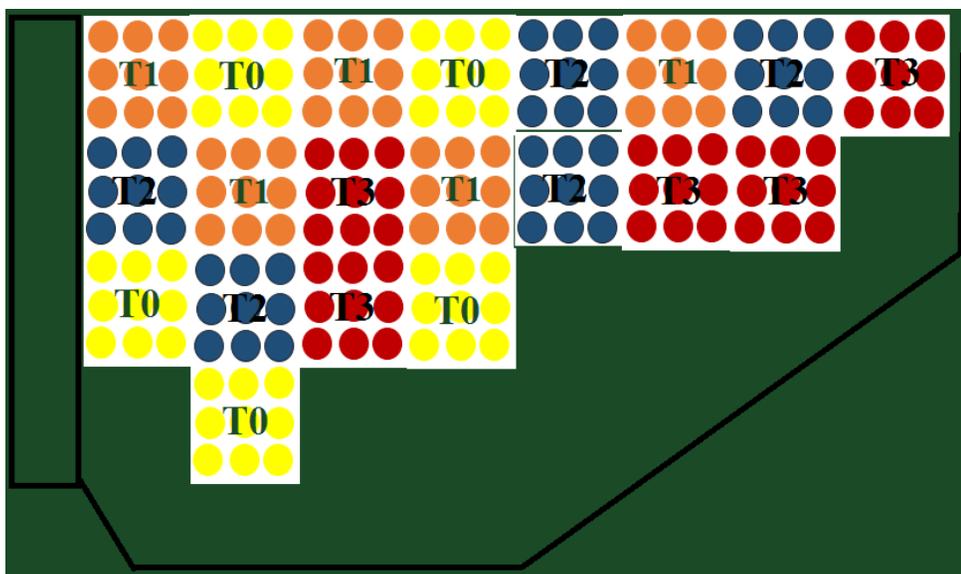
Forma de la UE: Cuadrado

Área total del ensayo: 1600 m²

Largo: 40 m

Ancho: 40 m

Forma del ensayo: Cuadrado



3.3.1.6. Croquis del ensayo

Cuadro 2. A continuación se presenta el esquema realizado de la distribución de los tratamientos en campo

3.3.2. Análisis Estadístico

3.3.2.1. Esquema de análisis de varianza

Cuadro 3. Esquema para el análisis de varianza.

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

3.3.2.2. Coeficiente de variación

$$Cv = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{X}} * 100$$

Donde CMe es el cuadrado medio del error y \bar{x} es la media funcional del experimento. Se interpreta como el número de veces que la media está contenida en la desviación estándar. Suele darse su valor en tanto por ciento, multiplicando el resultado por 100.

3.3.2.3. Análisis funcional

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

3.3.3. Relación costo – beneficio.

Se utilizó el enfoque de presupuestos parciales, porque con este enfoque solamente se toman en consideración los costos asociados con la decisión de usar o no un tratamiento (Calvo & Siman, 1993).

3.3.4. Variables a medir

- Número de mazorcas, numero de Cherelles, número de cherelle wilt
- Cosecha de mazorcas en Kg de almendras secas.
- Dosificación y aplicación del producto.

- Análisis del índice de semilla
- Índice de mazorca (IM)

3.3.5. Métodos específicos del manejo del experimento

Previo a la primera toma de datos se realizó un control de malezas mecánico con la utilización de motoguadaña y un control químico mediante la aplicación de un herbicida sistémico no selectivo de aplicación postemergente recomendado para el control de la mayoría de malezas anuales y perennes, tanto gramíneas como de hoja ancha y ciperáceas, a una dosis de 1,5 l/ha.

Se realizó podas de mantenimiento mediante la ayuda de tijeras de podar y serruchos de poda, con el fin de eliminar ramas innecesarias, ramas secas, enfermas o desgarradas, plantas parasitas y trepadoras, y despunte de ramas laterales.

Además se realizó podas fitosanitarias la cual consiste en la remoción oportuna de frutos enfermos, ramas secas, escobas de bruja y otras afecciones, acompañadas de una regulación de sombra.

Para continuar con la investigación iniciada en agosto del 2016 por el ingeniero Martin Aguilera, se siguió con la misma metodología. Cada tratamiento se mantiene con 5 repeticiones y se evaluaron un total de 9 plantas por repetición, de la cual se evaluará dos plantas las cuales serán la parcela neta.

Como nutrición estándar del cultivo de cacao se realizó la aplicación edáfica de FERCACAP GOLD (15-5-20), aplicando 300 gramos por planta, para toda la plantación.

Como ya se tenían datos acerca del estado nutricional del suelo de la anterior investigación, después de 5 meses de haber comenzado con la aplicación de los tratamientos, se procedió a realizar el análisis del suelo final, para así poder realizar los resultados pertinentes.

3.3.6. Aplicación de tratamientos.

El producto SILMAG 40 se aplicó en forma de corona a la planta a 45 cm del tallo, con una frecuencia de aplicación de dos veces durante la investigación. La primera aplicación al inicio de la investigación (01/02/2017) y la segunda al cuarto mes (12/04/2017). Se pesó y dosifico la cantidad de fertilizante según cada tratamiento mediante la ayuda de una balanza. Cada tratamiento se mantiene con 5 repeticiones y cada repetición tendrá 9 plantas, dando un número total de 45 plantas por cada tratamiento con sus respectivas repeticiones.

Para el tratamiento T1 se aplicó una dosis de 100 kg/ha/año, aplicando 160 g/planta del producto, para el T2 a una dosis de 200 kg/ha/año se empleó 320 g/planta, para el T3 con dosis de 300 kg/ha/año se empleó 480 g/planta.

La dosis de aplicación se dividió en el 60% a la primera aplicación y el 40% en la segunda aplicación que se realizó al cuarto mes de iniciada la investigación.

3.3.7. Toma de datos

El muestreo y la toma de datos se realizó cada 15 días, donde se registró la información mediante escritos en libretas de campo y fotografías.

Numero 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.

Numero 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.

Para la realización de esta determinación se debe ejecutar con almendras fermentadas, secas y limpias. Se tomaron 100 granos (almendras) como muestra al azar, los cuales se pesaron en una balanza analítica de precisión.

$$\text{Índice de semilla} = \frac{\text{peso en gramos de 100 semillas secas}}{100}$$

IV. RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las variables medidas en campo, fueron analizados estadísticamente mediante el uso del programa INFOSTAT, en el cual se realizaron los diferentes análisis de varianza de las diferentes variables y para cada toma de dato. Dichos análisis de varianza se realizaron con una prueba de significancia de Duncan al 0,05% de probabilidad para así poder marcar los rangos de significancia establecidos estadísticamente.

4.2. ANÁLISIS DEL SUELO.

Cuadro 4. Análisis del suelo realizado al final del proyecto de investigación del Ingeniero Martín Aguilera.

	Elemento	Unidad	Rango normal para cacao	T0
Macronutrientes	pH en KCL		5,8 a 7,0	5,4
	(NO ₃ +NH ₄)-N	mg/kg	18 a 30	14,1
	Fosforo (P)	mg/kg	16 a 25	7,4
	Potasio (K)	mg/kg	90 a 160	83
	Magnesio (Mg)	mg/kg	40 a 100	58,5
	Calcio (Ca)	mg/kg	300 a 800	275
	Azufre (S)	mg/kg	10 a 15	3,6
	Silicio (Si) - Agua	mg/kg	Sin rango	10,5
	Silicio (Si) - NaCl	mg/kg	Sin rango	41,3
Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	11 a 25	83,5
	Manganeso (Mn)	mg/kg	6 a 30	7,5
	Cobre (Cu)	mg/kg	0,9 a 4	5,8
	Zinc (Zn)	mg/kg	1,1 a 6	4,7
	Boro (B)	mg/kg	0,15 a 0,6	0,25
Peligro salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	<140	5,1
	Cloruro (Cl ⁻)	mg/kg	<210	11,2
	Sales Totales	mg/kg	<2000	83,3

En el cuadro 4 observamos el análisis de suelo realizado el mes de diciembre del 2016, en donde muestra que la mayoría de macro y micronutrientes se encuentran dentro del rango establecido por el laboratorio AGRARPROJEKT S.A. a excepción de los elementos Azufre (S), Hierro (Fe) y Cobre (Cu), que se encuentran fuera del rango para cacao, también se muestra las cantidades de Silicio (Si) en el suelo; que son 10,5 mg/Kg de Si – agua y 41.3 mg/Kg de Si – NaCl.

Cuadro 5. Análisis inicial del suelo vs final de los tratamientos T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

	Elemento	Unidad	Análisis inicial del suelo	T2	T3	
	pH en KCL		5,4	5,4	5,4	
Macronutrientes	(NO ₃ +NH ₄)-N	mg/kg	14,1	59,6	39,1	
	Fosforo (P)	mg/kg	7,4	11,2	10,7	
	Potasio (K)	mg/kg	83	58,5	70	
	Magnesio (Mg)	mg/kg	58,5	116	113	
	Calcio (Ca)	mg/kg	275	399	361	
	Azufre (S)	mg/kg	3,6	4,1	4	
	Silicio (Si)	mg/kg	10,5	11,4	6,4	
	Silicio (Si) - NaCl	mg/kg	41,3	31,1	20,2	
	Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	83,5	57,5	69
		Manganeso (Mn)	mg/kg	7,5	40,9	39,5
Cobre (Cu)		mg/kg	5,8	3,8	4,6	
Zinc (Zn)		mg/kg	4,7	7,2	8,8	
Boro (B)		mg/kg	0,25	0,25	0,29	
Peligro salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	5,1	6,5	5,7	
	Cloruro (Cl ⁻)	mg/kg	11,2	5,4	7,5	
	Sales Totales	mg/kg	83,3	233	142	

Fuente: AGRARPROJEKT S.A.

Para medir la cantidad de silicio (Si) edáfico, se realizaron comparaciones entre el análisis inicial de macro y micronutrientes y compararlo así con los tratamientos T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag) como se muestra en el cuadro 5, se tomaron estos tratamientos que fueron los más sobresalientes durante el desarrollo de la investigación.

A continuación se presenta una comparación de la cantidad inicial de silicio en suelo con los tratamientos más sobresalientes de la investigación T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

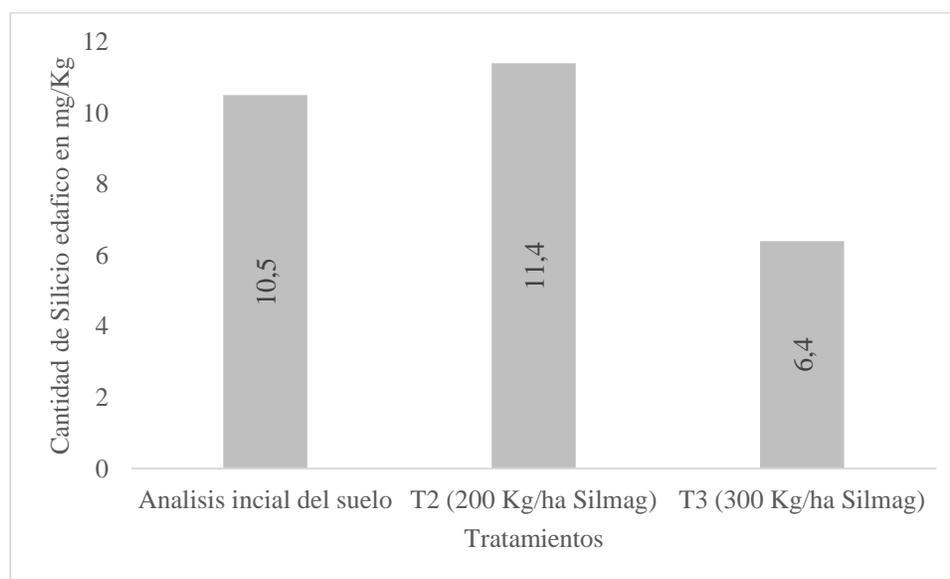


Figura 1. Comparación de la cantidad inicial de silicio con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

Como se observa en la figura 1, la cantidad inicial de silicio en el suelo expresado en mg/Kg es de 10,5 comparando así con el T2 y T3, donde se analiza que para el T2 (200 Kg/ha Silmag) el silicio disponible en el suelo es de 0,9 mg/Kg, es decir se aumenta la disponibilidad de silicio asimilable en la solución del suelo, esto quiere decir que la planta ya ha absorbido el silicio necesario o su vez hay otros nutrientes que no permiten su movilidad hacia dentro de la planta. En cuanto al T3 (300 Kg/ha Silmag) disminuye la disponibilidad 4,1 mg/Kg de silicio en la solución del suelo, debido a que la planta lo ha absorbido de buena forma o tal vez los nutrientes necesarios han estado presentes dentro de la solución del suelo para así tener una buena movilidad del silicio.

A continuación se presenta una comparación de la cantidad inicial de Nitrógeno en el suelo con los tratamientos más sobresalientes de esta investigación T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

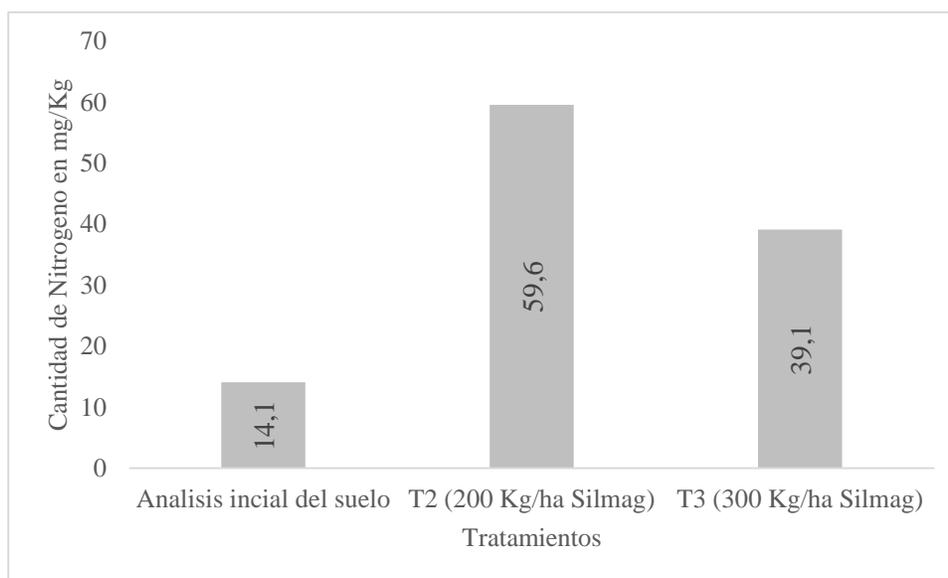


Figura 2. Comparación de la cantidad inicial de nitrógeno con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

En cuanto al nitrógeno en la solución del suelo, el cuadro 4 muestra que T2 y T3 están fuera del rango óptimo (18 a 30 mg/Kg) de nitrógeno en el suelo, comparado con el análisis inicial del suelo, la figura 5 muestra que hay una diferencia grande 45,5 y 25 mg/Kg respectivamente para T2 y T3. Esto puede relacionarse con la aplicación de un fertilizante completo FERCACAO GOLD lo real sería que a mayor cantidad de silicio en la solución del suelo mejor sería la asimilación del nitrógeno para la planta.

A continuación se presenta una comparación de la cantidad inicial de fosforo en el suelo con los tratamientos más sobresalientes de la investigación T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

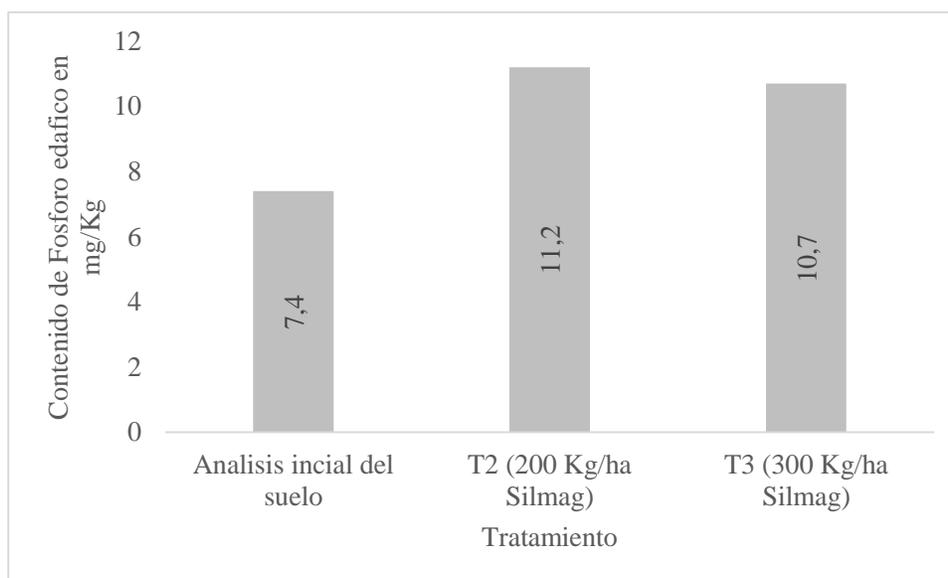


Figura 3. Comparación de la cantidad inicial de fosforo con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

Como se muestra en el cuadro 5 las cantidades de fosforo para los tratamientos están dentro del rango establecido (16 a 25 mg/Kg), en la figura 3 se observa que hay diferencia de 3,8 y 3,3 mg/Kg respectivamente, relacionándose con el silicio puesto que a mayor cantidad de silicio se disminuye la disponibilidad de fosforo.

A continuación se presenta una comparación de la cantidad inicial de potasio en el suelo con los tratamientos más sobresalientes de la investigación T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

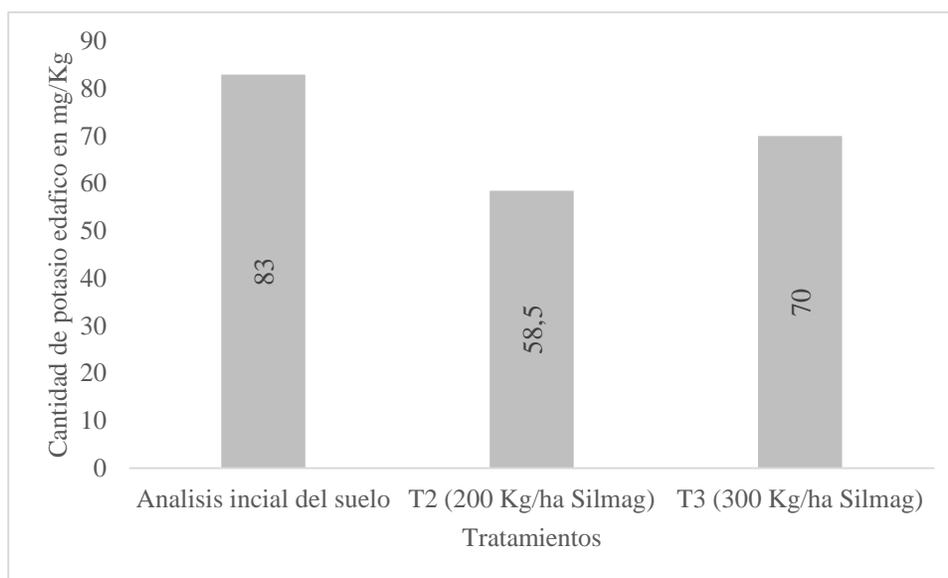


Figura 4. Comparación de la cantidad inicial de potasio con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

Como se muestra en el cuadro 4 las cantidades de potasio están en el rango establecido (90 a 160 mg/Kg), este elemento al inicio de la investigación se encontró en mayor cantidad (83mg/Kg) comparado con T2 (58,5 mg/Kg) y cerca del T3 (70 mg/Kg) estando aun debajo de la cantidad inicial, esto de acuerdo a que el silicio es un elemento que ayuda en la solución del suelo para que este elemento se vuelva asimilable para la planta.

Se presenta una comparación de la cantidad inicial de calcio en el suelo con los tratamientos más sobresalientes de la investigación T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

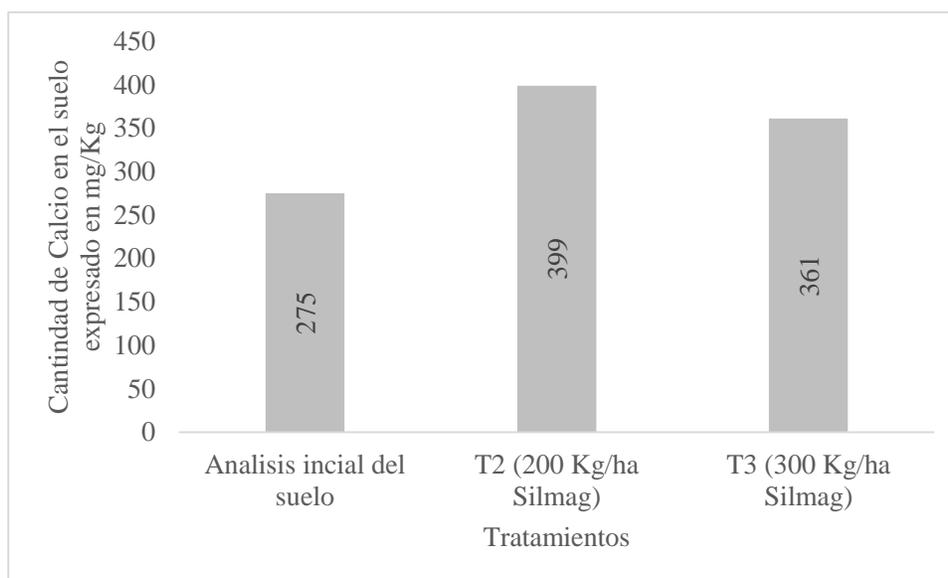


Figura 5. Comparación de la cantidad inicial de calcio con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

La figura 5 muestra que para el elemento calcio se presentó un aumento del contenido en la solución del suelo, es decir la planta asimiló lo necesario y lo que no asimiló quedó en la solución del suelo, registrándose un valor inicial de 275 mg/Kg, aumentando a valores de 399 y 361 mg/Kg respectivamente, los mismos que se encuentran en el rango establecido para el elemento Ca (cuadro 4).

Presento una comparación de la cantidad inicial de azufre en el suelo versus los tratamientos más sobresalientes de la investigación T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

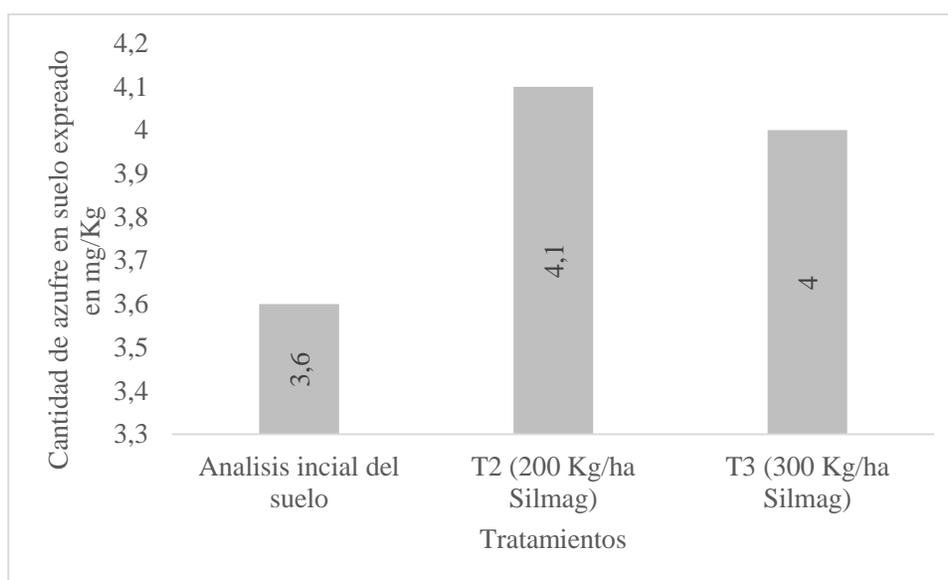


Figura 6. Comparación de la cantidad inicial de azufre con los tratamientos más sobresalientes T2 (200 Kg/ha Silmag) y T3 (300 Kg/ha Silmag).

De acuerdo al cuadro 4, las cantidades de azufre en la solución del suelo se encuentran por debajo del rango establecido (10 a 15 mg/Kg), ahora bien comparando con el análisis inicial del suelo (figura 9), para T2 y T3 se dio un incremento de la cantidad de azufre disponible en la solución del suelo, esto de acuerdo a la cantidad de silicio aplicado (Silmag).

4.3.NÚMERO DE CHERELES

En el cuadro 6 se presenta el resumen de los análisis de varianza para la variable número de chereles.

Cuadro 6. Resumen de los análisis de la varianza para la variable número de chereles.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios												
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°
Bloque	4	2,2 ns	0,67 ns	0,4 9	4,27 ns	16,0 2	4,63 ns	20,47 ns	65,95 ns	11, 3	3,53 ns	3,52 ns	8,61 ns	1,08 ns
Dosis de Silicio	3	2,65 **	0,23 ns	0,1 7	3,85 ns	6,85 ns	2,7 ns	10,85 ns	54,57 ns	3,8 3	6,32 ns	6,78 ns	15,2 2	1,68 ns
Error	12	1,21	1,12	0,4	4,92	22,0 7	13,2 8	30,99	97,28	5,3 8	8,85	4,39	12,0 3	2,59
Total	19													
CV		44,4 1	117,5 2	48, 4	72,1 2	44,4 1	91,1 2	106,0 3	161,6 9	48, 3	62,6 2	35,9 9	70,0 7	82,5 2

En el cuadro 6 se puede observar que existe diferencia significativa para la fuente de variación dosis de silicio (p- valor <0,0001) en la evaluación número uno, siendo la única evaluación en donde existió diferencia estadística ya que en las siguientes evaluaciones no se vio diferencia estadística. El coeficiente de variación para la variable número de chereles en la primera evaluación fue de 44,41%.

Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable número de chereles, referente a la primera evaluación.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Frecuencia	Probabilidad
Modelo.	16,74	7	2,39	1,98	0,1427
Bloque	8,8	4	2,2	1,82	0,1897
Tratamiento	7,94	3	2,65	2,19	0,1421
Error	14,5	12	1,21		
Total	31,24	19			

Cuadro 8. Prueba de significancia según Duncan para la variable número de chereles, referente a la primera evaluación.

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
Testigo	2,4	5	0,49	A	B
100 kg/ha	2,8	5	0,49	A	B
200 kg/ha	1,5	5	0,49	A	
300 kg/ha	3,2	5	0,49		B

En el cuadro 8 se observa la prueba de significancia según Duncan al 5%, para la fuente de variación tratamiento que en este caso es dosis de silicio edáfico (Silmag) en el cultivo de cacao.

A continuación se presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan para la variable número de chereles, referente a la primera evaluación.

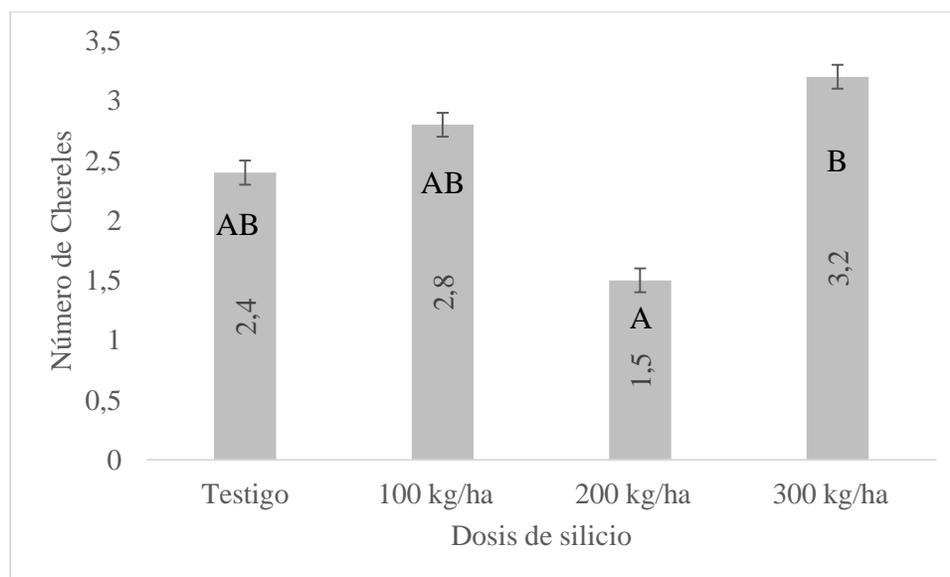


Figura 7. Prueba de Duncan para la variable número de chereles, referente a la primera evaluación.

La prueba de Duncan para la variable número de chereles presenta tres rangos de significancia, en el primer rango se ubican el T2 con una media de 1,5 chereles por planta, en el segundo rango está el T0 y T1 con un media de 2,4 y 2,8 chereles por planta respectivamente, en el tercer rango de significancia está el T3 con una media de 3,2 chereles por planta, lo anteriormente presentado indica que el T3 (300 Kg/ha de Silmag) propuesto en la investigación ofrece los mejores resultados.

4.4. NÚMERO DE MAZORCAS SANAS.

En el cuadro 9 se presenta el resumen de los análisis de varianza para la variable número de mazorcas sanas.

Cuadro 9. Resumen de los análisis de la varianza para la variable número de mazorcas sanas.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios													
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	
Bloque	4	35,0	48,4	26,6	16,5	33,6		33,6		34,1		264,5	382,4	671,7	
		ns	ns	ns	ns	ns	64,77	4	64,77	4	77,64	4	6	1	
Dosis de Silicio	3	10,5	38,1	18,8	11,3					75,5		336,7		444,8	
		ns	ns	ns	ns	ns	25,51	6,15	25,51	1	85,21	5	78,75	3	
Error	12	29,7	32,8	31,3	20,1		112,7		112,7	388,	321,1	441,7	323,7	349,9	
		2	3	9	8	39,2	1	39,2	1	5	7	6	4	1	
Total	19														
CV		79,9	64,8	62,9	65,1	77,7	71,13	77,7		76,7					
			4	5		8		8	71,13	7	60,7	53,01	41,41	45,85	

En el cuadro 9 mediante el resumen de los cuadrados medios de las diferentes evaluaciones se puede observar que no existe diferencia significativa para la fuente de variación dosis de silicio y bloque (p- valor <0,0001) en la evaluación número de mazorcas, siendo la producción de mazorcas en el cultivo de cacao con la aplicación de silicio edáfico (Silmag) en época lluviosa una variable que no presentó diferencia estadística dentro de la investigación. El coeficiente de variación para la variable número de mazorcas sanas estuvo dentro de un rango entre 41,1 a 79.9%.

4.5.CHERELLE WILT

En el cuadro 10 se presenta el resumen de los análisis de varianza para la variable cherelle wilt

Cuadro 10. Resumen de los análisis de la varianza para la variable cherelle wilt.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios												
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°
Bloque	4	0,97 ns	0,97 ns	0,26 ns	0,86 ns	0,6 4	0,55 ns	0,7 ns	0,86 ns	1,49 ns	4,8 9	14,7 1	0,46 ns	3,29 ns
Dosis de Silicio	3	2,85 **	2,85 **	0,55 ns	0,37 ns	0,3 5	0,05 ns	0,28 ns	0,05 ns	0,25 ns	6,3 2	0,41 ns	0,45 ns	3,48 ns
Error	12	1,13	1,13	1,55	0,52	0,2 9	1,23	0,45	0,72	1,04	8,8 5	3,21	2,02	1,97
Total	19													
CV		169,8 6	169,8 6	171,4 9	120,5 2	40, 9	94,5 2	49,6 9	69,4 1	49,0 9	82, 2	50,1 5	48,2 1	63,0 6

En el cuadro 10 se puede observar que existe diferencia significativa para la fuente de variación dosis de silicio (p- valor <0,0001) en la evaluación número uno y dos, siendo las únicas evaluaciones donde existió diferencia estadística ya que las siguientes evaluaciones no verían diferencia estadística. El coeficiente de variación para la variable número de chereles en la primera y segunda evaluación fue de 169,86%.

Cuadro 11. Análisis de varianza para la variable cherelle wilt, referente a la primera evaluación.

Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Frecuencia	probabilidad
Modelo.	12,41	7	1,77	1,57	0,2339
Bloque	3,88	4	0,97	0,86	0,5153
Tratamiento	8,54	3	2,85	2,52	0,1069
Error	13,53	12	1,13		
Total	25,94	19			

Cuadro 12. Prueba de significancia según Duncan para la variable cherelle wilt, referente a la primera evaluación.

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
Testigo	0,6	5	0,47	A	B
100 kg/ha	1,7	5	0,47		B
200 kg/ha	0,1	5	0,47	A	
300 kg/ha	0,1	5	0,47	A	

En el cuadro 12 se observa la prueba de significancia según Duncan al 5%, para la fuente de variación tratamiento que en este caso es dosis de silicio edáfico (Silmag) en el cultivo de cacao.

A continuación se presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan para la variable cherelle wilt, referente a la primera evaluación.

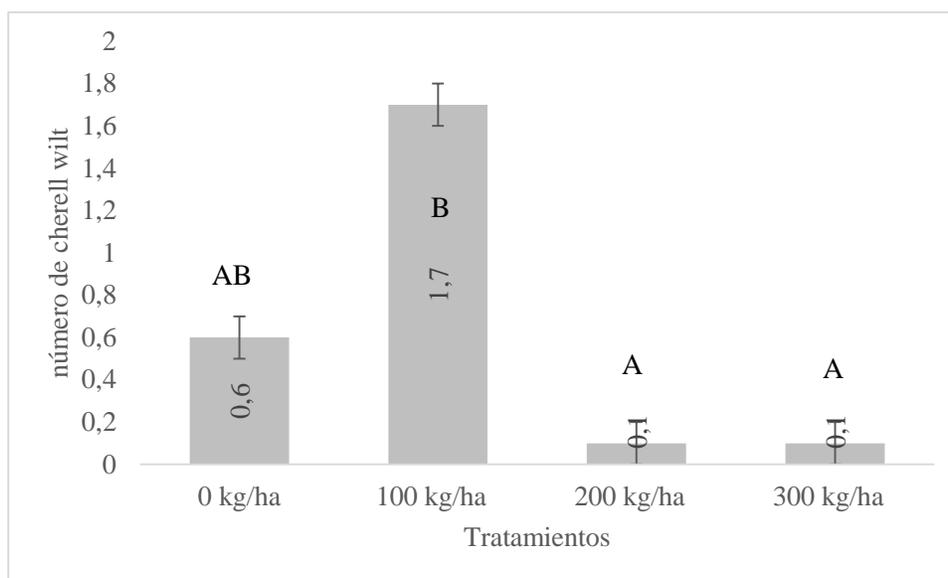


Figura 8. Prueba de Duncan para la variable cherelle wilt, referente a la primera evaluación.

La prueba de Duncan para la variable número de cherelle wilt presenta tres rangos de significancia, en el primer rango se ubica T2 y T3 con una media de 0,1 cherelle wilt por planta, en el segundo rango de significancia está el T0 con un media de 0,6 cherelle wilt por planta, en el tercer rango de significancia está el T1 con una media de 1,7 cherelle wilt por planta, lo anteriormente presentado indica que los T2 y T3 (200 y 300 Kg/ha de Silmag respectivamente) propuesto en la investigación dan los mejores resultados.

Cuadro 13. Análisis de varianza para la variable cherelle wilt, referente a la segunda evaluación.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Frecuencia	Probabilidad
Modelo.	12,41	7	1,77	1,57	0,2339
Bloque	3,88	4	0,97	0,86	0,5153
Tratamiento	8,54	3	2,85	2,52	0,1069
Error	13,53	12	1,13		
Total	25,94	19			

Cuadro 14. Prueba de significancia según Duncan para la variable cherelle wilt, referente a la segunda evaluación.

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
Testigo	0,6	5	0,47	A	B
100 kg/ha	1,7	5	0,47		B
200 kg/ha	0,1	5	0,47	A	
300 kg/ha	0,1	5	0,47	A	

En el cuadro 14 se observa la prueba de significancia según Duncan al 5%, para la fuente de variación tratamiento que en este caso es dosis de silicio edáfico (Silmag) en el cultivo de cacao.

A continuación se presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan para la variable cherelle wilt, referente a la segunda evaluación.

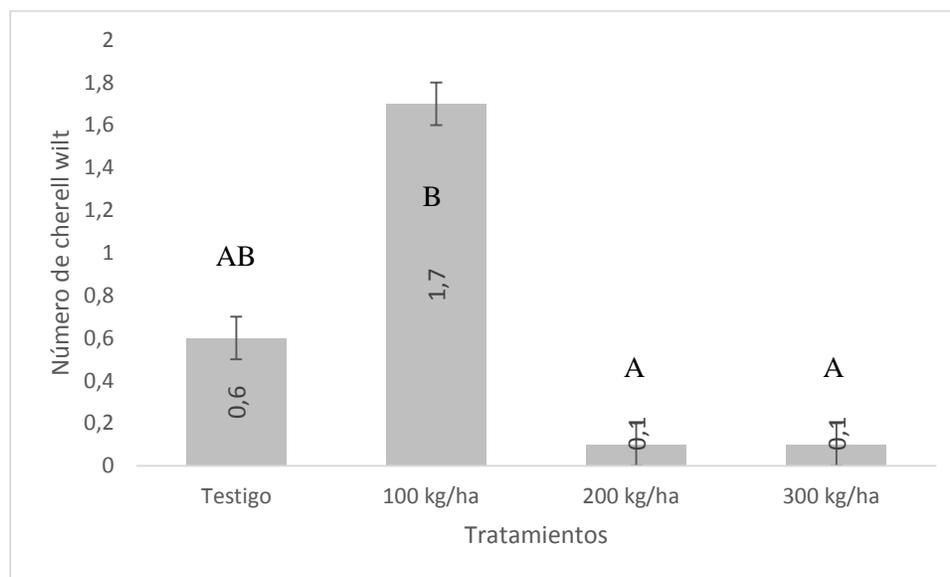


Figura 9. Prueba de Duncan para la variable cherelle wilt, referente a la segunda evaluación.

La prueba de Duncan para la variable número de cherelle wilt presenta tres rangos de significancia, en el primer rango se ubica T2 y T3 con una media de 0,1 cherelle wilt por planta, en el segundo rango de significancia está el T0 con un media de 0,6 cherelle wilt por planta, en el tercer rango de significancia está el T1 con una media de 1,7 cherelle wilt por planta, lo anteriormente presentado

indica que los T2 y T3 (200 y 300 Kg/ha de Silmag respectivamente) propuesto en la investigación da el menor número de cherelle wilt.

4.6.PRODUCCIÓN DE ALMENDRAS DE CACAO.

En el cuadro 15 se presenta el resumen de los análisis de varianza para la variable producción de almendras.

Cuadro 15. Resumen de los análisis de la varianza para la variable producción de almendras.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios		
		1° mes (Febrero)	2° mes (Abril)	3° mes (Julio)
Bloque	4	0,01 **	1,20E-03 ns	0,01 ns
Dosis de Silicio	3	0,02 **	0,15 **	0,08 **
Error	12	0,01	3,00E-03	0,01
Total	19			
CV		15,57	14,02	21,02

En el cuadro 15 se puede observar que existe diferencia significativa para la fuente de variación dosis de silicio y bloque (p- valor <0,0001) en los tres meses que se presenta en dicho cuadro, siendo estos los meses en donde se presentó producción de cacao CCN-51 en esta zona ya que en los demás meses no se registraron datos de producción. Los coeficientes de variación para la variable producción de almendras de cacao CCN-51 varían de 14,02 a 21,02 %.

Cuadro 16. Análisis de varianza para la variable producción de almendras, referente al primer mes (febrero) de evaluación.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	Probabilidad
Modelo.	0,11	7	0,02	2,57	0,0728
Bloque	0,05	4	0,01	1,92	0,1711
Tratamiento	0,07	3	0,02	3,42	0,0527
Error	0,08	12	0,01		
Total	0,19	19			

Cuadro 17. Prueba de significancia según Duncan para la variable producción de almendras, referente al primer mes (febrero) de evaluación.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	0,48	5	0,04	A
100 kg/ha	0,48	5	0,04	A
200 kg/ha	0,48	5	0,04	A
300 kg/ha	0,61	5	0,04	B

En el cuadro 17 se observa la prueba de significancia según Duncan al 5%, para la fuente de variación tratamiento que en este caso es dosis de silicio edáfico (Silmag) en el cultivo de cacao.

A continuación se presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan para la variable producción de almendras, referente al primer mes (febrero) de evaluación.

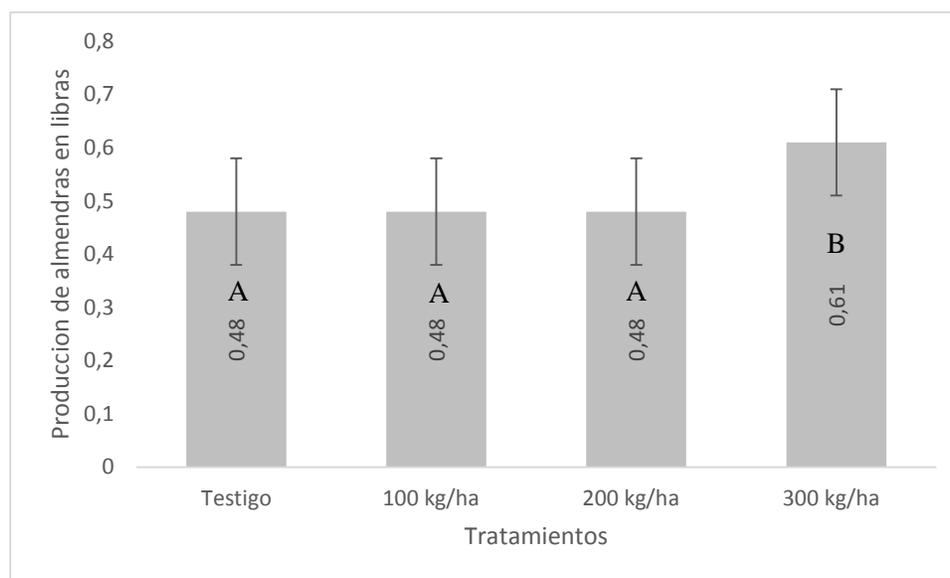


Figura 10. Prueba de Duncan para la variable producción de almendras, referente al primer mes (febrero) de evaluación.

La prueba de Duncan para la variable producción de almendras en el mes de febrero presenta dos rangos de significancia, en el primer rango se ubica T0, T1 y T2 con una media de 0,48 libras de almendras en baba por mazorca, en el segundo rango de significancia está el T3 con un media de 0,61 libras de almendras en baba por mazorca, lo anteriormente presentado indica que el T3 (300 Kg/ha de Silmag) propuesto en la investigación obtuvo mayor peso de sus almendras.

Cuadro 18. Análisis de varianza para la variable producción de almendras, referente al segundo mes (abril) de evaluación.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Frecuencia	Probabilidad
Modelo.	0,45	7	0,06	21,64	<0,0001
Bloque	4,90E-03	4	1,20E-03	0,42	0,7947
Tratamiento	0,44	3	0,15	49,94	<0,0001
Error	0,04	12	3,00E-03		
Total	0,48	19			

Cuadro 19. Prueba de significancia según Duncan para la variable producción de almendras, referente al segundo mes (abril) de evaluación.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	0,25	5	0,02	A
100 kg/ha	0,28	5	0,02	A
200 kg/ha	0,39	5	0,02	B
300 kg/ha	0,63	5	0,02	C

En el cuadro 19 se observa la prueba de significancia según Duncan al 5%, para la fuente de variación tratamiento que en este caso es dosis de silicio edáfico (Silmag) en el cultivo de cacao.

A continuación se presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan para la variable producción de almendras, referente al segundo mes (abril) de evaluación.

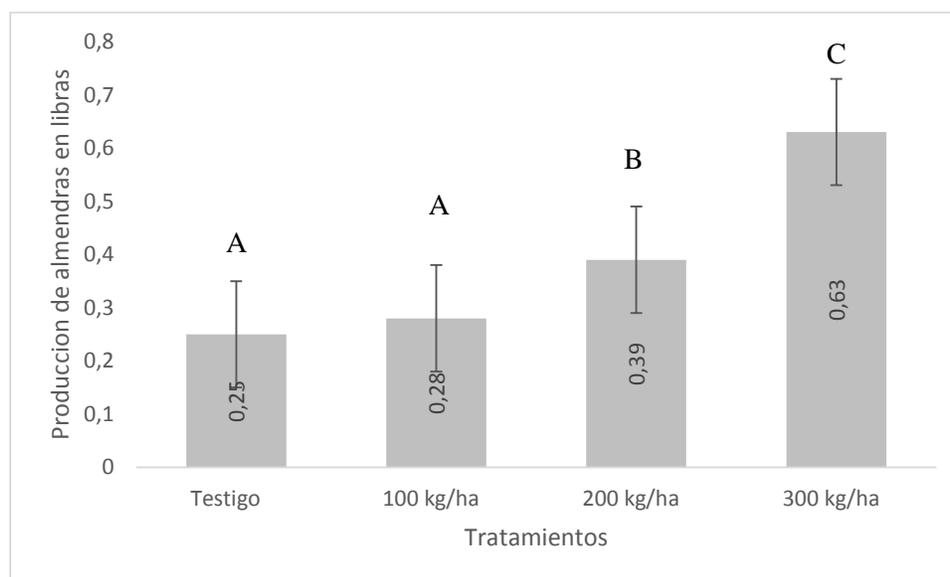


Figura 11. Prueba de Duncan para la variable producción de almendras, referente al segundo mes (abril) de evaluación.

La prueba de Duncan para la variable producción de almendras en el mes de abril presenta tres rangos de significancia, en el primer rango se ubica T0 y T1 con una media de 0,25 y 0,28 libras de almendras en baba por mazorca respectivamente, en el segundo rango de significancia está el T2 con un media de 0,39 libras de almendras en baba por mazorca, en el tercer rango de significancia está el T3 con una media de 0,63 libras de almendras en baba por mazorca, lo

anteriormente presentado indica que el T3 (300 Kg/ha de Silmag) propuesto en la investigación obtuvo mayor peso en la producción de almendras.

Cuadro 20. Análisis de varianza para la variable producción de almendras, referente al tercer mes (julio) de evaluación.

Fuentes de Variación	Sumas de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Frecuencia	Probabilidad
Modelo.	0,25	7	0,04	6,18	0,0031
Bloque	0,03	4	0,01	1,12	0,3937
Tratamiento	0,23	3	0,08	12,92	0,0005
Error	0,07	12	0,01		
Total	0,32	19			

Cuadro 21. Prueba de significancia según Duncan para la variable producción de almendras, referente al tercer mes (julio) de evaluación.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	0,31	5	0,03	A
100 kg/ha	0,29	5	0,03	A
200 kg/ha	0,31	5	0,03	A
300 kg/ha	0,55	5	0,03	B

En el cuadro 21 se observa la prueba de significancia según Duncan al 5%, para la fuente de variación tratamiento que en este caso es dosis de silicio edáfico (Silmag) en el cultivo de cacao.

A continuación se presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan para la variable producción de almendras, referente al tercer mes (julio) de evaluación.

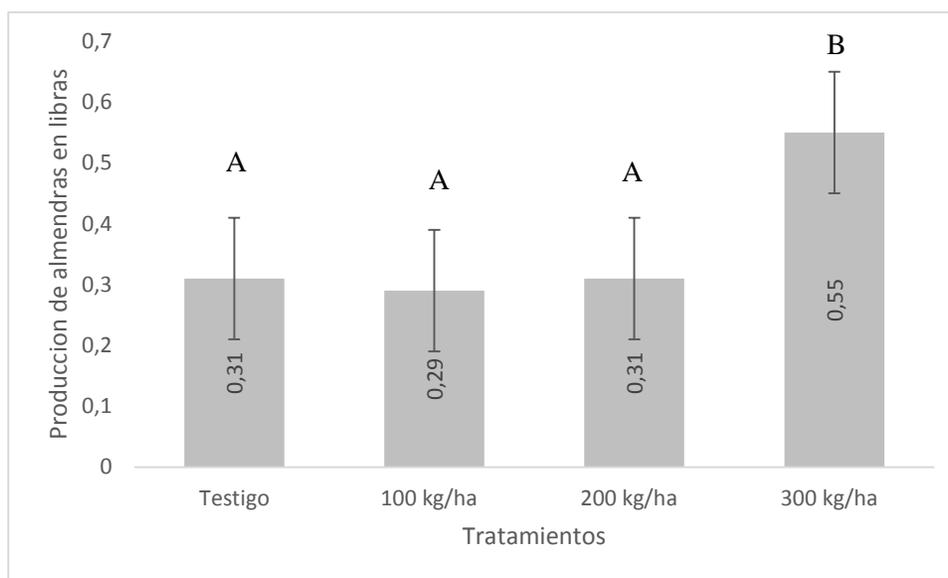


Figura 12. Prueba de Duncan para la variable producción de almendras, referente al tercer mes (julio) de evaluación.

La prueba de Duncan para la variable producción de almendras en el mes de julio presenta dos rangos de significancia, en el primer rango se ubican los T0, T1 y T2 con una media de 0,29 y 0,31 libras de almendras en baba por mazorca, en el segundo rango de significancia está el T3 con una media de 0,55 libras de almendras en baba por mazorca, lo anteriormente presentado indica que el T3 (300 Kg/ha de Silmag) tuvo mejor resultados que los otros tratamientos.

A continuación se presentan los datos referentes a la precipitación en los meses que se realizó la investigación, es decir diciembre del año 2016 y enero – agosto del año 2017.

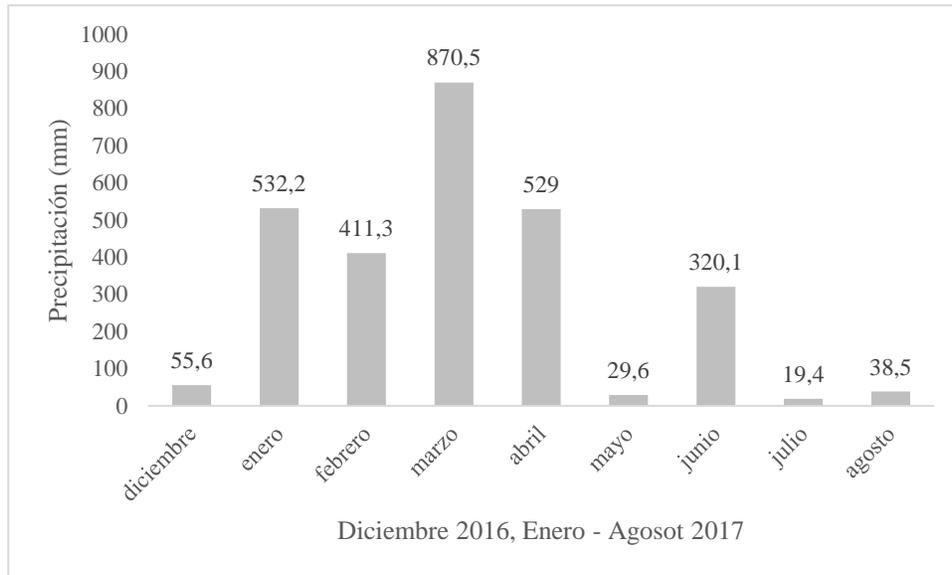


Figura 13. Precipitación en la zona de Luz de América desde enero – agosto 2017.

Elaborados por: John Sornoza Fuente: (Puerto Ila, 2017)

Se presentan los meses en que se registró la producción de almendras (libras).

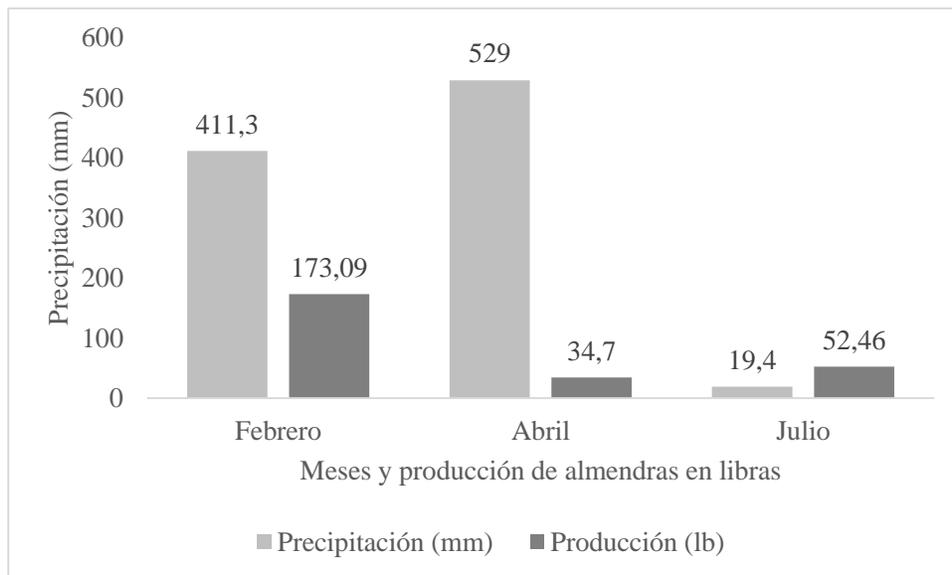


Figura 14. Precipitación vs producción de almendras total, febrero – julio 2017.

Elaborado por: John Sornoza Fuente: (Puerto Ila, 2017)

El fin de la figura 14 es poder comparar los registros de precipitación con los la producción de almendras de cacao CCN-51, en los meses que se registraron dichas producciones, teniendo así los meses de febrero, abril y julio del año 2017. En el mes de febrero fue donde se obtuvo la mayor cantidad de producción con 173,09 libras y para los siguientes meses hasta julio se redujo la producción entre 52,46 a 34,7 libras.

A continuación se presenta la comparación de precipitación vs producción para el mes de febrero.

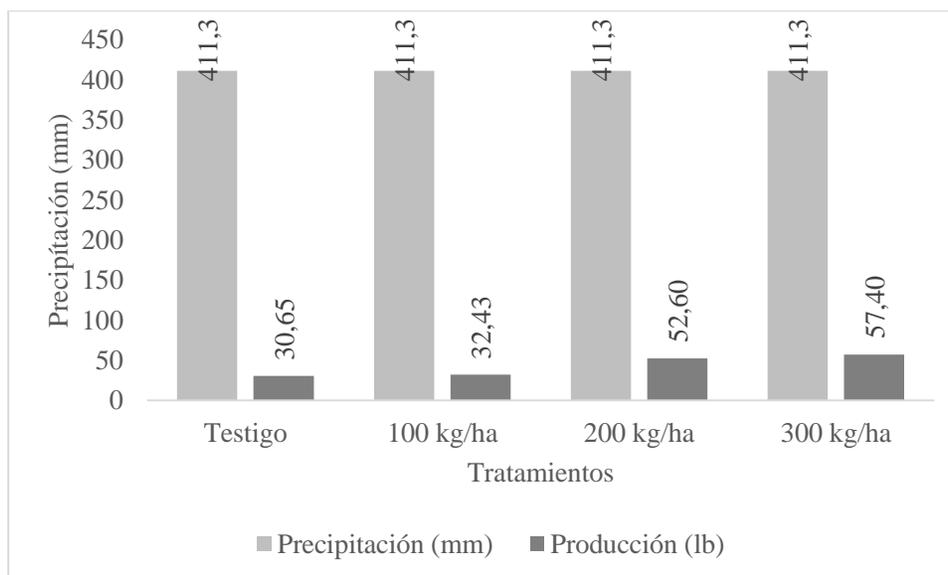


Figura 15. Precipitación vs producción de almendras de cacao CCN-51, correspondiente al mes de febrero del 2017.

Elaborado por: John Sornoza

Fuente: (Puerto Ila, 2017)

A continuación se presenta la comparación de precipitación vs producción para el mes de abril.

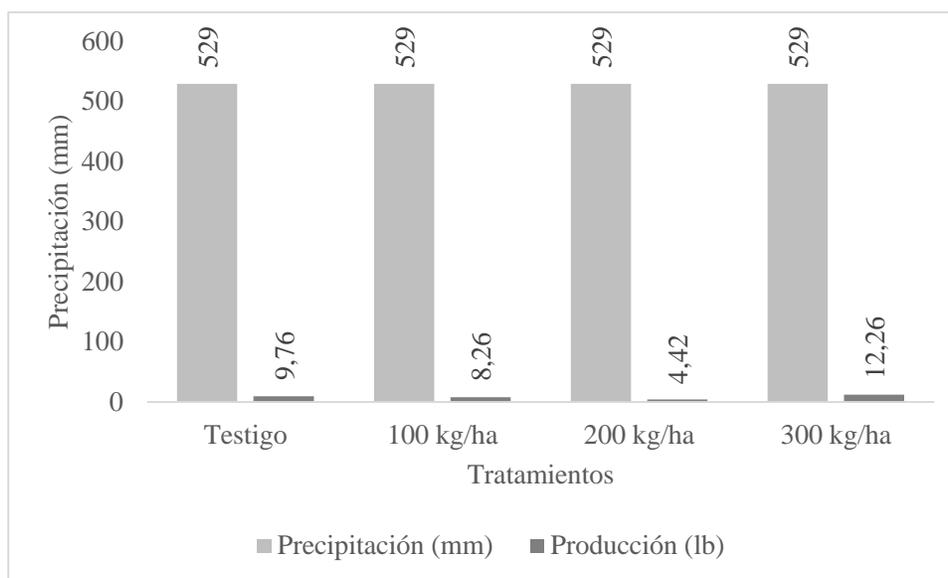


Figura 16. Precipitación vs producción de almendras de cacao CCN-51, correspondiente al mes de abril del 2017.

Elaborado por: John Sornoza Fuente: (Puerto Ila, 2017)

A continuación se presenta la comparación de precipitación vs producción para el mes de julio.

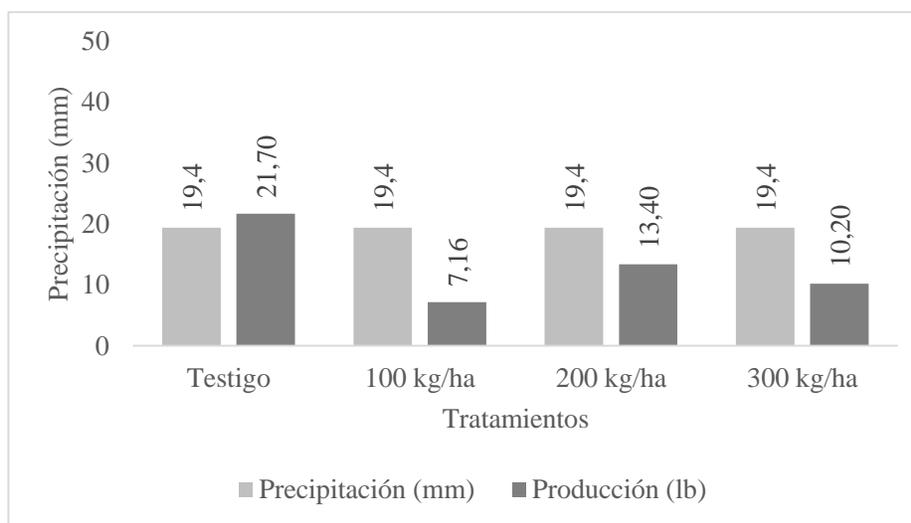


Figura 17. Precipitación vs producción de almendras de cacao CCN-51, correspondiente al mes de julio del 2017.

Elaborado por: John Sornoza Fuente: (Puerto Ila, 2017)

Al observar las figuras 15 y 16, analizamos que para el T3 (300 Kg/ha de Silmag), posee un promedio de producción en los meses de febrero y abril de 57,40 y 16,26 lb, los mismo que registraron precipitaciones de 411,3 y 529 mm respectivamente, es decir este tratamiento fue relativamente mayor que los demás en estos dos meses ya que para el mes de febrero tuvo una diferencia de producción con el testigo de 26,75 libras más, lo que significa que con la aplicación de 300 Kg/ha de Silmag se aumentó 87,23% de la capacidad productiva del cultivo, para el mes de abril tuvo una diferencia de producción con el testigo de 2,49 libras, lo que significa que con la aplicación de 300 Kg/ha de Silmag se aumentó 25,61% de la capacidad productiva del cultivo. Al analizar la figura 17 se tiene que los niveles de producción fueron mejorando en comparación con el mes de abril es decir cuándo se va reduciendo la cantidad precipitación la respuesta en producción va mejorando paulatinamente, en el mes de julio el tratamiento que sobresalió fue el testigo en comparación con los demás tratamientos.

4.7.ÍNDICE DE SEMILLAS.

Dicho índice se calculó mediante el pesaje de 100 almendras de cacao secas, para así poder aplicar la siguiente formula.

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

Testigo

$$IS (T0) = \frac{177,48}{100} = 1,78 \text{ gr}$$

T1 (100 Kg/ha Silmag)

$$IS (T1) = \frac{151,1}{100} = 1,51 \text{ gr}$$

T2 (200 Kg/ha Silmag)

$$IS (T2) = \frac{191,64}{100} = 1,91 \text{ gr}$$

T3 (300 Kg/ha Silmag)

$$IS (T3) = \frac{206,39}{100} = 2,1 \text{ gr}$$

A continuación se presenta la comparación del índice de semilla para los diferentes tratamientos.

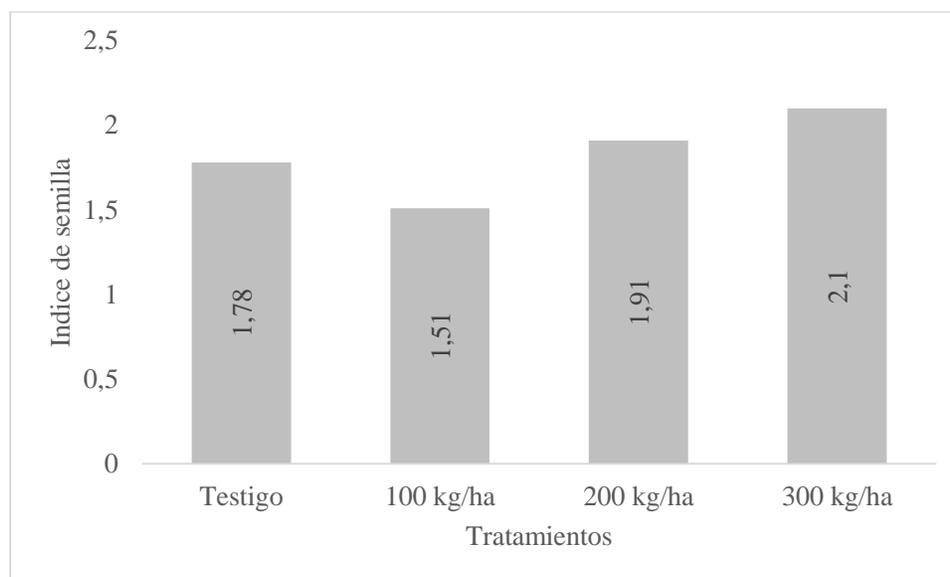


Figura 18. Índice de semilla para los diferentes tratamientos.

Como se observa en la figura 18, el índice de semilla va siendo diferenciado de acuerdo a la aplicación de silicio edáfico (Silmag), el único dato atípico es el T1 (100 Kg/ha Silmag) ya que no sigue la tendencia de las barras, entonces en este caso se tomaría al T1 como el de menor respuesta a la aplicación de silicio edáfico, de ahí los demás tratamientos muestran que el silicio influye sobre el peso de las almendras de cacao, a lo que se considera al T3 (300 Kg/ha Silmag) como el de mejor respuesta ya que fue el tratamiento con mayor índice de semilla (2,1 gramos) en comparación con el resto de tratamientos.

4.8.ÍNDICE DE MAZORCA.

A continuación se presenta la comparación del índice de mazorca para los diferentes tratamientos.

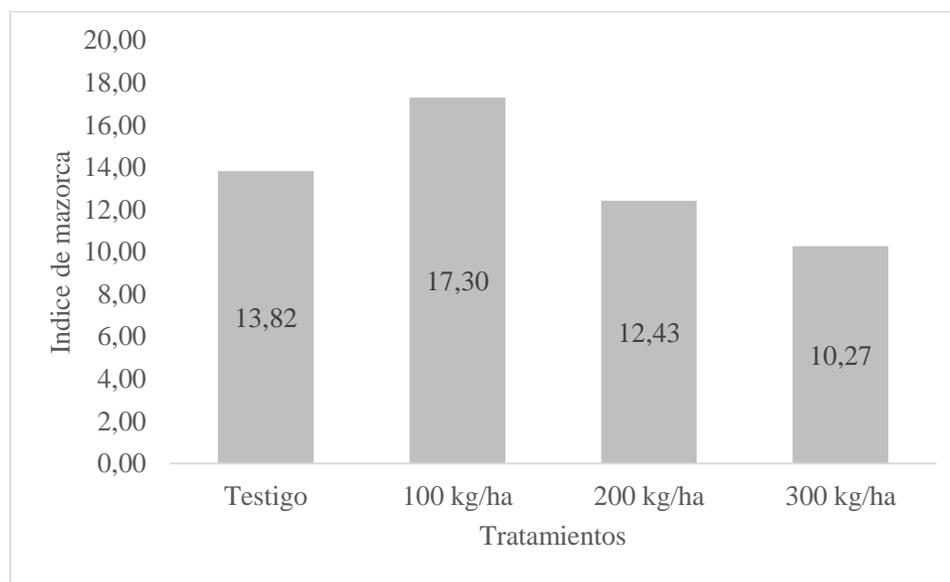


Figura 19. Índice de mazorca para los diferentes tratamientos.

El proceso de obtención del índice de mazorca se realizó, tomando el valor del peso seco de un mazorca por tratamiento, y analizar cuantas mazorcas se necesitan para completar un kilogramo de almendras secas, como se observa en la figura 19 el tratamiento que menos mazorcas necesita para completar un kilogramos de es el T3 (300 Kg/ha Silmag) con un índice de mazorca de 10,27, por el contrario el tratamiento que más mazorcas necesita para completar un kilogramo fue el T1 (100 Kg/ha Silmag), los otros tratamientos se mantienen bajos.

4.9.COSTO – BENEFICIO

En el cuadro 22 se presenta el análisis costo – beneficio para cada tratamiento.

Cuadro 22. Análisis costo – beneficio, analizando los costos de producción versus la producción de cacao.

	Tratamientos			
	T0 (Testigo)	T1 (100 Kg/ha Silamag 45)	T2 (200 Kg/ha Silamag 45)	T3 (300 Kg/ha Silamag 45)
Dosis de Silicio	0 Kg/ha			
Costos de recursos humanos (\$)	58,5	58,5	58,5	58,5
Costos de recursos físicos (\$)	31,8	31,8	31,8	31,8
Costo de imprevistos (\$)	15	15	15	15
Costo del Silmag 40 (\$)	0	2,5	5,02	7,52
Total de costos por tratamiento (\$)	105,3	107,8	110,32	112,82
Total de cosecha en libras	425,25	504,00	503,10	717,75
Venta (\$)	106,31	126,00	125,78	179,44
Beneficio (\$)	1,01	18,20	15,46	66,62

De acuerdo con el cuadro 22, en todos los tratamientos se generaron beneficios positivos. Sin embargo el T3 dio mayor aporte a que se obtenga más utilidad (\$66,62) por cada tratamiento que constaba de 45 plantas de cacao. Matemáticamente se representa la utilidad de acuerdo con la siguiente función.: utilidad es igual a ingreso total menos costo total; es decir Utilidad = 179,44 – 112,82 = 66,62.

A continuación se presentan los datos para la proyección a ha de cacao con el mejor tratamiento (T3). Tomando os valores obtenidos de producción de almendras.

Costo total= 112,82 USD

Ingreso total= 179,44 USD

Para la proyección se considera el precio del quintal de cacao en baba en la zona de estudio que es \$25/qq al momento de la investigación.

El cuadro 23 se presenta el análisis costo – beneficio para el mejor tratamiento (T3) con proyección a hectárea de cultivo de cacao CCN51.

Cuadro 23. Proyección para producir una hectárea de almendras de cacao CCN51, utilizando 300 Kg/ha de Silmag

Proyección a 1 Ha	T3
Costos de mantenimiento por Ha en mano de obra	\$ 928,20
Costos de insumos	\$ 254,48
Costo de imprevistos	\$ 77,00
Costo del Silmag 40	\$ 119,32
Total de costos por tratamiento	\$ 1.379,00
Total de cosecha	lbs 11388,3
Venta	\$ 2.847,11
Beneficio	\$ 1.468,11

Se observa en el cuadro 23 que con la aplicación de 300 Kg/ha de Silmag 40/Ha, se obtenemos una rentabilidad de \$1 468,11/anales.

V. DISCUSION

En esta investigación se analizó la capacidad del silicio para mejorar la sanidad y productividad del cultivo de cacao CCN-51 en Santo Domingo de los Tsáchilas. Teniendo como variables el número de mazorcas, número de cheleros, número de cherelle wilt y productividad en kilos/ha. Determinándose que el silicio mejora la producción, y está inmerso en la mayor parte de los procesos de la planta, y mejora la resistencia de la planta.

En el cuadro 5, se presenta la comparación entre la línea base del cultivo versus T2 y T3; el contenido inicial del silicio fue de 10,5 mg/Kg, al aplicar silicio edáfico (Silmag 40); para el T2 (200 Kg/ha Silmag) se obtiene un aumento en 0,9 mg/Kg, mientras el T3 (300 Kg/ha Silmag) disminuye 4,1 mg/Kg el valor del silicio en el suelo, según estos resultados el T2 aumentó la disponibilidad del silicio en la solución del suelo; según Caicedo & Chavarriaga (2008), la solubilidad del silicio aumenta con el tiempo cuando el suelo se riega, y cuando la materia orgánica es alta, la disponibilidad del silicio es mayor. En T3, Management (2010) manifiesta que la disponibilidad y cantidad de este compuesto está influenciada por otras partes de la composición del suelo, incluyendo el pH, la presencia de arcilla, materia orgánica y hierro (Fe) u óxidos / hidróxidos de aluminio (Al).

Para los elementos N, P, Mg y Ca, el cuadro 5 nos indica que a comparación con el análisis inicial, estos elementos están en mayor cantidad en los T2 y T3, en el caso del nitrógeno, Sephu (2009) habla que el Ácido Monosilícico actúa como regulador de la absorción del nitrato por la planta, por lo que, si un suelo es bajo en nitratos, la aplicación de Silicio aumenta la concentración del nitrato en el suelo y por ende en la planta. Para el fósforo Quero (2008) dice que la

fertilización con minerales ricos en 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, además la fertilización con Silicio puede aumentar la absorción de fósforo en suelos arenosos ya que no sólo fijan el fósforo, sino que lo desbloquea y lo ponen en formas disponibles para poder ser asimilado por las plantas, esto de acuerdo a la investigación de Sephu (2009).

Según Quero (2008), los beneficios de la mayor concentración de silicio en el suelo y suministro al suelo de minerales ricos en silicio a través de los procesos de fertilización, permiten una solución económica y rentable para la producción agrícola, es decir aunque el silicio sea absorbido por las raíces junto con el agua de la solución del suelo y fácilmente trasladado en el xilema, se indica que cuanto mayor cantidad de silicio soluble activo este presente, mejores serán los beneficios para el suelo y para la planta, según Brady, (1992) citado por Caicedo & Chavarriaga en el 2008.

Analizando las figuras 12, 13 y 14, correspondiente a los meses de producción, se ve una diferencia marcada para los tratamientos, en los tres meses de cosecha se vio al T3 como mejor en producción en libras por mazorca en un rango de 0.55 a 0.63 libras de almendras pesadas en baba, los otros tratamientos con valores inferiores a este rango, Costa (2018) dice que mediante el desarrollo de un experimento que mostró los beneficios de la aplicación de silicio en el cultivo de la papa, en la forma de abono, incorporando el elemento al suelo. Obtuvieron un aumento de la producción total de tubérculos del 14,3% y de la producción de tubérculos comercializables en 15,8%. 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. Entonces de acuerdo a la aplicación de silicio

edáfico se tiene una mejora en la producción de almendras para el mes de febrero tuvo una diferencia de producción con el testigo de 26,75 libras más, lo que significa que con la aplicación de 300 Kg/ha de Silmag se aumentó 87,23% de la capacidad productiva del cultivo, para el mes de abril tuvo una diferencia de producción con el testigo de 2,49 libras, lo que significa que con la aplicación de 300 Kg/ha de Silmag se aumentó 25,61% de la capacidad productiva del cultivo de cacao CCN-51 en Santo Domingo de los Tsáchilas.

Comparando las figuras 18 y 19 correspondientes a los meses de abril y julio, se nota diferencias en producción para los T0 y T2 ya que tienden a mejorar la producción con la disminución de la precipitación de 529 mm a 19,4 mm, a todo esto se le adjudica lo que dice Costa (2018) que la disponibilidad del agua en el suelo es uno de los factores ambientales que más afectan el desarrollo del cultivo. “La presencia de mayor cantidad de silicio disponible en el suelo parece traer beneficios al cultivo en relación al déficit hídrico”, dice Costa. La acumulación de sílice en la pared celular reduce la pérdida de agua por transpiración, pudiendo ser un factor de adaptación al estrés hídrico. En la figura 17 correspondiente al mes de febrero se observa la mayor cantidad de producción obtenida, en comparación con los otros meses.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Las fertilizaciones con silicio no son comunes en nuestro medio, otros países ya lo han implementado con resultados en el incremento de la producción y sanidad de la planta.

El silicio es asimilado por la planta como ácido monosilícico y se transporta por el xilema, llega como gel de sílice, acumulándose en las paredes celulares para formar fitolitos, estos son parte de una barrera protectora.

El T3 (300 Kg/ha Silmag) tuvo un mayor consumo de Si de la solución del suelo, ya que comparando con el análisis inicial, este se redujo en 4,1 mg/Kg.

Las aplicaciones de silicio edáfico variaron las cantidades de N, P, Mg y Ca, en la solución del suelo, aumentando su disponibilidad, el K aumento el consumo de la solución del suelo.

Para las variables chereles y mazorcas sanas, no influyo la aplicación de silicio, la primera evaluación en la variable formación de chereles, si tuvo diferencia estadística para la fuente de variación tratamiento (dosis de Si).

En la variable cherelle wilt en las dos primeras evaluaciones hubo diferencia estadística, analizando con Duncan al 5% el T2 y T3 (200 y 300 Kg/ha de Silmag), tuvieron menor afección de chereles.

La aplicación de 300 Kg/ha de Silmag, mejoró la producción de almendras de cacao CCN-51 en la parroquia Luz de América - Santo Domingo de los Tsáchilas.

El análisis costo beneficio indica al T3 (300 Kg/ha SILMAG 40) como el más de los tratamientos.

6.2.RECOMENDACIONES

- Para incrementar la producción y la sanidad de la planta de cacao CCN-51 se recomienda aplicar 300 Kg /ha de Silmag 40 en la zona de goteo de la planta.
- Mantener la plantación sana y libre de organismos patógenos, retirando las mazorcas enfermas de la plantación y aplicando las labores culturales que necesita la planta.
- Para maximizar el beneficio financiero aplicar 300 Kg/ha de Silmag, su utilidad se incrementa en 366,04% con respecto al resto de tratamientos evaluados.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Anecacao. (2010). *asociacion nacional de esportadores de cacao*. Obtenido de <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/historia-del-cacao.html>
- Arciniegas, A. (2005). Caracterización de árboles superiores de cacao por el programa de mejoramiento genético del CATIE. Costa Rica: Turrialba.
- Banco Central del Ecuador. (2013). *Programa de encuestas de coyuntura, sector agropecuario*. Publicaciones económicas.
- Caicedo, L. M., & Chavarriaga, W. (2008). *Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almacigo de café variedad Colombia*. Caldas: Universidad de Caldas.
- Calvo, G., & Siman, J. (1993). *uso de presupuestos parciales de beneficio neto en la evaluación financiera de tecnología de manejo integrado de plagas*. Costa Rica.
- 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.
- CORPEI. (2008). *Seminario nacional sobre avances tecnológicos, agroindustriales y comerciales del cacao fino y aroma*. Manta, Ecuador.
- Corrales, E. (2010). *Sostenibilidad agropecuaria y sistemas de producción campesinos*. Cali, Colombia.
- Costa, C. (2007). Silicio en la agricultura. *Pesquisa*.
- Epstein, E., & Sebastian, D. (2005). *Redagricola*. Obtenido de odas las plantas cultivadas sobre suelo van a contener Si en sus tejidos, y se ha demostrado que 44 clados de angiospermas (que representan más de 100 órdenes o familias) también contienen silicio en sus tejidos. Para determinar si las plantas acumulaban
- FERMAGRI. (2015). *fermagri*. Obtenido de <http://www.fermagri.com/silmag---silicio-granular.html>
- Finck, A. (1988). *Fertilizantes y fertilización*. Barcelona: Reverté.
- GADPSDT. (2015). *Plan provincial de desarrollo y ordenamiento territorial*. Santo Domingo de los Tsachilas.
- Guzmán, E. (1997). Evaluación agronomica de 22 clones de cacao en la estación experimental el Recreo. Nicaragua.
- Inamhi. (2014). *Anuario Meteorológico*. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202011.pdf>
- Jácome, M. (2010). *Incidencia de la aplicación de tecnología de secado en el mejoramiento del valor agregado del cacao (Theobroma cacao) variedad CCN-51*. Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia de Ingeniería en Alimentos y Bioquímica. Carrera: Ingeniería en Alimentos, Ambato.

- Management, F. (2010). *SMART*. Obtenido de SMART: <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/silica>
- Pro-Ecuador. (2013). *Análisis del sector cacao y elaborados*. Dirección de inteligencia comercial e inversiones.
- Puerto Ila. (2017). Estacion meteorologica Puerto Ila. (J. Sornoza, Entrevistador)
- Quero, E. (2008). *Silicio en la produccion de chile*. Obtenido de [//loquequero.com/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=2](http://loquequero.com/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=2)
- Raya Pérez, D. C., & Aguirre Mancilla, D. (Junio de 2012). *El papel del silicio en el organismo y Ecosistemas*. DEPI-ITR. Obtenido de [:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-EIPapelDelSilicioEnLosOrganismosYEcosistemas-3985098.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-EIPapelDelSilicioEnLosOrganismosYEcosistemas-3985098.pdf)
- Sephu. (2009). *productos humicos*. Obtenido de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/028--15.05.09---El-Silicio-como-fertilizante-y-fungicida.pdf