

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Escuela Profesional de Agronomía



**FUENTES Y NIVELES DE SILICIO EN EL INCREMENTO
DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE CACAO
(*Theobroma cacao* L.) Y REDUCCIÓN DE LA INCIDENCIA
DE MONILIASIS (*Moniliophthora roreri* Cif y Par)**

TESIS

Para optar al título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO
JEAN CARLOS, ARIZA MIRAVAL**

Tingo María – Perú

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Carretera Central Km 1.21 Telf. (062) 562341 (062) 561136 Fax. (062) 561156 E.mail: fagro@unas.edu.pe.

"Año del dialogo y la Reconciliación Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

N° 011-2018-FA-UNAS

BACHILLER : ARIZA MIRAVAL, Jean Carlos

TÍTULO : "FUENTES Y NIVELES DE SILICIO EN EL CULTIVO DE CACAO
(*Theobroma cacao* L.)".

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano
VOCAL : Dr. Hugo Alfredo Huamani Yupanqui
VOCAL : Ing. Jaime Joseph Chávez Matías

ASESOR : Ing. Elvis Ottos Diaz

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 10 de mayo de 2018

HORA DE SUSTENTACIÓN : 05: 00 p.m.

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA DE AUDIOVISUALES DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA

CALIFICATIVO : MUY BUENO

RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 20 DE ABRIL DE 2018.

Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano
PRESIDENTE

Ing. Jaime Joseph Chávez Matías
VOCAL



Dr. Hugo Alfredo Huamani Yupanqui
VOCAL

Ing. Elvis Ottos Diaz
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios:

Divino creador de todo lo que existe, por guiarme y darme fuerzas necesarias en los momentos más difíciles para poder conseguir uno de mis mayores anhelos

A mis queridos padres:

Basilio ARIZA ESPINOZA y Luisa MIRAVAL ALVAREZ; seres a quien debo la vida, por sus sabios consejos y confianza plena en creer en mí, que con gran sacrificio me educaron y me entregaron más de lo que ellos poseen. Gracias; todo lo que soy, se los debo infinitamente a ustedes.

A mi hermano:

Seráfico Zenón ESPINOZA MIRAVAL y Miralda ESPINOZA MIRAVAL, por su invaluable apoyo, demostrándome que no se dan por rendidos a pesar de los problemas que se enfrenta en la vida, por ser mi espada y mi escudo para seguir luchando.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a todo el personal, docentes de la Facultad de Agronomía que contribuyeron en mi formación profesional; por su apoyo en especial al Blgo. M.Sc. Miguel Ángel, HUAUYA ROJAS (Q.E.P.D) y confianza por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos, que ayudan a formarte como persona e investigador.
- A los miembros del jurado de tesis: Dr. José Wilfredo ZAVALA SOLÓRZANO, Dr. Hugo Alfredo HUAMANI YUPANQUI y el Ing. Jaime CHÁVEZ MATÍAS por sus orientaciones durante la evaluación y redacción de mi tesis.
- Al Ing. M.Sc. Elvis OTTOS DÍAZ asesor de la presente tesis, por su apoyo en el proyecto, ejecución y culminación.
- A mi hermano Seráfico Zenón, ESPINOZA MIRAVAL y a todas aquellas personas que de una u otra forma hayan contribuido en la culminación del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Generalidades del cultivo de cacao	3
2.2. Rendimiento productivo del cacao.....	3
2.3. Moniliasis del cacao	5
2.3.1. Origen y distribución	5
2.3.2. Etiología.....	6
2.3.3. Importancia económica.....	6
2.3.4. Ciclo biológico y epidemiología.....	6
2.3.5. Estrategias para el control de la moniliasis en cacao	9
2.4. Calidad del cacao.....	10
2.5. Silicio en el suelo	13
2.6. Silicio en la planta	16
2.6.1. Mecanismo de función en la planta.....	17
2.6.2. Importancia del silicio en la planta	17
2.6.3. Potencialidades para el crecimiento.....	18
2.6.4. Resistencia al estrés abiótico y biótico.....	20
2.7. Eficiencia económica del silicio	20
2.8. El silicio en el control de enfermedades	20
2.9. Aplicación de silicio en diferentes cultivos	22
2.10. Incremento del rendimiento en cultivos al fertilizar con silicio	23

III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Campo experimental	27
3.1.1. Características físico – químicas del suelo	28
3.2. Componentes en estudio.....	29
3.2.1. Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz	29
3.2.2. Escoria siderúrgica – silicato de calcio.....	30
3.2.3. Silicato de potasio.....	31
3.3. Tratamientos en estudio	31
3.4. Diseño experimental.....	32
3.5. Características del campo experimental.....	34
3.6. Ejecución del experimento	35
3.6.1. Muestreo del suelo.....	35
3.6.2. Muestreo foliar	36
3.6.3. Aplicación de las fuentes y niveles de silicio	36
3.6.4. Cosecha	37
3.7. Características evaluadas	38
3.7.1. Rendimiento.....	38
3.7.2. Incidencia de “moniliasis” (<i>Moniliophthora roreri</i>)	38
3.7.3. Calidad de grano	39
3.7.4. Análisis económico de rentabilidad	39
3.7.5. Efecto del silicio en la disponibilidad del fósforo.....	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Rendimiento de grano seco al aplicar las diferentes fuentes y niveles de silicio	40

4.1.1. Correlación entre la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y el rendimiento.....	43
4.1.2. Correlación entre la escoria siderúrgica-silicato de calcio y el rendimiento	44
4.1.3. Relación entre el silicato de potasio y el rendimiento	46
4.2. Incidencia de “moniliasis” (<i>Moniliophthora roreri</i>)	47
4.2.1 Relación entre la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz e incidencia de moniliasis en cacao ...	50
4.2.2 Relación entre la escoria siderúrgica-silicato de calcio y la incidencia de moniliasis en cacao	51
4.2.3 Relación entre silicato de potasio y la incidencia de moniliasis en cacao.....	53
4.3. Efecto del silicio en la neutralización del aluminio	54
4.4. Efecto del silicio en la disponibilidad de fosforo	56
4.5. Efecto del silicio en la calidad del cacao.....	57
4.6. Análisis de rentabilidad de la aplicación de los tratamientos	65
4.7. Interacción silicio, suelo y planta	67
V. CONCLUSIONES.....	70
VI. RECOMENDACIONES	71
VII. RESUMEN	72
VIII.REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	76
IX. ANEXO.....	89

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Rendimiento promedio de cacao por regiones.....	4
2. Rendimiento promedio de cacao a nivel nacional.	5
3. Análisis inicial y final del suelo luego de la aplicación de silicio	15
4. Análisis foliar inicial de los tratamientos aplicados.....	16
5. Rendimiento del tomate al aplicar silicio liquido Si.....	24
6. Análisis foliar final después de la cosecha.....	25
7. Análisis físico – químico del suelo experimental.	28
8. Composición de la ceniza de arroz.	29
9. Composición química de la escoria siderúrgica – silicato de calcio.....	30
10. Descripción de los tratamientos.....	32
11. Esquema del análisis de variancia.....	33
12. Análisis de varianza, del rendimiento del grano de cacao.....	40
13. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) de rendimiento promedio de grano seco/ha de cacao.	41
14. Análisis de varianza de la incidencia de “moniliasis” en cacao.	47
15. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) de la incidencia de “moniliasis” en cacao.....	48
16. Análisis de varianza (ANVA) de la calidad organoléptica e industrial del cacao.....	58

17. Evaluación de la calidad organoléptica (sabores básicos y específicos) en la pulpa y almendra de cacao al aplicar silicio.	60
18. Análisis de rentabilidad de la aplicación de fuentes y niveles de silicio.	66
19. Evaluación de la extracción de silicio en la producción de cacao	67
20. Evaluación del rendimiento de grano de cacao.....	92
21. Evaluación de la incidencia de moniliasis (<i>Moniliophthora roreri</i>).	93
22. Resultado de análisis de silicio en suelo.....	93
23. Resultado de análisis foliar de silicio.	93
24. Efecto del silicio en la neutralización de aluminio y disponibilidad del fosforo.	94
25. Detalles del costo de producción del experimento	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Fenología del cacao.	3
2. Calidad organoléptica del CCN - 51 de acuerdo a la procedencia.	11
3. Calidad organoléptica del CCN – 51 en Tingo María	12
4. Acumulación de silicio en la epidermis de la planta (BUSTOS, 2017)...	21
5. Efecto de la aplicación de silicio en la producción de cacao.	26
6. Ubicación de la parcela experimental	27
7. Rendimiento del grano de cacao al aplicar diferentes fuentes y niveles de silicio.....	42
8. Relación entre el rendimiento de cacao y tres niveles de silico activo (SiA) en base de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz....	44
9. Relación entre el rendimiento de cacao al aplicar diferentes niveles de escoria siderúrgica - silicato de calcio.....	45
10. Relación entre el rendimiento de cacao al aplicar diferentes niveles de SiA en forma de silicato de potasio.....	46
11. Efecto del de SiA en la incidencia de “moniliasis” en cacao.....	49
12. Relación entre de la incidencia de moniliasis al aplicar SiA en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.....	51
13. Reducción de la incidencia de moniliasis al aplicar silico activo (SiA) en forma de escoria siderúrgica - silicato de calcio.....	52
14. Reducción de la incidencia de moniliasis al aplicar silicato de potasio..	54

15. Efecto de la aplicación de silico activo (SiA) en la saturación de Aluminio del suelo.....	56
16. Efecto de la aplicación de silico activo (SiA) en la disponibilidad del fosforo en el suelo.	57
17. Efecto de la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz en la calidad organoléptica de la pulpa y almendra fresco en cacao	62
18. Efecto de la escoria siderúrgica - silicato de calcio en la calidad organoléptica de la pulpa y almendra fresco en cacao.	63
19. Efecto del silicato de potasio en la calidad organoléptica de la pulpa y almendra fresco en cacao.	64
20. Efecto de las fuentes de silicio aplicado al suelo en la concentración de silicio activo (SiA).	68
21. Efecto de las fuentes de silicio aplicado al suelo en la concentración de silicio en la hoja de cacao.....	69
22. Selección del terreno (Poda), demarcación del terreno	90
23. Preparación de los productos para aplicar.....	90
24. Rendimiento obtenido por efecto de la escoria siderúrgica - SI CA 400 ppm (894 kg/ha) (a), Testigo absoluto (b).	91
25. Rendimiento obtenido por efecto de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz 400 ppm (575 kg/ha) (a), testigo absoluto (b).....	91
26. Incidencia de moniliasis y rendimiento obtenido por los tratamientos: silicato de potasio 400 ppm (3 l/ha) (a), testigo absoluto (b)	92

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú la potencialidad productiva del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) ha venido mermando con el paso del tiempo, debido a diversos factores edafoclimáticas; pero especialmente comprendido al estado nutricional y fitosanitario, los suelos presentan problemas de fertilidad, además tienen bajo contenido de silicio asimilable y alta saturación de aluminio. Según SÁNCHEZ *et al.* (2012) la incidencia de la Monilia (*Moniliophthora roreri*) puede causar pérdidas en la producción hasta el 80 % por lo que es necesario aplicar el silicio ya que reduce la incidencia de las enfermedades. Sin embargo, las investigaciones con respecto a esta problemática, amerita a ser realizadas ya que el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el país ha venido siendo muy valorada a nivel mundial, haciendo importantes exportaciones de este grano a diversas partes del mundo, en especial a Europa y EE.UU, de esta manera aportando a la actividad económica de los pequeños y medianos cacaoteros.

Por otro lado, se sabe que la aplicación de materiales ricos en silicio reducía efectivamente la toxicidad de aluminio en las plantas a través de la reducción del aluminio (MYHR y ESTAD 1996). El aluminio móvil puede absorberse fuertemente en las superficies de sílice (SCHULTHESS y TOKUNAGA, 1996). El silicio mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo y también incrementa la absorción de fósforo en las plantas (MATICHENKOV y BOCHARNIKOVA, 2001), reduce la toxicidad del aluminio (Al) al formar hidroxialuminosilicatos (COCKER *et al.*, 1998). Mejora la absorción de otros nutrientes por la planta y genera un efecto antagónico con los metales

pesados evitando su absorción por las plantas (SINGH *et al.*, 2011; TRIPATHI *et al.*, 2012). En tal sentido la producción se incrementa.

El uso del silicio como fertilizante ha venido siendo en los últimos tiempos una medida eficaz para combatir la parte nutricional y fitosanitaria en diferentes cultivos; obteniendo resultados muy alentadores en cuanto al control de enfermedades fúngicas y al incremento en la producción.

En tal sentido el presente trabajo de investigación, introduce el uso del silicio en el paquete de fertilización convencional del cacao, con fines de obtener beneficios en la productividad y producción de este cultivo que asimismo contribuirá en el manejo integrado del cacao, con los siguientes objetivos.

Objetivo general

1. Determinar la mejor fuente y nivel de silicio en el rendimiento y reducción de la incidencia de moniliasis en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Objetivos específicos

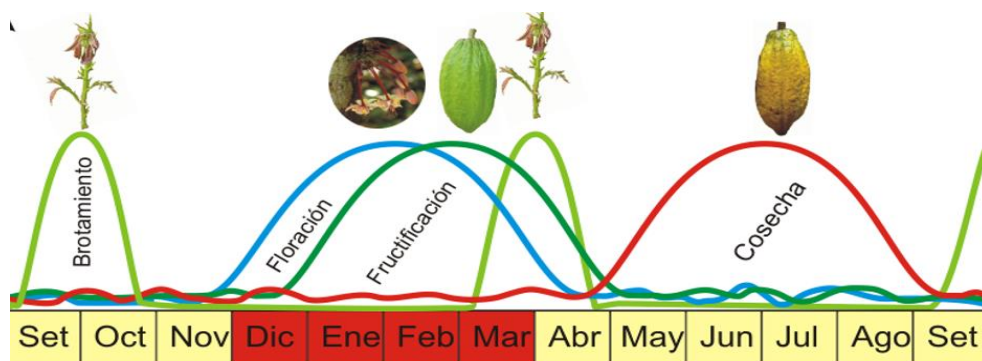
1. Determinar la mejor fuente y nivel de silicio en el incremento del rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.).
2. Evaluar la mejor fuente y nivel de silicio en la reducción de la incidencia de moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif & Par.) en el cacao.
3. Determinar el efecto del silicio en la neutralización del aluminio y la disponibilidad del fósforo en el suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cultivo de cacao

INFOAGRO (2010) menciona que el cacao es una planta originaria de los trópicos húmedos de América. Su centro de origen parece estar situado en el noroeste de América del Sur, en la zona amazónica. Pertenece a la familia de las Malváceas y su nombre botánico es *Theobroma cacao* L.

La época de floración, brotación y cosecha están regulados por el clima, debido a estos factores es importante implementar calendarios agroclimáticos para un óptimo desarrollo del cultivo (CABEZAS, 2013). A continuación, se presenta el ciclo fenológico del cultivo:



Fuente: CABEZAS (2013).

Figura 1. Fenología del cacao.

2.2. Rendimiento productivo del cacao

Según RAE (2017) menciona que el rendimiento de un cultivo es la relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizada. Se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea (t/ha).

La producción de cacao en el país, está tomando importancia económica, debido a una serie de factores en la que se encuentra el precio internacional. Importancia también como en la generación de divisas al país e ingresos monetarios y autoempleo a las familias del sector rural. La producción está a cargo de pequeños productores, cuyas productividades son relativamente bajas, debido a un conjunto de restricciones que se manifiestan en los rendimientos físicos por unidad de superficie. La siguiente tabla muestra los rendimientos productivos de la producción de cacao en el país, con respecto a otras regiones del mundo (LAZO, 2013).

Cuadro 1. Rendimiento promedio de cacao por regiones.

Región Andina		África Occidental		Asia	
Países	t/ha	Países	t/ha	Países	t/ha
Bolivia	0.80	Costa Marfil	0.76	Indonesia	1.2
Colombia	40.00	Ghana	0.40	Malasia	0.9
Ecuador	0.31	Camerún	0.45		
Perú	0.50	Nigeria	0.44		

Fuente: FAO (2008).

No revelan grandes diferencias ya que la producción está a cargo de pequeños productores pobres, como los del África, que son los países de mayor producción a nivel mundial. A nivel nacional, los rendimientos son relativamente bajos, puesto que sin excepción enfrentan un conjunto de restricciones similares en el proceso de producción. Restricciones como ausencia de los servicios de investigación, capacitación, crédito y de asistencia técnica, que deberían estar a cargo del estado; sin embargo, desde la desaparición de esos servicios a fines de la década del 90, son cubiertos parcialmente por entidades que brindan apoyo

a los productores, como cooperativas, ONGs, Universidades, e institutos de la región. En el Cuadro 2 se muestran los rendimientos promedios de los principales departamentos productores del cacao en el Perú correspondientes al año 2005 y 2008 (LAZO, 2013).

Cuadro 2. Rendimiento promedio de cacao a nivel nacional.

Departamento	Kg/ha	
	Año 2005	Año 2006
Cajamarca	643	739
Amazonas	743	711
Huánuco	460	504
Junín	529	579
Ayacucho	688	673
San Martín	701	729
Ucayali	916	1540

Fuente: MINAG y PROAMAZONIA (2008).

2.3. Moniliasis del cacao

ENRÍQUEZ (2004) señala que las enfermedades del cacao causan más pérdidas al agricultor que los insectos, pueden destruir las mazorcas de una huerta de cacao en un momento dado y otras enfermedades pueden destruir o matar las plantas susceptibles. Las enfermedades más importantes del cultivo de cacao son las siguientes: “moniliasis” (*Moniliophthora roreri*), “escoba de bruja” (*Moniliophthora perniciosa*), “mal de machete” (*Ceratocystis fimbriata*), “mazorca negra” (*Phytophthora palmivora*).

2.3.1. Origen y distribución

Inicialmente se consideró a Ecuador como el probable centro de origen de la moniliasis del cacao. Sin embargo, PHILLIPS - MORA (2003) menciona que, mediante estudios de genética poblacional, usando marcadores

moleculares, demostraron que la región geográfica del noreste de Colombia contiene la mayor diversidad genética que supera a la encontrada en Ecuador, por lo que ubica a esta área como el centro de origen más probable.

2.3.2. Etiología

La moniliasis causada por *Moniliophthora roreri* (Cif. y Par.) Evans, este hongo pertenece a la clase Basidiomycetes, orden Agaricales y familia Tricholomataceae (AIME y PHILLIPS- MORA, 2005; AGRIOS, 2005).

2.3.3. Importancia económica

La pérdida que puede ocasionar la moniliasis es muy variable, dependen principalmente de las condiciones climáticas y del manejo de las plantaciones (SANCHEZ, 2011). En los países productores de cacao, ésta enfermedad constituye uno de los principales factores limitantes de producción porque afecta principalmente mazorcas; en una plantación de cacao sin manejo, la moniliasis puede destruir los frutos hasta un 95 %, es decir de cada 100 frutos sólo 5 podrían ser aprovechados (FHIA, 2003).

En Ecuador y Colombia la enfermedad ha ocasionado pérdidas en la producción entre 16 - 80 % (NAJAR y THOMAS, 2001) con promedios que fluctúan de 20 a 30 % anual (SÁNCHEZ, 2011).

2.3.4. Ciclo biológico y epidemiología de la moniliasis

El ciclo del patógeno dura entre 50 y 75 días, desde la infección hasta completar la esporulación (HERNÁNDEZ *et al.*, 2001). Las esporas que se

producen sobre las mazorcas enfermas son fácilmente transportadas por el viento, el hombre y otros agentes, hacia las mazorcas sanas donde se reinicia la enfermedad (SUÁREZ y ARÁNZAQU, 2010). Las infecciones son producidas únicamente por conidias, nunca por el micelio (SÁNCHEZ, 2011). El patógeno infecta frutos de cacao en cualquier estado de desarrollo; para la germinación e infección exitosa, las conidias requieren de agua y ambiente saturado mínimo de 5 a 8 horas (BRENES, 2003). La penetración se realiza directamente a través del exocarpo, especialmente por la base de los pelos glandulares ocasionalmente por las estomas, dentro del tejido el hongo crece intercelularmente y emite conidióforos ramificados para su propagación interna, posteriormente emite hifas infectivas para penetrar las células, entre 25 a 30 días después podemos observar la manifestación de síntomas en las mazorcas (RODRÍGUEZ *et al.*, 2005).

El patógeno no requiere de heridas mecánicas o producidas por insectos para penetrar e infectar las mazorcas (SÁNCHEZ, 2011). Recientes estudios han establecido que las esporas que permanecen en frutos momificados pendientes de los árboles, conservan su viabilidad hasta por 8 a 9 meses después, por lo que éstas se consideran como principal fuente de inóculo primario; en cambio, si las mazorcas son desprendidas y colocadas en el suelo la viabilidad disminuye rápidamente desapareciendo en 2 a 3 meses (SÁNCHEZ, 2011).

Un fruto infectado es capaz de producir entre 6 a 7 billones de conidias durante 20 períodos de esporulación en 80 días. Entre los factores que

favorecen el desarrollo de *M. royeri* se encuentran: temperatura, comprendida entre 25 y 30 °C y la humedad relativa mayor a 80 %; estos factores determinan altas tasas de infección con carácter de epidemia durante las fases de floración y fructificación del árbol (EVANS, 2004).

La incidencia y severidad de la enfermedad dependen principalmente de las condiciones ambientales (temperatura y humedad) así como del manejo de la plantación y susceptibilidad del huésped (SÁNCHEZ, 2002).

Aunque no se ha determinado experimentalmente el papel exacto que juega la lluvia, la humedad relativa y la temperatura en el desarrollo de la enfermedad, se ha observado que las lluvias intensas y frecuentes, una humedad relativamente alta y un ambiente húmedo de la plantación, proporcionado por exceso de sombra y poca aireación, favorecen la frecuencia e intensidad del ataque (SÁNCHEZ, 2011).

Los síntomas de la moniliasis, aparentemente sólo se presenta en frutos, pero a nivel de laboratorio se ha logrado infectar semillas y plántulas (EVANS, 2004). Los frutos pueden ser infectados en cualquier estado de desarrollo, siendo los de mayor susceptibilidad frutos menores de 3 meses de formación; los síntomas varían de acuerdo a la edad de la mazorca y al genotipo. El síntoma inicial de la enfermedad es la deformación de frutos jóvenes que se da 30 días después de la infección. Luego se puede observar la aparición de pequeños puntos aceitosos que después forman una mancha de color marrón

típica de la enfermedad después de 15 a 20 días; sobre la mancha marrón, se forma de 4 a 8 días después una capa de micelio blanquecino que cubre gradualmente a todo el fruto, 3 a 4 días después se llena de esporas secas del hongo, tomando una coloración cremosa. En este estado las esporas se desprenden fácilmente y pueden ser dispersados por el viento, insectos, animales y el hombre, principalmente. Si el fruto afectado no es removido en las semanas siguientes pierde agua y se momifica; cuando los frutos son afectados cerca de la madurez las lesiones son restringidas en tamaño. Los síntomas internos de frutos infectados manifiestan una pudrición acuosa y el peso es mayor al de los frutos sanos. En frutos afectados secos se puede observar esporulación interna (ARÉVALO *et al.*, 2004; RODRÍGUEZ *et al.*, 2005).

2.3.5. Estrategias para el control de la moniliasis en cacao

El manejo de la moniliasis del cacao ha recibido importancia considerable (SÁNCHEZ, 2011). El enfoque actual de manejo de la moniliasis es considerado en forma integral, a través del manejo integrado de plagas (MIP) mediante el empleo de medidas culturales, control químico, resistencia genética y control biológico para reducir la incidencia de plagas y enfermedades del cultivo, considerando las condiciones de clima, microclima, fenología del cultivo y epidemiología de las enfermedades en la región. Estas prácticas deben ser efectuadas de acuerdo a un calendario de manejo integrado ajustada de acuerdo a cada zona de producción, con lo que se espera incrementar la productividad a niveles entre 700 y 1 000 kg/ha, dependiendo de la densidad y manejo (ARÉVALO *et al.*, 2004).

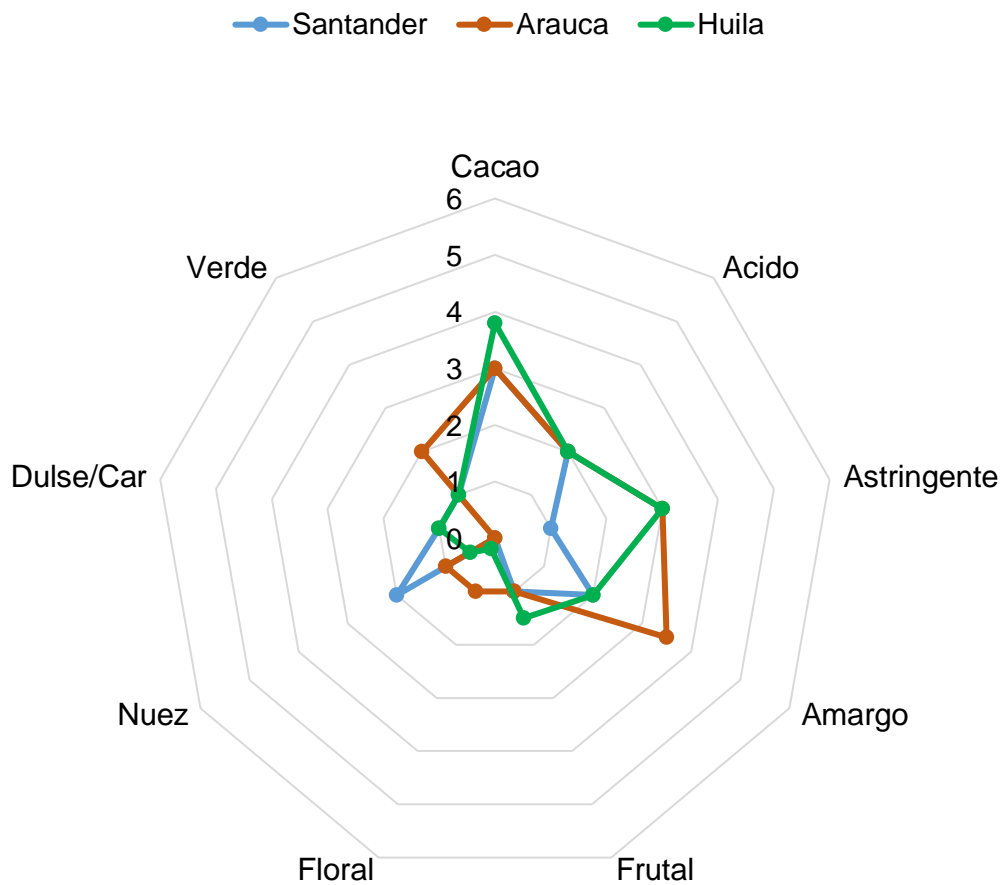
2.4. Calidad del cacao

Para conocer la aceptación del consumidor se deben realizar ensayos que permiten la medición, el análisis y el reconocimiento de las reacciones características de los alimentos; percibidos por la vista, el olfato y el gusto. En la elaboración de chocolates finos, el amargor y astringencia bajos son dos características organolépticas fundamentales para la valoración del cacao de exportación y para el fabricante se constituye en la prueba más confiable para saber si puede utilizar un cacao determinado para elaborar sus productos (BAÑOS, 2010).

La catación es una labor que practican personas que tienen la capacidad de grabar en su mente las características de los alimentos que prueban y que deben saber identificarlo según su olor, textura y sabor para evaluar una muestra y reconocer un producto de calidad. A través de este proceso, el catador identifica con precisión un sabor a nuez, sabor a caramelo y el amargor que puede tener un licor de cacao. Todo ello se logra al seguir procedimientos establecidos para la identificación (LOAYZA, 2014).

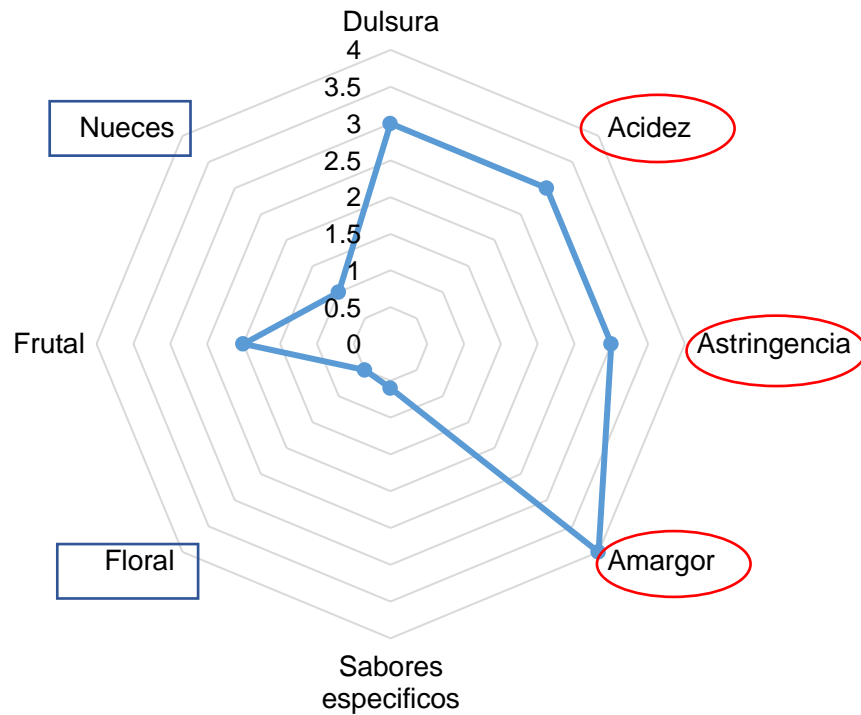
La calidad de grano de cacao se clasifica en dos categorías: Cacao corriente o "Bulk" y cacao fino de aroma o "Flavor". En el mundo se producen aproximadamente 4 millones de toneladas de cacao por año, de las cuales sólo el 5% es catalogado como cacao fino, siendo América Latina y el Caribe la región que aporta el 80% de este tipo de cacao (AFOAKWA *et al.*, 2008). En un estudio

realizado en Colombia sobre la evaluación de los componentes físicos, químicos, organolépticos y del rendimiento de los clones universales de cacao se encontró que la calidad de cacao puede verse influenciada por las condiciones edafoclimáticas de la zona y que la evaluación sensorial de del CCN – 51 de distintas procedencias son diferentes (MENEZES *et al.*, 2016)



Fuente: MENEZES (2016).

Figura 2. Calidad organoléptica del CCN - 51 de acuerdo a la procedencia.



Fuente: GARCIA (2012).

Figura 3. Calidad organoléptica del CCN – 51 en Tingo María

Algunos caracteres genéticos favorecen un buen nivel de sabor a cacao como en la variedad CCN-51. Asimismo, LIENDO (2003) indica que la genética del grupo de los cacaos Criollos tiende a producir un bajo sabor a cacao, pero favorece un alto nivel de notas de sabor a nuez.

VASCO (2007) realizó la comparación de diferentes clones y variedades mediante la catación organoléptica, en el cual menciona que el CCN – 51, tiene las siguientes características en sabores básicos como: amargor (3.67), astringencia (3.58), acidez (4.14) y dulce (0.00), como también para sabores específicos como: floral (0.44), frutal (2.19), cacao (3.89) y nuez (0.33), siendo la calificación de bueno al combinar estos diferentes parámetros de calidad, No obstante, ACEBO *et al.* (2016) indica que las características del “CCN-51” (como

su acidez y astringencia) hacen que sea considerado como de menor calidad y siendo corriente en el ámbito de mercado internacional.

Según la evaluación organoléptica realizada en los trabajos de BOZA *et al.* (2014) y MENEZES *et al.* (2016), el clon CCN 51 exhibe una cantidad moderada de sabor a cacao y altos niveles de amargo y astringente, consistentes con el perfil encontrado en las tres localidades, siendo este clon poco apreciado por chocolateros que utilizan cacao fino.

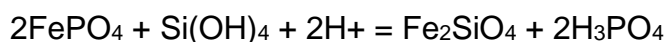
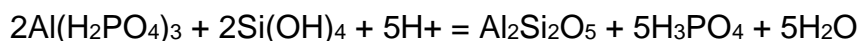
2.5. Silicio en el suelo

El silicio de los suelos aparece en la arena, minerales como silicatos, en otros compuestos o en el ácido Silicio (SiA) líquido. La única forma como los organismos vivos asimilan el Si es cuando está presente como silicio activo (SiA). El Si asimilable por las plantas se conoce como 'activo', 'bio-activo', 'reactivo', 'soluble', o 'líquido'. El SiA está presente en forma natural en los niveles de aproximadamente 50 – 400 ppm. Pequeñas cantidades usualmente están presentes en el agua de superficie (estas son removidas al tratar y filtrar el agua) y en los desechos de plantas cuya descomposición se extiende en el suelo. La formación de Aluminio-silicatos en particular (los principales componentes de la arcilla) mejora el agua, el aire, el intercambio de iones y la capacidad de amortiguamiento (función buffer) del suelo. En los suelos, el SiA se libera lentamente en pequeñas cantidades a través de la acidificación de los silicatos por medio del ácido carbónico producido por la respiración de los microorganismos del suelo y las larvas, también se acidifican los silicatos con los

ácidos orgánicos débiles y enzimas producidos por las raíces de las plantas y los microorganismos (BERGHE, 2003).

El efecto de alivio fue más evidente con el aumento de la concentración de Si se encontró que la concentración de Al^{+3} tóxico disminuía mediante la adición de ácido silícico. Estos resultados sugieren que la interacción entre Si y Al ocurre en la solución, presumiblemente por la formación de complejos de Al-Si, una forma no tóxica. Sin embargo, también se han propuesto otros mecanismos para el efecto de alivio del Si, incluida la codeposición de Al con Si dentro de la planta, la acción en el citoplasma, el efecto sobre la actividad enzimática y los efectos indirectos (COCKER *et al.*, 2008).

El mecanismo principal del efecto del silicio en la toxicidad del aluminio está probablemente conectado con la formación de complejos silicatos hidroaluminosos no tóxicos (SNYDER *et al.*, 2006) en el cual el anión del ácido monosilícico $[Si(OH)_3]^-$ puede reemplazar el anión fosfato $[HPO_4]^{-2}$ del calcio, magnesio, aluminio y fosfatos de hierro (MATICHENKOV *et al.*, 2001), como se describe a continuación:



Estas reacciones son seguidas por la desabsorción del anión-fosfato, que lleva al incremento de fósforo en la solución del suelo y mejora la nutrición de P en la planta por la aplicación de fertilizantes de Si, que asimismo puede actuar con otros elementos como adsorción físicamente P, N o K móviles y mantenerlos en una forma disponible para la planta (MATICHENKOV *et al.*, 2001).

Se conocen cinco posibles mecanismos que reducen la toxicidad del Aluminio (Al) mediante la aplicación de compuestos ricos en silicio; como son la formación de ácidos ortosilícicos, ácidos metasilícicos, los coloides, los polímeros de silicio y mediante los complejos aluminio-silicatos. A diferencia del encalado que tiene un solo mecanismo. El efecto negativo de la aplicación de encalado y de dolomita, radica en la fijación del fósforo, debido a que lo transforman en una forma no asimilable para la planta. Por este motivo, mediante la utilización de materiales ricos en silicio para reducir el efecto tóxico del aluminio y la optimización del pH, se mejoran también la disponibilidad y nutrición con Fósforo, Potasio, Zinc y hierro, ya que el silicio activa el intercambio catiónico y la movilización de los nutrientes (QUERO, 2006). En un estudio realizado en Ecuador por AGUILERA (2017), sobre la aplicación de silicio.

Cuadro 3. Análisis inicial y final del suelo luego de la aplicación de silicio

Elemento	Unidad	Análisis inicial	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Nitrógeno total (N)	ppm	19.80	14.10	12.00	18.10	11.50
Fosforo (P)	ppm	7.80	7.40	6.70	6.20	5.80
Potasio (K)	ppm	49.50	83.00	39.00	55.50	87.50
Magnesio (Mg)	ppm	49.70	58.50	60.50	58.00	68.50
Calcio (Ca)	ppm	200.00	275.00	262.00	237.00	237.00
Hierro (Fe)	ppm	52.20	83.50	94.00	112.00	107.00
Manganeso (Mn)	ppm	4.80	7.50	8.40	8.80	7.10
Zinc (Zn)	ppm	2.20	4.70	2.90	4.50	3.90
Boro (B)	ppm	0.20	0.25	0.17	0.32	0.18
Silicio (Si) – Agua	ppm	11.90	10.50	11.00	13.20	12.30
Cloruro (Cl)	ppm	6.50	11.20	3.80	20.00	13.40
pH (en KCl)		5.40	5.40	5.30	5.10	5.30

Fuente: AGUILERA (2017).

2.6. Silicio en la planta

El silicio es una parte integral de las plantas, la distribución del silicio entre los órganos de la planta no es igual y puede variar desde el 0.001% en la pulpa del fruto hasta el 15 – 100 % en el tejido epidérmico. Las plantas tienen un mecanismo especial para la captación selectiva de ácido monosilícico de la solución del suelo (MA y TAKAHASHI, 2002).

Los tejidos vegetales están caracterizados por una concentración extremadamente alta de ácido mono y poli silícico en la savia y tiene la posibilidad de una rápida redistribución de este elemento. El silicio proporciona funciones de protección en las plantas a niveles mecánicos, fisiológicos, químicos y bioquímicos (BIEL y MATICHENKOV, 2008).

Cuadro 4. Análisis foliar inicial de los tratamientos aplicados.

10	Unidad	Análisis inicial	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Nitrógeno total (N)	%	2.00	1.94	2.06	2.01	2.06	1.98
Fosforo (P)	%	0.15	0.16	0.17	0.11	0.11	0.12
Potasio (K)	%	1.66	0.97	1.19	0.55	0.70	0.82
Magnesio (Mg)	%	0.47	0.53	0.50	0.46	0.50	0.52
Calcio (Ca)	%	1.43	1.91	1.60	2.50	2.58	2.52
Azufre (S)	%	0.19	0.19	0.18	0.14	0.18	0.18
Sodio (Na)	%	0.04	0.04	0.07	0.03	0.04	0.04
Hierro (Fe)	ppm	140.00	120.00	135.00	110.00	120.00	125.00
Manganeso (Mn)	ppm	70.00	108.00	75.60	144.00	123.00	97.20
Cobre (Cu)	ppm	6.70	7.40	12.30	4.90	5.60	5.00
Zinc (Zn)	ppm	149.00	61.60	48.60	31.40	47.20	53.80
Boro (B)	ppm	48.00	51.40	53.40	60.80	53.80	56.00
Silicio	ppm	136.00	1200.00	1100.00	1100.00	1300.0	1600.0

Fuente: BUSTOS (2017).

Con los resultados del Cuadro 4 se indica el porcentaje de Silicio (Si) en materia de base seca para hojas de cacao los valores de 1200 ppm en (T₀), 1100 ppm para (T₁) y (T₂), 1300 ppm en (T₃) y 1600 ppm en (T₄).

2.6.1. Mecanismo de función en la planta

La acumulación de Silicio (Si) en el tejido epidérmico crea una protección mecánica del vegetal. Las moléculas absorbidas de ácido monosilícico son acumuladas en los tejidos epidérmicos y forman la cubierta de sílice-celulosa donde el silicio está ligado con pectina y calcio. Como resultado, se forma la doble capa cuticular que protege y refuerza mecánicamente los vegetales sea cacao, café, plátano, y otros cultivos perenes, ejerce únicamente la protección mecánica de las plantas contra tensiones bióticas (ataques de hongos e insectos) y abióticas (fijación de siembra), son probablemente los más investigados y populares para la explicación del efecto directo del fertilizante de Si en la resistencia del vegetal (MA *et al.*, 2006).

2.6.2. Importancia del silicio en la planta

La fase vegetativa tiene muchos beneficios en la planta al aplicar silicio, según BERGHE (2003), indica que estos son los principales:

- A. Más crecimiento y desarrollo natural, plantas más fuertes y compactas.
- B. Hojas más fuertes, mejor fotosíntesis.
- C. Mejor tolerancia a los niveles de baja luz, estrés hídrico y de temperatura.
- D. Resistencia mejorada a las enfermedades, los insectos dañinos y herbívoros.
- E. Mayor tolerancia a los metales pesados (y condiciones salinas del suelo).

- F. Curación más rápida de cortes (ejm. al tomar esquejes).
- G. Éxito en los injertos (ejm. en árboles frutales).
- H. Productividad y calidad mejoradas.
- I. Medioambiente más limpio, reducción en el uso de químicos, menos lixiviación de agroquímicos.

Post cosecha

- A. Alimentos más sanos con menos residuos químicos.
- B. Más azúcares, almidones, vitaminas, etc.
- C. Cortezas más fuertes y duras en las frutas; mejor comportamiento en el almacenamiento y transporte.
- D. Células más fuertes y quebradizas facilitan la extracción de los jugos.
- E. Aumento del peso total de la producción (productividad).
- F. Más uniformidad y mejores estándares en tamaño y peso.
- G. Mejor sabor y tiempo de durabilidad antes de la venta.

Es precisamente en esta área donde el comercio y la industria de procesamiento pueden esperar ventajas comerciales del uso de Si durante el cultivo. Inclusive, en los cultivos en que todavía no se ha mostrado alguna ventaja causada por Si durante el cultivo, les puede resultar una calidad mejorada de pos cosecha (BERGHE, 2003).

2.6.3. Potencialidades para el crecimiento

Con la ausencia del adecuado SiA en el suelo, las plantas no son capaces de desarrollar completamente su potencial de crecimiento y producción, parece que las habilidades de acumular Si en las plantas se han mantenido

durante la evolución como beneficiosas para sobrevivir, protege los tejidos reproductivos, fortaleza las estructuras y proporciona los mecanismos naturales de defensa contra el ataque de enfermedades, insectos y herbívoras. Se conoce bien la importancia del calcio (Ca) para el crecimiento y desarrollo de las plantas, pero se necesita cierto nivel (aproximadamente 30 – 300 ppm) de SiA en el suelo para que el Ca se torne disponible para las plantas. Además, un sistema vascular silificada favorece la transpiración; el agua, Ca (y otros minerales) se distribuyen en las áreas de la planta que estén perdiendo más agua (BERGHE, 2003).

El crecimiento y desarrollo de las plantas se fomentan claramente por medio del Si, con el suministro adecuado de SiA, muy probablemente se consiguen ventajas comerciales en la reproducción de plantas por estaca como es el caso de los esquejes e injertos y más allá si se aplica SiA en las siguientes etapas. El SiA desempeña un rol importante en la regulación de la captación y balance de minerales en las plantas.

Los depósitos del gel de sílice y los complejos de silicio refuerzan las células/cutículas de la epidermis de la hoja, partes de la flor y el cuerpo de las frutas, incrementan la resistencia mecánica y reducen la permeabilidad. La corteza de la fruta tiende a ser más gruesa, pierde la humedad más lentamente, resistiendo mejor el daño mecánico y la infección. Los depósitos de silicio en las raíces conceden mayor elasticidad y resistencia a la sequía. Cuando la fruta empieza a crecer y madurar, incrementa los porcentajes de agua y minerales y el SiA llega desde las hojas vía floema con azúcares producto de la fotosíntesis (BERGHE, 2003).

2.6.4. Resistencia al estrés abiótico y biótico

El gel de sílice y los complejos de Si depositados en la epidermis y cutícula de la hoja también pueden ayudar reducir la pérdida de humedad y puedan afectar los llamados “puntos de goteo de la hoja” en algunas especies. Estos efectos de SiA ayudan a la planta a mantener su balance de agua según el medioambiente cambiante. La epidermis/cutícula más fuerte y más gruesa también otorga a las hojas mayor resistencia a los patógenos micóticos, insectos dañinos, herbívoras, y el estrés abiótico (BERGHE, 2003).

2.7. Eficiencia económica del silicio

Se puede calcular la efectividad del costo de aplicar un fertilizante Silícico, una vez que tiene un buen cálculo del promedio de ingreso bruto extra (por m o Ha) por aumento de producción más ingresos extras por mejor calidad (precios con prima). Agregue el valor obtenido la reducción en la aplicación de fungicidas, insecticidas, y fertilizantes para obtener la ventaja económica bruta total. Reste el costo del producto Si aplicado. Los cálculos de cultivadores incluyen: 1326 dólares/ha/cultivo para zanahoria y 890 dólares/ha/cultivo para calabaza (usando Zeolita y silicato de calcio puro respectivamente). De los dos, solamente la calabaza es acumuladora de Si. Esto significa una gran ventaja económica potencial cuando se multiplica por hasta una pequeña porción del área global de producción (BERGHE, 2003).

2.8. El silicio en el control de enfermedades

La “escoba de bruja” en cacao (*Theobroma cacao* L.) es causada por el basidiomiceto de *Moniliophthora perniciosa*. Esta enfermedad es endémica a los

países productores de cacao de América del Sur y Central. El patógeno infecta tejidos meristemáticos, cojines de flores y vainas en desarrollo. La enfermedad ahora limita la expansión y consolidación del cacao en Brasil. En tal sentido se ha reportado algunos estudios del efecto del silicio en el crecimiento de las plántulas de cacao y en la biología de *M. pernicioso*. La longitud del tubo germinativo de las basidiosporas de *M. pernicioso* se redujo a una dosis de 250 mg/kg de Si, redujo de crecimiento micelial (IGARASHI *et al.*, 1999).

En un experimento realizado en Ecuador por BUSTOS (2017) sobre la aplicación foliar de silicio en el manejo fitosanitario del cacao siguiendo los tratamientos T₀ (0 L/ha), T₁ (0,5 L/ha), T₂ (1,0 L/ha), T₃ (1,5 L/ha) y T₄ (2,0 L/ha), se obtuvo el valor promedio más bajo fue para T₂ con 1,34% de incidencia de moniliasis durante todo el ensayo, seguido por los porcentajes 2,03% (T₁), 2,17% (T₃) y 2,89% (T₀). El promedio más alto fue para T₄ con un 3,44% de incidencia de moniliasis durante el ensayo.

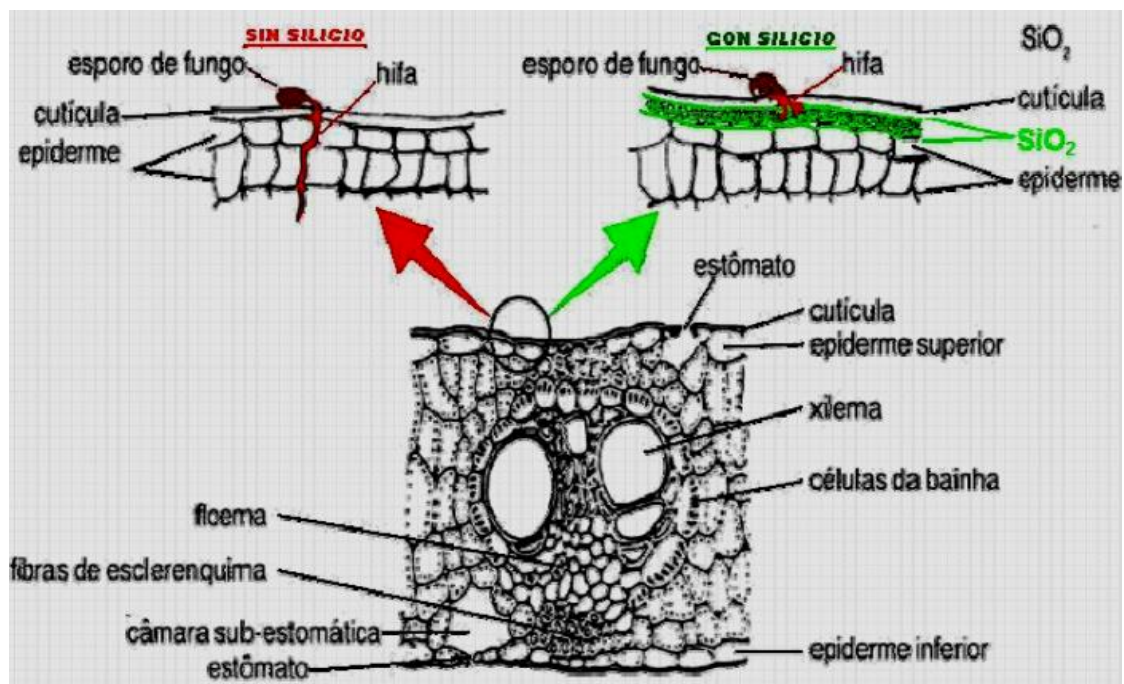


Figura 4. Acumulación de silicio en la epidermis de la planta (BUSTOS, 2017).

2.9. Aplicación de silicio en diferentes cultivos

PRATISSOLI *et al.* (2007) investigaron que en el cultivo de papayo una fuente de silicato, redujo la gravedad de *Asperisporium caricae* (Speg) Maubl posiblemente debido a la deposición de silicio en la capa epicuticular, lo cual impide la penetración del patógeno en las hojas y frutos. Asimismo, seis o más aplicaciones foliares de silicato de calcio y/o fertilizante mineral orgánico, en un período de 30 días, pueden causar una mayor mortalidad de *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae), reduciendo así el daño por esta plaga, probablemente debido a la deposición de silicato en los tejidos celulares de berenjenas que los vuelven más resistentes (DIA *et al.*, 2008).

En fresa las hojas son más verdes (más clorofila) con epidermis más gruesa; mejorando la fertilidad del polen; mejor producción: En el peso y cantidad de frutas, cuando se aplica fertilizante a base de silicato, reduce la incidencia del oídium en la fruta y en las hojas; generando una utilización más eficiente de fungicidas en campo. También en tomate la aplicación de silicio en producción de campo genera mayor número de frutas y mayor tamaño; la fruta madura varios días más temprano; concentración es más alta de azúcar cuando Ca y Si están disponibles en suficientes cantidades (BERGHE, 2003).

En pepino la aplicación de silicio reduce la incidencia del oídium; La pérdida de producción, putrefacción de raíces y muerte, debido a *Phythium ultimátum*; reducción del marchitamiento causado por *Fusarium oxysporum*; por lo cual se da una utilización más eficiente de los fungicidas. En cereza el silicio inhibe la germinación de esporas de las infecciones micóticas como el *Penicillium*

spp. después de heridas de la fruta. En papa la aplicación de silicio genera plantas más fuertes y menos propensas a enfermedad, aumento de 6% en producción (peso) de tubérculos/ha; aumento de 24% del tipo más grande de 60/70, aumento del 8% en el tamaño 50/60, aumento 4% en el 40/50; Uso más eficiente de fertilizantes (BERGHE, 2003).

2.10. Incremento del rendimiento en cultivos al fertilizar con silicio

Una prueba de campo reciente con fertilizante líquido complejo de Si activo, (ácido monosilícico concentrado con determinadas sustancias orgánicas) se llevó a cabo en Canadá en 200 ha. de trigo en un área de control de 100 ha. Este fertilizante se aplicó junto con las plántulas a razón de 0.5 litros de fertilizante concentrado por hectárea (dilución de 1:1000) (MA y TAKAHASHI, 2002; SNYDER *et al.*, 2006).

Cuando se cosechó (a principios de septiembre de 2008) los campos de prueba produjeron 6.3 T/ha mientras que los campos de control de producción de 3,9 T/ha. Sin embargo, la noticia más notable fue el hecho de que el contenido de proteínas del trigo tratado con fertilizantes de Si fue de 12,8 % respecto al trigo sin tratar que se encontró en 11.2 % nivel. El promedio de producción agrícola se incrementó en un 50 %. El rendimiento creciente se rige por el aumento del tamaño de la oreja y la cantidad de granos de la oreja (MA y TAKAHASHI, 2002; SNYDER *et al.*, 2006).

El rendimiento de coliflores aumentó de 5.3 t/ha a 10.6 t/ha con el tratamiento de silicio foliar; y de 11.6 t/ha a 14.4 t/ha con el tratamiento de silicio al suelo y varias aplicaciones foliares de silicio. En tomate el rendimiento aumentó de 34.5 t/ha en la parcela de control a 42.8 t/ha en área de prueba, sólo con tratamiento de silicio foliar. El rendimiento de pepinos también aumentó de 21.3 t/ha a 39.6 t/ha con solo tratamiento de aplicación foliar de silicio mediante la aplicación de fertilizantes de silicio al suelo, la producción de pepino fue de 21.3 t/ha de la parcela de control a 28.1 y 25.8 t/ha de las parcelas de pruebas (Cuadro 5), según estos estudios encontraron que a mayor dosis de silicio aplicado la producción se incrementó (MA y TAKAHASHI, 2002; SNYDER *et al.*, 2006).

Cuadro 5. Rendimiento del tomate al aplicar silicio líquido Si.

Tratamiento	Rendimiento (t/ha)	
	Promedio	Incremento (%)
Control	34.52	-----
Fertilizante 1	42.84	24.1
Fertilizante 2 (Aplicación únicamente al suelo)	40.08	16.1
Fertilizante 2 (Aplicación foliar y suelo)	43.08	24.8

Fuente: SNYDER *et al.* (2006).

La aplicación de fertilizantes de silicio da como resultado un aumento del rendimiento y la calidad de todos los cultivos a través de mejorar la resistencia de las plantas frente a los estreses bióticos y abióticos, el aumento de volumen y la

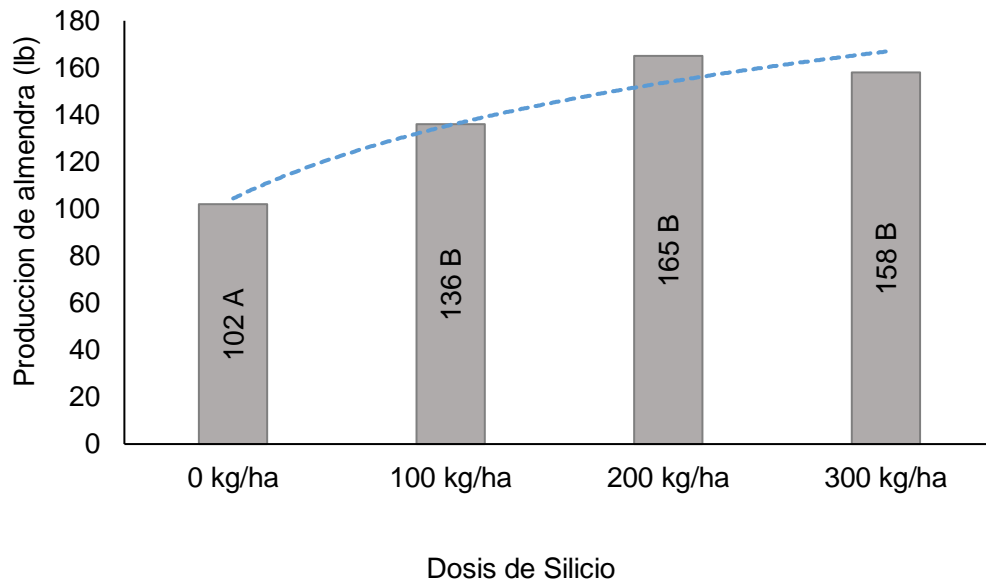
masa de raíces, la aceleración del crecimiento de las plantas y el mejoramiento de la fertilidad del suelo (MA y TAKAHASHI, 2002; SNYDER *et al.*, 2006).

Cuadro 6. Análisis foliar final después de la cosecha.

Elemento	Unidad	Análisis inicial	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Nitrógeno (N)	%	2.00	1.94	2.07	2.14	2.04
Fosforo (P)	%	0.15	0.16	0.15	0.14	0.14
Potasio (K)	%	1.66	0.97	1.40	0.86	1.00
Magnesio (Mg)	%	0.47	0.53	0.51	0.51	0.53
Calcio (Ca)	%	1.43	1.91	1.66	2.29	2.31
Azufre (S)	%	0.19	0.19	0.19	0.14	0.20
Sodio (Na)	%	0.04	0.04	0.07	0.04	0.04
Hierro (Fe)	ppm	140.00	120.00	105.00	100.00	100.00
Manganeso (Mn)	ppm	70.00	108.00	97.20	90.00	90.20
Cobre (Cu)	ppm	6.70	7.40	11.10	4.90	6.20
Zinc (Zn)	ppm	149.00	61.60	65.60	38.00	66.40
Boro (B)	ppm	48.00	51.40	59.00	48.60	60.20
Silicio (Si)	ppm	0.01	0.12	0.13	0.13	0.12

Fuente: AGUILERA (2017).

En la Figura 5, se observa que el tratamiento 2 (200 kg/ha SILMAG) posee mejor respuesta, con un valor de 165 libras de almendras, muy seguido al tratamiento 3 (300 kg/ha SILMAG), que a pesar de su dosis elevada de fertilizante no es superior al T2. Manteniéndose la tendencia de que a mayor cantidad de silicio aumenta la producción de almendras de cacao.



Fuente: AGUILERA (2017).

Figura 5. Efecto de la aplicación de silicio en la producción de cacao.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Campo experimental

El experimento se llevó acabo en el distrito la Morada, provincia de Cholón, departamento Huánuco, en una parcela de cacao CCN – 51 con cinco años de producción, cuyas coordenadas UTM son: 9033607 m Norte, 363590 m Este y a una altitud de 530 m.s.n.m. Según la clasificación de Holdridge, la zona pertenece a la clasificación bosque muy húmedo, premontano sub tropical (bmh-PST). La temperatura media anual comprende entre 22 – 32 °C y una precipitación de 3000 a 3500 mm anuales, los cuales nos dan condiciones adecuadas para el cultivo de cacao.

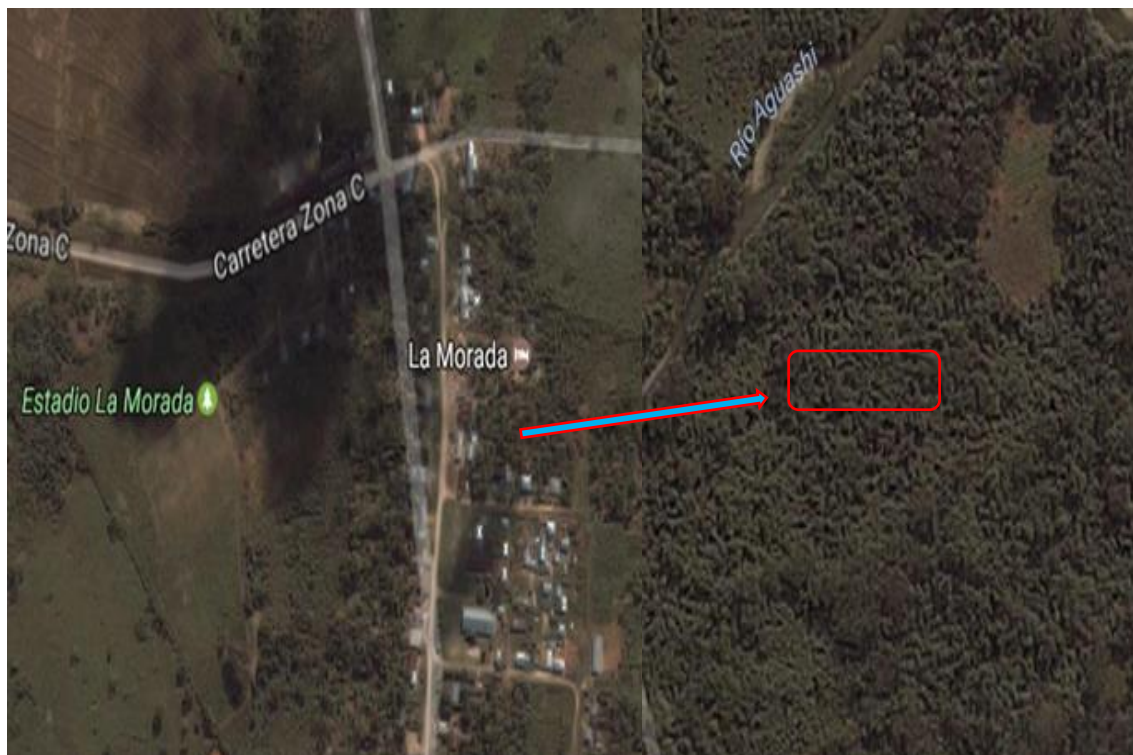


Figura 6. Ubicación de la parcela experimental

3.1.1. Características físico – químicas del suelo

Para el análisis se sacó una muestra representativa del suelo previo a la aplicación de los tratamientos, la misma que se llevó al Laboratorio de Análisis de Suelo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. En el Cuadro 7, se presenta los resultados del análisis físico – químico del suelo y presenta las siguientes características: textura franca arcilloso, con pH moderadamente ácido, el nivel de materia orgánica es medio y nitrógeno tiene un nivel bajo, fósforo y potasio disponible en un nivel medio, la capacidad de intercambio catiónico está en un nivel bajo, estas características determinan que el suelo presenta fertilidad media, los resultados del análisis de suelo se detallan a continuación.

Cuadro 7. Análisis físico – químico del suelo experimental.

Parámetro	Valor	Método empleado
Análisis físico		
Arena (%)	37.20	Hidrómetro
Arcilla (%)	20.40	Hidrómetro
Limo (%)	42.40	Hidrómetro
Clase textural	Franco	Triángulo textural
Análisis químico		
pH (1:1) en agua	5.38	Potenciómetro
M.O. (%)	1.77	Walkey y Black
N -total (%)	0.08	% M.O x 0.05
P disponible (ppm)	8.22	Olsen modificado
K disponible (ppm)	106.20	Ácido sulfúrico
Ca cambiante (Cmol+)/kg)	7.21	EEA
Mg cambiante (Cmol+)/kg)	1.13	EEA
Al (Cmol+)/kg)	0.06	EEA
H (Cmol+)/kg)	0.04	EEA
CICe (Cmol+)/kg)	8.98	Suma de cationes

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.2. Componentes en estudio

Se emplearon tres fuentes a base de silicio, dispersión a base de ceniza, escoria silicato de calcio y silicato de potasio. Con tres dosis para cada fuente más dos testigos adicionales (Cuadro 10). Las dosis de la dispersión a base de ceniza y escoria – silicato de calcio (100, 200 y 400 ppm de SiA), es decir mg de silicio asimilable por kg de suelo, se aplicó sin restar el aporte inicial del suelo. Cada fuente contiene silicio en su forma activa es decir silicio activo (SiA) con alta disponibilidad para la planta.

3.2.1. Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz

Se trata de una dispersión de silicio activo al 60% de sólido procedente de la ceniza de arroz cuyo contenido de sílice amorfa es activada mediante un tratamiento químico y micronización al rango entre 1 – 5 micra (μ). Esta es una dispersión que la hemos denominado Formulación Base.

Cuadro 8. Composición de la ceniza de arroz.

Ceniza de arroz	P/P %
SiO ₂	55.60
SiO ₄	1.43
K ₂ O	0.90
Na ₂ O	0.64
CaO	0.33
MgO	0.32
SO ₄	0.89
H ₂ O	39.89
Total	100.00
Silicio asimilable (SiA)	Concentración (ppm)
H ₄ SiO ₄	42000

Fuente: FEEDCOOR E.I.R.L (2017).

3.2.2. Escoria siderúrgica – silicato de calcio

La escoria blanca también llamada escoria horno cuchara, es una mezcla no metálica formada por silicatos de calcio, óxidos metálicos y ferritas. Se genera en la etapa de afino de la fabricación del acero en Hornos de Arco Eléctrico, etapa que tiene por finalidad bajar el contenido de oxígeno del acero y la mayor parte del azufre. Ello se logra manteniendo la atmosfera reductora de la escoria que cubre el metal fundido con carbón en polvo. Esta escoria está compuesta de la cal, espato fluor, coke o grafito. En esta etapa de afino se logra la composición química específica de cada acero que se desea fabricar, a través de la adición de ferroaleaciones y carburantes. El color blanquecino se debe al alto contenido de cal.

A. Estado físico del material: Sólido, color blanquecino, pulverulenta que se disgrega al tocarla, pero que con el tiempo se hidrata y se estabiliza.

B. Aplicaciones: En agricultura como fertilizante y/o corrector de la acidez de suelos (encalado).

Cuadro 9. Composición química de la escoria siderúrgica – silicato de calcio.

Formula química	% Peso
SiO ₂	27.12%
CaO	45.16%
MgO	8.93%
FeO	0.93%
MnO	0.38%
Silicio asimilable (SiA)	Concentración (ppm)
H ₄ SiO ₄	27000

Fuente: FEEDCOR EIRL (2017).

3.2.3. Silicato de potasio

Silicato de potasio líquido de uso foliar y edáfica, cuya composición es de 26 % de SiO_2 y 13 % de K_2O y tiene un SiA promedio de 140.000 ppm. Puesto que este producto es más conocido por su aplicación foliar, se investigó la aplicación edáfica y el resultado consiste en el empleo de la técnica drench diluyendo el silicato en un volumen de agua o solución de un nutriente 10 a 20 veces más e incluso en un mayor volumen de agua esparciéndolo en el suelo y partes de la planta de manera uniforme para que pueda ser absorbido en menor tiempo, para un rápido efecto.

3.3. Tratamientos en estudio

Para el estudio se establecieron un total de once tratamientos y cuatro repeticiones, siendo las variables fijas las fuentes (dispersión a base de ceniza, escoria – silicato de calcio y silicato de potasio) y niveles (100, 200 y 400 mg SiA/kg suelo). Los cuales se describen más detalladamente en el Cuadro 10.

- Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz: (Disp. Cz. cascarilla Az.)
- Escoria siderúrgica – silicato de calcio: (escoria siderúrgica – Si Ca)
- Silicato de Potasio

Cuadro 10. Descripción de los tratamientos

Trat.	Descripción	ppm SiA (mg SiA/Kg suelo)	SiO ₂ (kg/ha)	g/planta (fuente)	Kg/ha (fuente)
T ₁	Disp Cz Cascarilla de Az (100 ppm SiA) + NPK.	100	80	129	144
T ₂	Disp Cz Cascarilla de Az (200 ppm SiA) + NPK	200	160	259	287
T ₃	Disp Cz Cascarilla de Az (400 ppm SiA) + NPK	400	320	517	575
T ₄	Escoria Siderúrgica – Si Ca (100 ppm SiA) + NPK	100	60	201	224
T ₅	Escoria Siderúrgica – Si Ca (200 ppm SiA) + NPK	200	121	402	447
T ₆	Escoria Siderúrgica – Si Ca (400 ppm SiA) + + NPK	400	241	805	894
T ₇	Silicato de Potasio (1 L/ha) +NPK	----	11	----	----
T ₈	Silicato de Potasio (2 L/ha) +NPK	----	22	---	----
T ₉	Silicato de Potasio (3 L/ha) +NPK	----	45	---	---
T ₁₀	Testigo con NPK	0	0	0	0
T ₁₁	Testigo sin fertilizante	0	0	0	0

Los niveles de fertilización están determinados en base a la extracción del cultivo de cacao, de 2000 kg/ha, los cálculos para la aplicación se determinarán de acuerdo al análisis de suelo donde se llevará a cabo dicho trabajo experimental, teniendo la fórmula de 100-25-120.

3.4. Diseño experimental

Se empleó el diseño de bloque completamente al azar (DBCA). Los tratamientos son tres dosis de dispersión a base de ceniza, escoria – silicato de calcio y silicato de potasio, cuyas combinaciones hacen un total de 11 tratamientos, cada uno de los cuales tuvo 16 unidades de observación (árboles de cacao) y 4 repeticiones. Las variables evaluadas fueron sometidos al análisis de varianza y una prueba de medias (Duncan, $\alpha = 0.05$).

El análisis de varianza está conformado por las siguientes fuentes de variabilidad: bloques y tratamientos. El análisis de varianza (ANVA) empleado para las variables dependientes rendimiento e incidencia de monilia en las unidades experimentales en estudio.

Cuadro 11. Esquema del análisis de variancia

Fuente de variación	Formula	Grados de libertad
Bloques	$(r-1)$	3
Tratamientos	$(t-1)$	10
Error experimental	$(t-1) * (r-1)$	30
Total	$Tr-1$	43

Modelo aditivo lineal

Según CALZADA (1986).

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Respuesta obtenida de la j – ésimo bloque a la cual se le aplicó el i – ésimo tratamiento.

U = Efecto de la media general.

T_i = Efecto del i- ésimo tratamiento.

B_j = Efecto del j- ésimo bloque.

E_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental asociado a dicha observación Y_{ij} .

Para:

i = 1, 2, 3, ..., 11 tratamientos.

j = 1, 2, 3, 4 repeticiones o bloques.

3.5. Características del campo experimental

Dimensiones del campo experimental

- Largo 96 m
- Ancho 48 m
- Área total del experimento 4608 m²

Diámetro de los bloques

- Número de bloques 4
- Largo del bloque 96 m
- Ancho del bloque 12 m
- Área década bloque 1152 m²

Características de las parcelas

- Número total de parcelas 44
- Número de parcelas por bloque 11
- Largo de parcela 12 m
- Ancho de la parcela 12 m
- Área de la parcela 144 m²
- Área neta a evaluar 81 m²

Procesamiento de datos

Toda la información registrada de las evaluaciones biométricas y bioclimáticas fueron ingresadas en una base de datos previamente elaborada en el programa microsoft office excel 2007. La base de datos fue procesada en software estadístico (INFOSTAT, 2004), con el fin analizar la varianza (ANVA), comparar los promedios (Duncan, $\alpha = 0.05$) y encontrar las relaciones mediante el análisis de correlación de Pearson ($\alpha = 0.05$). Con el análisis de regresión polinómica se observó las relaciones funcionales entre algunas variables independientes y dependientes ($\alpha = 0.05$); para medir la eficacia de las predicciones se utilizó el coeficiente de determinación (R^2).

3.6. Ejecución del experimento

De toda la plantación de cacao CCN – 51 en producción, con siete años de edad, se ubicó una parte homogénea (tomando en cuenta que las plantas de dicha área estén libres de plagas y enfermedades), posteriormente con ayuda de una wincha y rafia, se dividió los 4 bloques, de tal forma que cada bloque contenga 176 plantas. De igual forma se dividió las parcelas dentro de cada bloque, teniendo 16 plantas por cada parcela, en el cual posteriormente se aplicó los tratamientos, realizando una randomización al azar de los tratamientos, en los cuales se colocó rótulos de bloques y tratamientos.

3.6.1. Muestreo del suelo

Se muestreo el suelo en forma de zig zag dentro de cada tratamiento. Se utilizó un tubo muestreador, el cual se introdujo aproximadamente 30 cm en el suelo, obteniendo sub muestras por cada unidad

experimental, posteriormente se mezcló uniformemente para obtener una sola muestra por parcela, repetido para todas las unidades experimentales, etiquetándolos con el tratamiento respectivo, se secó las muestras bajo sombra, que posteriormente se llevó al Laboratorio de la (UNAS). Cabe recalcar que la toma de muestras se realizó dos veces, al inicio y final del experimento.

3.6.2. Muestreo foliar

El muestreo se realizó al final del experimento, para dicho procedimiento se tuvo que identificar cuatro plantas de cacao por unidad experimental, el cual asimismo se tuvo que dividir en tres partes la copa (tercio inferior, tercio medio y tercio superior), tomando 5 hojas activas fotosintéticamente del tercio medio de la copa, los cuales se etiquetaron de acuerdo al tratamiento y luego se llevó a una estufa a una temperatura de 70 °C, eliminando así la humedad. Seguidamente se procedió al molido de las hojas y análisis del silicio (Si). En el laboratorio de suelos de la UNAS.

3.6.3. Aplicación de las fuentes y niveles de silicio

La aplicación se realizó de acuerdo al Cuadro 10, donde se muestra la cantidad silicio activo (SiA) a aplicar, de acuerdo a cada fuente. Este cálculo total de las fuentes y niveles de silicio, se diluyó con agua y se enrazó a un volumen determinado, posteriormente el volumen enrazado se dividió entre 64 que son número plantas por tratamiento, después se hizo una tara de acuerdo al tratamiento y finalmente se hizo la aplicación con esta tara al suelo en área efectiva (debajo de la copa de la planta). Asimismo, la aplicación se fraccionó en

dos partes, para aplicar de acuerdo a la actividad fenológica del cultivo de cacao, siendo la primera aplicación antes de la floración y la segunda en el desarrollo de fruto (tres meses después). Todas las parcelas del experimento fueron fertilizadas, con una dosis completa de NPK, a excepción del testigo absoluto al que no se aplicó fertilizante ni silicio. Las fuentes de silicio se aplicaron 20 días antes de la fertilización completa.

El control de malezas se realizó de manera semi mecanizada, utilizando una moto cultivadora (motohuadaña). La frecuencia del control fue de cada 3 meses, realizándose un total de 3 veces en todo el experimento, pero también dependió de la abundancia de malas hierbas presentes en la zona, sin embargo, se tenía un cronograma de control de malezas con un periodo de cada tres meses, al cual nos regimos.

3.6.4. Cosecha

La cosecha se realizó cada 15 días, extrayendo los frutos maduros con ayuda de una tijera de podar y disponiéndolos en un lugar de acuerdo a cada tratamiento, seguidamente con ayuda de un machete se realizó la quiebra de los frutos para extraer los granos. Seguidamente se realizó el fermentado por cuatro días y secado por dos días, teniendo como resultado el grano seco para comercializar. Cabe mencionar que los granos se almacenaron en distintos lugares de acuerdo al tratamiento.

3.7. Características evaluadas

3.7.1. Rendimiento

Para evaluar el rendimiento, se marcó cuatro plantas (ubicadas al centro), de cada unidad experimental, de los cuales cada 15 días se recogía las mazorcas maduras y se cuantificaba el peso húmedo y seco (luego de la fermentación y secado) de los granos. Este proceso se realizó desde el inicio (octubre del 2016) hasta el final del experimento noviembre del 2017.

3.7.2. Incidencia de “moniliasis” (*Moniliophthora roreri*)

La evaluación de incidencia de monilla en campo se realizó para determinar el efecto del silicio en la reducción de moniliasis siendo el problema fitosanitario más importante en este cultivo, tal investigación lo realizo BUSTOS (2017) en Ecuador, para ello se contabilizó cada 15 días el número de frutos cosechados sanos y enfermos, asimismo, se contabilizó el número de frutos verdes sanos y enfermos, donde los frutos enfermos verdes fueron removidos.

Los frutos maduros y verdes enfermos se discriminaron por sintomatología, típica de la “moniliasis”. Posterior a ello, los datos fueron registrados en las fichas de evaluación. Así mismo mediante el programa Excel mediante la siguiente fórmula, se obtuvo el porcentaje de incidencia de las enfermedades en frutos de cacao.

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{Total de frutos enfermos}}{\text{Total de frutos (sanos + enfermos)}} \times 100$$

3.7.3. Calidad de grano

Se extrajo al azar una mazorca de cacao de cada unidad experimental, haciendo un total de 44 mazorcas, seguidamente en una mesa se agruparon los frutos según los bloques y tratamientos, la catación lo realizó un experto en esta actividad, describiendo así la calidad de pulpa y almendra en fresco. Asimismo, se estableció una escala para describir los diferentes parámetros de calidad, la cual es de la siguiente manera:

- 0 : Ausente
- 1 : Muy bajo
- 2 : Bajo
- 3 : Medio
- 4 : Fuerte
- 5 : Muy fuerte

3.7.4. Análisis económico de rentabilidad

El índice de rentabilidad (B/C) se realizó en base a los costos y ingresos que generan la producción anual del cacao, para dicho procedimiento se recurrió a la siguiente formula:

$$\text{Relación B/C} = \frac{\text{Ingreso bruto}}{\text{Costos de producción}}$$

3.7.5. Efecto del silicio en la disponibilidad del fósforo

Para determinar el efecto, se realizó un análisis de suelo con caracterización completa al inicio y final del experimento, en base a los resultados obtenidos en laboratorio se procedió a calcular la saturación del aluminio y disponibilidad del fosforo según el método Olsen modificado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de grano seco al aplicar las diferentes fuentes y niveles de silicio

En el Cuadro 12 se presenta, el análisis de varianza ($\alpha=0.05$) para el rendimiento en grano seco de cacao, al aplicar las distintas fuentes de silicio (tratamientos). Donde no se encontró diferencias estadísticas entre bloques, pero existe diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos, es decir se obtuvo un rendimiento de grano muy diferente entre las parcelas tratadas con diferentes fuentes y niveles de silicio. Asimismo, se tiene un coeficiente de variabilidad muy buena (13 %), por lo tanto, la aplicación de silicio influyó en el rendimiento del cacao.

Cuadro 12. Análisis de varianza, del rendimiento del grano de cacao.

Fuentes de variabilidad	G.L	S.C	C.M	F	Sig.
Bloques	3	120146.9	40048.9	0.7	NS
Tratamientos	10	7764917.2	776491.7	14.8	AS
Error	30	1564851.3	52161.7		
Total	43	9449915.5			

C.V. (%): 13.00

NS: No existe significancia estadística.

AS: Altamente significativo.

En el Cuadro 13 se presenta la media de Duncan con un nivel de $\alpha = 0.05$, del rendimiento al aplicar tres dosis de SiA (100, 200 y 400 mg/kg suelo) en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, escoria siderúrgica – silicato de calcio y silicato de potasio.

Los valores promedios de rendimiento de cacao (kg/ha/año), en el Cuadro 13, indican diferencias estadísticas para todas las parcelas tratadas con diferentes niveles y fuente de silicio. No hay diferencia estadística en el T₆, T₅, T₄, T₃, T₉ y T₂ (2221, 2169, 2082, 1982, 1942 y 1929 kg/ha respectivamente) de grano seco de cacao. Se obtuvo el mayor rendimiento (2221 kg/ha) al aplicar 400 mg SiA/kg suelo en base a escoria siderúrgica - silicato de calcio, supera estadísticamente a los T₁, T₈, T₇, T₁₀ y T₁₁ (1825, 1525, 1500, 1450 y 700 kg/ha) al respecto MA y TAKAHASHI (2002), indica que el rendimiento de la producción agrícola aumenta en un 50 % al aplicar silicio, que sin aplicación de ella; también el incremento se debe a que el SiA incrementa la absorción del anión fosfato, lo que lleva al incremento de fósforo en la solución del suelo y mejora la nutrición del fósforo (P) en la planta.

Cuadro 13. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) de rendimiento promedio de grano seco/ha de cacao.

Tratamiento	ppm (SiA)	SiO ₂ (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Sig.
T ₆ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (400 ppm SiA) + NPK)	400	241	2221	a
T ₅ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (200 ppm SiA) + NPK)	200	121	2169	a
T ₄ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (100 ppm SiA) + NPK)	100	60	2082	a
T ₃ (Disp Cz Cascarrilla de Az (400 ppm SiA) + NPK)	400	320	1982	b
T ₉ (Silicato de Potasio (3 L/ha) +NPK)	-----	45	1942	b
T ₂ (Disp Cz Cascarrilla de Az (200 ppm SiA) + NPK)	200	160	1929	b
T ₁ (Disp Cz Cascarrilla de Az (100 ppm SiA) + NPK)	100	80	1825	b c
T ₈ (Silicato de Potasio (2 L/ha) +NPK)	-----	22	1525	c d
T ₇ (Silicato de Potasio (1 L/ha) +NPK)	-----	11	1500	c d
T ₁₀ (Testigo con NPK)	-----	-----	1450	d
T ₁₁ (Testigo sin fertilizante)	-----	-----	700	e

Letras iguales en la misma columna indica que no existen diferencias estadísticas

Asimismo, adsorbe físicamente a P, N o K móviles y manteniéndolos en forma disponible para la planta (MATICHENKOV *et al.*, 2001). El T₁₁ (Testigo sin ninguna fuente nutricional y silicio), tiene el menor rendimiento con 700 kg/ha.

En la Figura 7, se muestra diferencias de rendimiento muy marcadas de cacao al aplicar silicio activo (SiA) en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, escoria siderúrgica – silicato de calcio y silicato de potasio.

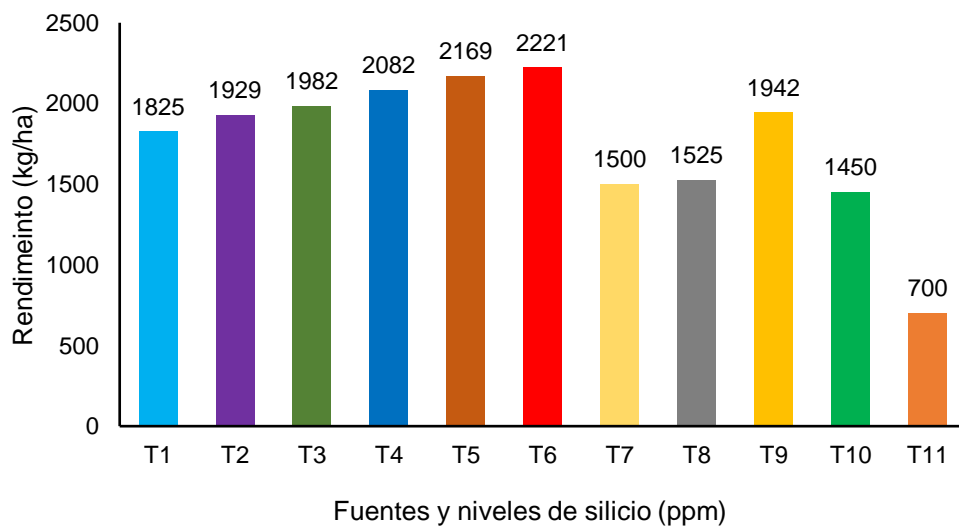


Figura 7. Rendimiento del grano de cacao al aplicar diferentes fuentes y niveles de silicio.

Según la Figura 7, se observa que el mayor rendimiento tiene el T₆ (escoria siderúrgica - silicato de calcio a nivel de 400 SiA/kg suelo) con 2221 kg/ha, el cual superó en un 34.7 % respecto al testigo con fertilización convencional (T₁₀), que solo tuvo un rendimiento de 1450 kg/ha. De igual forma se puede evidenciar que la aplicación de silicio ayuda en gran proporción al incremento del rendimiento del cultivo, tal como indica MA y TAKAHASHI, (2002), SNYDER *et al.* (2006) también encontró que en el cultivo de trigo un incremento del rendimiento que varía desde 22 a 50 % más, que al no aplicar

ninguna fuente de silicio. AGUILERA (2017) indica que la dosis adecuada de silicio (200 kg/ha de SILMAG) mejora la producción de almendras en el cultivo de cacao CCN-51, ya que aumenta el número de mazorcas por planta. El silicio habría optimizado la fertilidad del suelo, incrementando la producción. Según MEENA *et al.* (2014) el Si hace que los nutrientes estén más disponibles para las plantas. Mejora el rendimiento, incrementando la producción (BIRCHALL *et al.*, 1989; PERRY Y KEELING-TUKER, 1998). El silicio mejora la capacidad de intercambio catiónico (SMYTH Y SÁNCHEZ, 1980).

4.1.1. Correlación entre la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y el rendimiento

En la Figura 8, 9 y 10 se muestra la correlación entre el rendimiento anual de cacao, al aplicar tres niveles de silicio activo (SiA) en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, escoria siderúrgica - silicato de calcio y silicato de potasio, respectivamente.

Según la Figura 8, la aplicación de 400 mg de SiA/kg suelo en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz (T3), presentó el mayor rendimiento, siendo 1982.2 kg/ha de grano de cacao, el cual supera en 26.8 y 64.7 % al T10 y T11 (testigo con fertilizante - NPK y testigo absoluto) respectivamente, los cuales tienen un rendimiento de 1450 y 700 kg/ha, al respecto MA y TAKAHASHI (2002), SNYDER *et al.* (2006) obtuvieron incrementos de rendimiento de 46.2 % en tomate y 24.2 en pepino, este incremento según BERGHE (2003) se debe a que el silicio mejora la fotosíntesis y por ello incrementa la productividad de los cultivos agrícolas. De igual forma

permite la optimización del pH, mejorando la disponibilidad del potasio (K), fosforo (P), zinc (Zn) y hierro (Fe) (QUIERO, 2008).

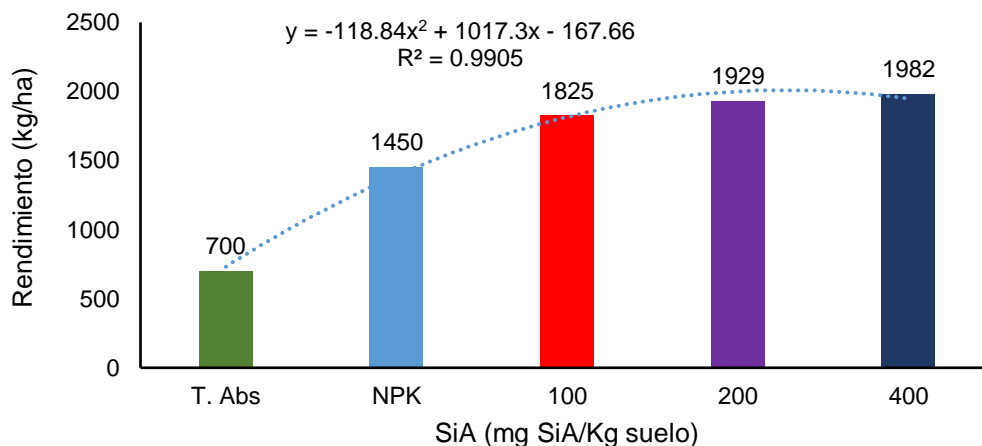


Figura 8. Relación entre el rendimiento de cacao y tres niveles de SiA en base de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.

El modelo de regresión polinómica ($Y = -118.84x^2 + 1017.3x - 167.66$, $R^2 = 0.9905$), evidencia una excelente relación de la aplicación de silicio con el incremento del rendimiento, también se puede inferir que el nivel óptimo de aplicación de silicio será de 428 mg SiA/ kg de suelo a base de dispersión a Base de ceniza de cascarilla de arroz, dosis con la cual se alcanza el máximo rendimiento de 2009.4 kg/ha de grano seco de cacao.

4.1.2. Correlación entre la escoria siderúrgica-silicato de calcio y el rendimiento

En la Figura 9, se observa que la aplicación de 400 mg de SiA/kg suelo, de escoria siderúrgica-silicato de calcio presenta el mayor rendimiento (2221 kg/ha) de grano seco anualmente, y supera en 34.7 y 68.5 % al T10 y T11 (testigo con fertilizante-NPK y testigo absoluto), los cuales tienen un rendimiento de 1450 y 700 kg/ha respectivamente; al respecto AGUILERA (2017) encontró

un incremento de 38.2 % de grano seco de cacao al aplicar la dosis de 200 kg/ha de silmag (fuente de silicio), este incremento se debe a que por efecto de la aplicación de silicio genera un efecto reductivo de la toxicidad de aluminio (Al) (COCKER et al.,1998) y este a su vez promueve la asimilabilidad de otros nutrientes (N, P, K) importantes para la planta (MATICHENKOV et al.,2001).

A partir de la función de regresión polinómica ($Y = -138.63x^2 + 1207.9x - 374.34$, $R^2 = 0.9922$), se evidencia una buena correlación entre la aplicación de silicio activo (SiA) e incremento del rendimiento. Sin embargo, al seguir incrementando el nivel, no se evidencia significativamente el incremento del rendimiento, debido a que la curva tiende a decrecer a dosis altas de SiA. Según la primera derivada de la ecuación el nivel máximo de aplicación de silicio fue 435 mg SiA/ kg de suelo en forma de escoria siderúrgica – silicato de calcio, que logro el máximo rendimiento de 2268.7 kg/ha de grano seco de cacao.

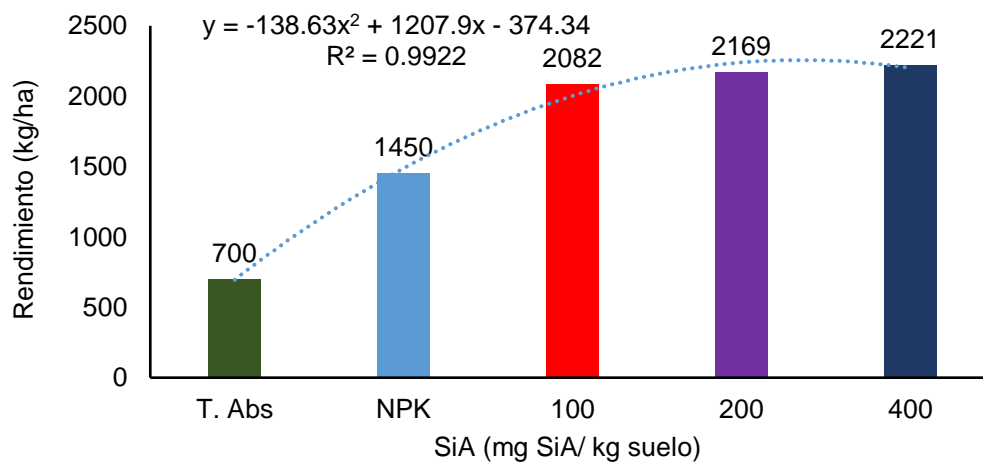


Figura 9. Relación entre el rendimiento de cacao al aplicar diferentes niveles de escoria siderúrgica - silicato de calcio.

4.1.3. Relación entre el silicato de potasio y el rendimiento

En la Figura 10, se evidencia que la aplicación de 3 L/ha de silicato de potasio, generó mayor rendimiento de cacao (1942.3 kg/ha), siendo 25.4 y 64 % superior a los T10 y T11 (testigo con fertilizante- NPK y testigo absoluto), los cuales tienen un rendimiento de 1450 y 700 kg/ha respectivamente. MA y TAKAHASHI, (2002), SNYDER et al (2006) encontraron que la aplicación de Si foliar y suelo incrementa en 24.8 % en el rendimiento de tomate. Según AGUILERA (2017) dosis de (200 kg/ha de SILMAG) silicio mejora la producción de almendras en el cultivo de cacao CCN-51, ya que aumenta el número de mazorcas por planta, mejorando las cosechas y aumentando la productividad. Asimismo, según la función polinómica ($Y_{rdt} = -49,332x^2 + 551,98x + 310,22$), se evidencia una relación alta alcanzando la máxima respuesta a la dosis de 6.45 Litros, con el que se obtendrá un rendimiento máximo de 1854.25 kg/ha de grano de cacao seco. La planta no responde a dosis superiores por lo tanto es innecesario aplicar cantidades mayores.

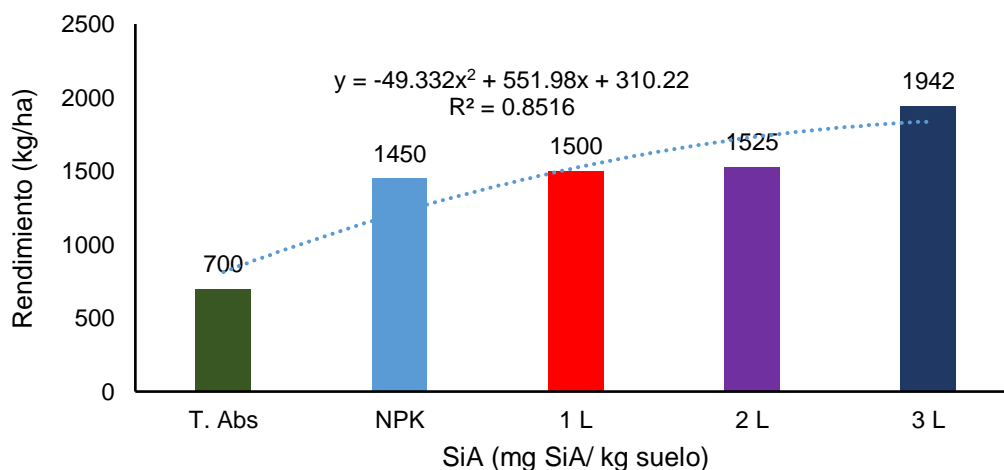


Figura 10. Relación entre el rendimiento de cacao al aplicar diferentes niveles de SiA en forma de silicato de potasio.

4.2. Incidencia de “moniliasis” (*Moniliophthora roreri*)

En el Cuadro 14, se presenta el análisis de varianza ($\alpha=0.05$) de la incidencia de moniliasis en mazorcas de cacao, al aplicar 100, 200 y 400 mg de SiA/kg de suelo. Usando como fuente la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, escoria siderúrgica–silicato de calcio y silicato de potasio. No se encontró diferencias estadísticas entre bloques; pero existe diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos, es decir se tuvo una incidencia muy variable entre las parcelas tratadas con diferentes niveles y fuentes de silicio. Asimismo, al menos un nivel de silicio reduce la incidencia de esta enfermedad en cacao. De igual forma se tiene un coeficiente de variabilidad (27.87 %).

Cuadro 14. Análisis de varianza de la incidencia de “moniliasis” en cacao.

Fuentes de variabilidad	G.L	S.C	C.M	F	Sig.
Bloques	3	5.6	1.9	1.3	NS
Tratamientos	10	185.1	18.5	12.6	AS
Error	30	44.0	1.5		
Total	43	234.8			

C.V. (%): 27.87

NS: No existe significancia estadística

AS: Altamente significativo

En el Cuadro 15 se presenta, la media de Duncan con un nivel de $\alpha = 0.05$, de la incidencia de moniliasis (*Moniliophthora roreri*) al aplicar tres dosis de SiA (100, 200 y 400 mg/kg suelo) en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, escoria siderúrgica – silicato de calcio y silicato de potasio.

Cuadro 15. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) de la incidencia de “moniliasis” en cacao.

Descripción	ppm SiA	SiO ₂ (kg/ha)	Incidencia (%)	Sig.
T ₁₁ (Testigo sin fertilizante)	-----	-----	9.62	a
T ₁₀ (Testigo con NPK)	-----	-----	5.96	a b
T ₈ (Silicato de Potasio (2 L/ha) +NPK)	-----	22	5.54	a b
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az (400 ppm SiA) + NPK)	400	320	4.68	a b
T ₉ (Silicato de Potasio (3 L/ha) +NPK)	-----	45	4.22	a b
T ₇ (Silicato de Potasio (1 L/ha) +NPK)	-----	11	3.62	a b
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az (100 ppm SiA) + NPK)	100	80	3.57	b c
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az (200 ppm SiA) + NPK)	200	16	3.06	c d
T ₆ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (400 ppm SiA) + NPK)	400	241	3.06	d
T ₄ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (100 ppm SiA) + NPK)	100	60	2.90	d
T ₅ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (200 ppm SiA) + NPK)	200	121	1.56	e

Letras iguales en la misma columna indica, que no existen diferencias estadísticas

Los valores promedios mostrados en el Cuadro 15, indican diferencias estadísticas para todas las parcelas tratadas con diferentes niveles y fuente de silicio, siendo T₅ (escoria siderúrgica – silicato de calcio) a un nivel de 200 mg SiA/kg suelo, los que presentan un mayor control de moniliasis en cacao, ya que solo se tuvo 1.56 % de incidencia, no siendo así con el T₇, T₉, T₃, T₈, T₁₀ y T₁₁ (3.62, 4.22, 4.6, 5.54, 5.96 y 9.62 % respectivamente), observando un control del 83.7 % en comparación del testigo sin fertilizar (T₁₁) y 73.8 % en comparación con el testigo con fertilización convencional (T₁₀). Al respecto BIEL y MATICHENKOV (2008) indican que el silicio proporciona funciones de protección a las plantas a niveles mecánicos, fisiológicos y bioquímicos. Según BERGHE, (2003) la epidermis, cutícula es más fuerte y gruesa por efecto del silicio y otorgan resistencia a patógenos micóticos, insectos y estrés abiótico.

También IGARASHI *et al* (1999) determino que 250 mg/kg de Si redujo en crecimiento micelial de *Moniliophthora perniciosa* por lo que se puede evidenciar que la aplicación de silicio disminuye el ataque de hongos en cacao. De igual forma T₄ y T₆ (100 y 400 de SiA/kg suelo, en base a escoria siderúrgica – silicato de calcio) es diferente estadísticamente al T₁ y T₂ (100 y 200 de SiA/kg suelo en base a dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz) por lo cual es evidente la acción del silicio en la reducción de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) en cacao.

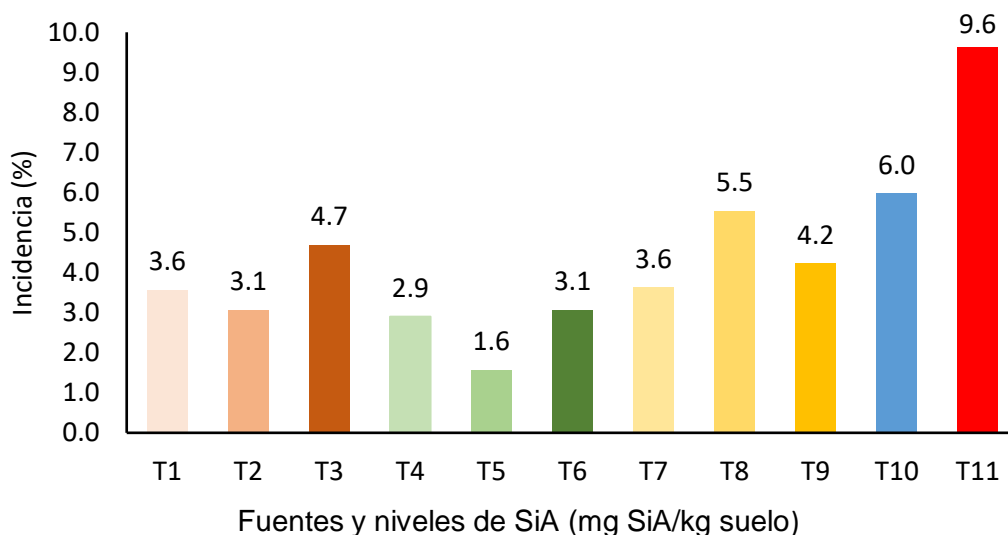


Figura 11. Efecto de la aplicación de SiA en la incidencia de “moniliasis” en cacao.

En la Figura 11 se puede evidenciar que la aplicación de silicio en el cultivo de cacao, genera reducción en la incidencia de moniliasis, siendo el T₅ (200 SiA/kg suelo, en forma de escoria siderúrgica – silicato de calcio) que presenta solo 1.6 % de incidencia, generando un control de 83 % en comparación al T₁₁ (testigo absoluto), que tiene 9.6 %, de igual forma supera ampliamente al T₁₀

(testigo con fertilizante NPK) el cual tiene una incidencia de 6.0 %, siendo un 73 % más de incidencia con respecto al T₅, al respecto BUSTOS (2017), encontró que la aplicación de 1.0 L/ha de silicio, presento la menor incidencia de 1.34 %.

4.2.1 Relación entre la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y la incidencia de moniliasis en cacao

En la Figura 12, 13 y 14 se muestra la incidencia y correlación de moniliasis en frutos de cacao al aplicar niveles (100, 200 y 400 mg de SiA/kg de suelo) en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, escoria siderúrgica – silicato de calcio y silicato de potasio, respectivamente.

En la Figura 12, se muestra la correlación e incidencia de moniliasis en cacao, al aplicar distintos niveles de dispersión a base de ceniza. Donde el T3 (200 mg SiA/kg suelo), mostro la menor incidencia (3.1 %), reduciéndose así en 67.7 y 48.3 % respecto al testigo con fertilización convencional y sin aplicación de ninguna fuente (T10, T11), que tuvieron una incidencia de 6.0 y 9.6 % respectivamente. Según PRATISOLI et. al (2007) en el cultivo de papayo, una fuente de silicato redujo la gravedad de *Asperisporium caricae* (Speg) Maubl, posiblemente a la deposición de silicio en la capa epicuticular, lo cual impide la penetración del patógeno en las hojas y frutos; de igual forma en cereza el silicio inhibe la germinación de esporas de las infecciones micóticas como *Penicillium* sp después de heridas en la fruta (BERGHE, 2003) por lo que se puede inferir que la reducción de moniliasis en frutos de cacao, se debe a estos factores antes mencionados.

Según la curva y/o modelo ($Y=0.8896x^2-6.6164X+15.443$, $R^2 = 0.9972$), existe una buena asociación entre la aplicación de silicio y la reducción de moniliasis en frutos a partir de la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz; sin embargo dosis altas (400 mg de SiA/kg de suelo), no genera control, por lo contrario muestra un incremento de la presencia del hongo; entonces es necesario aplicar un nivel óptimo de SiA, que de acuerdo a la función sería 371 ppm mg SiA/ kg suelo (Figura 12).

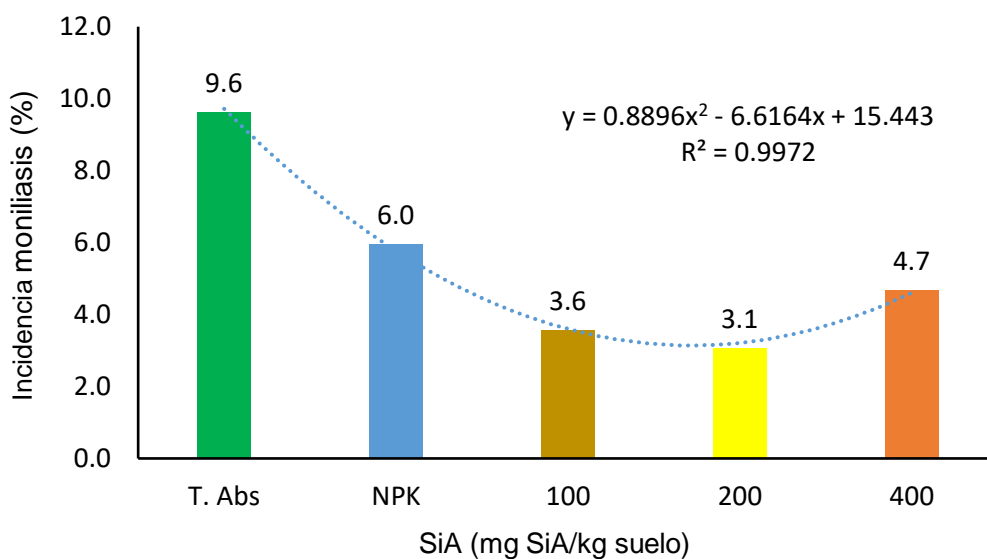


Figura 12. Relación entre de la incidencia de moniliasis al aplicar SiA en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.

4.2.2 Relación entre la escoria siderúrgica-silicato de calcio y la incidencia de moniliasis en cacao

En la Figura 13 se observa la correlación e incidencia de moniliasis en cacao al aplicar niveles de SiA (mg/kg de suelo) en forma de escoria siderúrgica - silicato de calcio. El nivel 200 mg SiA/kg de suelo (T5), mostró la menor incidencia (1.6%) y por lo tanto un buen control de la

enfermedad. El testigo con NPK y el tratamiento sin NPK y sin silicio, mostraron mayor incidencia de 6.0 y 9.6 % respectivamente, evidenciando un control de 73 y 83 % con respecto a los dos testigos. Al respecto BERGHE (2003) indica que el silicio protege los tejidos reproductivos, fortaleza las estructuras y proporciona los mecanismos naturales de defensa contra el ataque de enfermedades.

Según la ecuación ($Y = 0.8607X^2 - 6.9168x + 15.905$, $R^2 = 0.988$) y coeficiente de determinación existe una relación muy buena entre la aplicación de silicio con la disminución de la incidencia de moniliasis en cacao, sin embargo, altas dosis de SiA, no reduce la enfermedad, por el contrario, la incidencia tiende a incrementarse (Figura 13).

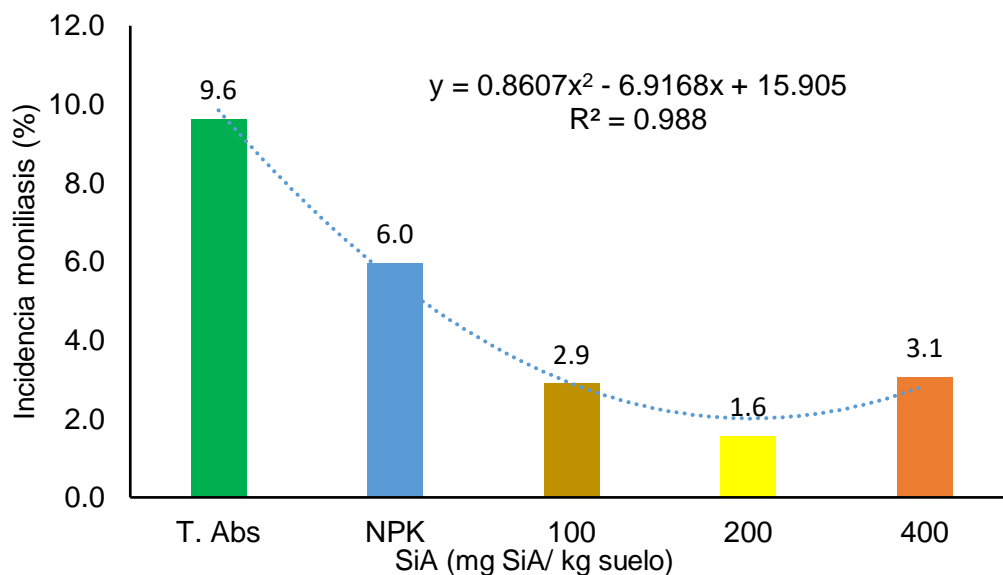


Figura 13. Reducción de la incidencia de moniliasis al aplicar SiA en forma de escoria siderúrgica - silicato de calcio.

4.2.3 Relación entre silicato de potasio y la incidencia de moniliasis en cacao

La Figura 14 muestra, la correlación e incidencia de la moniliasis donde se evidencia que la aplicación de silicato de potasio, en el nivel menor 1 L/ha (T7), genera un mayor control de la incidencia de moniliasis, con solo 3.6 % de incidencia.

El testigo con la aplicación de fertilización balanceada (NPK) y el tratamiento sin ninguna aplicación de silicio activo (SiA) mostraron mayor incidencia (6.0 y 9.6 %) respectivamente. Evidenciando un grado de control entre 40 a 62.5 % al aplicar SiA en forma de silicato de potasio, al respecto BUSTOS (2017) obtuvo incidencias de moniliasis muy bajas (1.34, 2.03, 2.17, 2.89 y 3.44 %) al aplicar silicio foliar, siendo en mejor tratamiento la aplicación de 1.0 L/ha de silicio, quien redujo a 1.34 % la incidencia de moniliasis en frutos de cacao CCN -51.

Asimismo, a partir de la curva, ecuación de regresión polinómica ($y = 0.6393x^2 - 4.9582x + 13.638$, $R^2 = 0.8352$) se puede ver una correlación (asociación) muy buena entre la aplicación de silicio con la disminución de la incidencia de moniliasis en cacao. De acuerdo al modelo matemático la dosis máxima de silicato de potasio para lograr el máximo control posible es 3.8 L/ha.

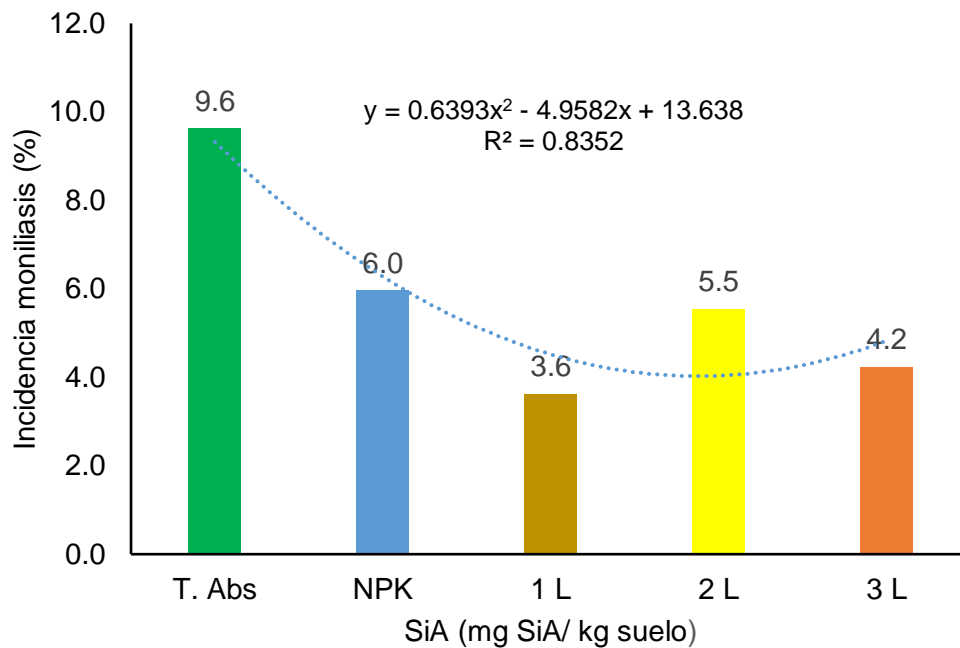


Figura 14. Reducción de la incidencia de moniliasis al aplicar silicato de potasio

4.3. Efecto del silicio en la neutralización del aluminio

En la Figura 15, se muestra la reducción de la saturación de aluminio, al aplicar niveles (100, 200 y 400 mg de SiA/kg de suelo) en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, escoria siderúrgica – silicato de calcio y silicato de potasio. Según la Figura 14 la aplicación de silicio activo (SiA), al suelo a partir de las fuentes: dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria redujeron la saturación de aluminio, con un coeficiente de determinación de (r^2 0.48 y 0.45) respectivamente.

Con una correlación inversa, es decir al incrementarse la dosis de silicio para ambas fuentes y en todos los niveles se reduce la saturación de aluminio. Esto se debería a que el aluminio estaría formando compuestos insolubles con

el silicio aplicado. Según COCKER *et al.* (1998) encontró que el aumento de la concentración de silicio disminuía la concentración del aluminio tóxico (Al^{+3}) en el suelo atribuyendo a la interacción de silicio – aluminio en el suelo, quienes forman complejos de aluminosilicatos, no tóxicos de aluminio. El anión ácido monosilícico $[Si(OH)_3]^-$ puede reemplazar el anión fosfato $[HPO_4]^{2-}$ del calcio, magnesio, aluminio y fosfatos de hierro (MATICHENKOV *et al.*, 2001). Sin embargo, la aplicación Silicato de Potasio, mostro una relación directa, con un coeficiente de determinación muy bajo, esto se explicaría a que el silicato de potasio esta formulado principalmente para aplicación foliar. La aplicación del silicio produce el H_4SiO_4 que se adsorbe sobre el hidróxido de Al, y que a su vez forma compuestos menos móviles y disminuye la actividad fitotóxica de éste en solución (PANOV *et al.*, 1982; BAYLIS *et al.*, 1994).

El aluminio móvil puede absorberse fuertemente en las superficies de sílice (SCHULTHESS y TOKUNAGA, 1996). El de silicio reduce la toxicidad del aluminio (Al) al formar hidroxialuminosilicatos (WADA y WADA, 1980; COCKER *et al.*, 1998), el aluminio monomérico se une al silicio precipitándose en forma insoluble (BARCELO *et al.*, 1993). Mejora la absorción de otros nutrientes por la planta y genera un efecto antagónico con los metales pesados evitando su absorción por las plantas (SINGH *et al.*, 2011; TRIPATHI *et al.*, 2012a, b).

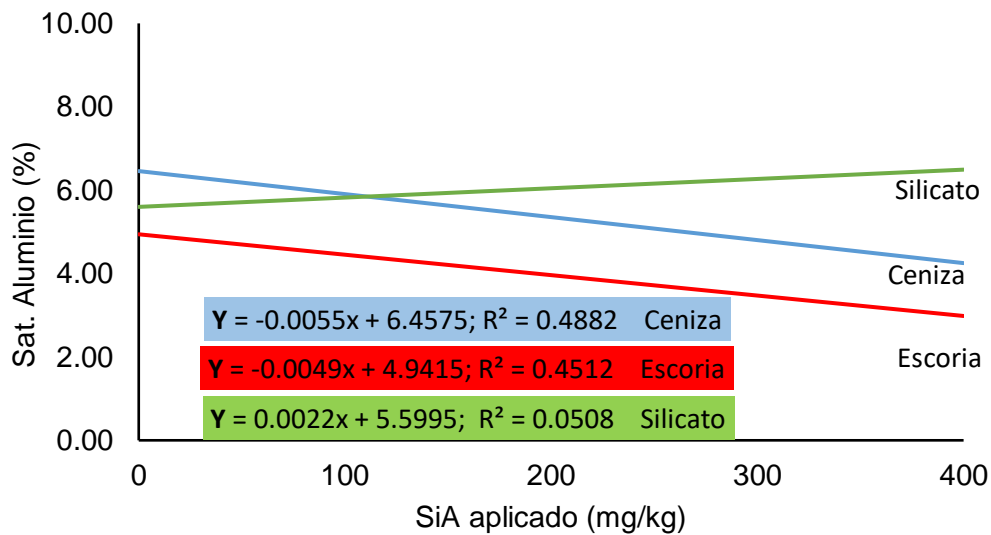


Figura 15 Efecto de la aplicación de SiA en la saturación de Aluminio del suelo.

4.4. Efecto del silicio en la disponibilidad de fósforo

En la Figura 16, se muestra la disponibilidad del fósforo, al aplicar niveles (100, 200 y 400 mg de SiA/kg de suelo) en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, escoria siderúrgica – silicato de calcio y silicato de potasio. Se puede observar que la aplicación de silicio activo (SiA), incrementa el fósforo disponible (extraído con Olsen modificado) presente en el suelo, siendo la fuente de escoria siderúrgica – silicato de calcio, quien presentó una asociación lineal directa (correlación positiva) con $r^2 = 0.53$, es decir conforme se incrementa aplicación de los niveles de SiA (100, 200 y 400 mg/kg), también se incrementa el fósforo disponible. La dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz mostro una relación polinómica con $r^2 0.53$.

Según MATICHENKOV *et al.* (2001) la liberación del anión-fosfato, es lo que lleva al incremento de fósforo en la solución del suelo y mejora la nutrición

de P en la planta por la aplicación de fertilizantes de Si, que asimismo puede actúa con otros elementos como adsorción físicamente P, N o K móviles y mantenerlos en una forma disponible para la planta. Sin embargo, el máximo nivel (400 mg/kg de SiA) de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz presenta un decrecimiento valor por lo que se puede inferir que dosis elevadas de SiA puede actuar como un ente antagónico para el fósforo. De igual forma la aplicación foliar de SiA (silicato de potasio), presenta una tendencia decreciente, por lo que no correlaciona ($r^2 = 0.0003$) con la disponibilidad de fosforo en el suelo, debido a que el producto esta formulado principalmente para aplicación foliar, el silicio altamente disponible se estaría perdiendo en el suelo.

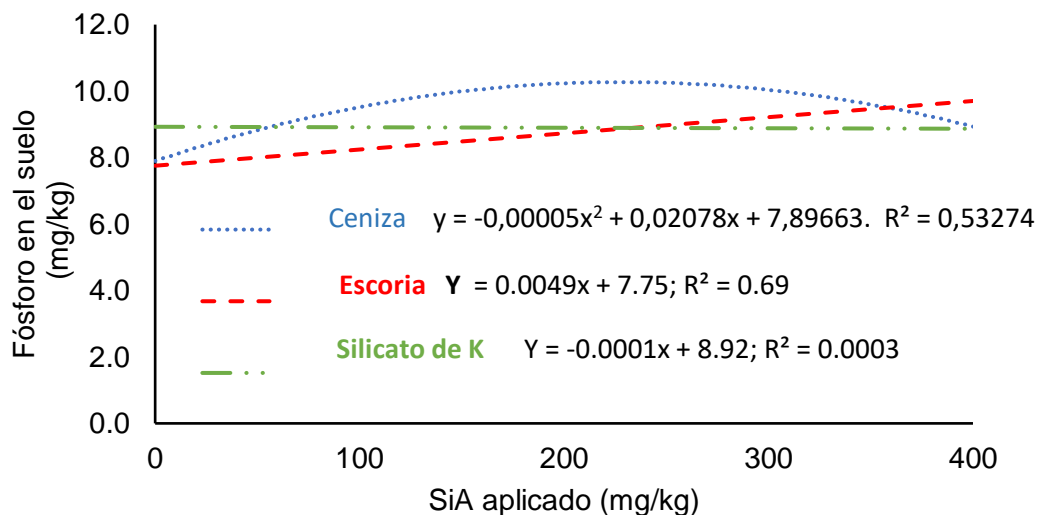


Figura 16. Efecto de la aplicación de SiA en la disponibilidad del fosforo en el suelo.

4.5. Efecto del silicio en la calidad del cacao

Se presenta el análisis de varianza de la calidad del cacao en cuanto a los sabores organolépticos (sabores básicos y sabores específicos), los cuales de acuerdo al grado o nivel que tenga se le denomina un cacao de alta, mediana o baja calidad. La evaluación sensorial se describe en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Análisis de varianza (ANVA) de la calidad organoléptica e industrial del cacao.

Fuentes de Variabilidad	G.L	Sabores básicos								Sabores específicos					
		Dulzor		Acidez		Astringencia		Amargor		Floral		Frutal		Herbal	
		Cuadrado medio	Sig.	Cuadrado medio	Sig.	Cuadrado medio	Sig.	Cuadrado medio	Sig.	Cuadrado medio	Sig.	Cuadrado medio	Sig.	Cuadrado medio	Sig.
Bloques	3	0,2652	NS	0,339	NS	0,0663	NS	0,25	NS	0,4242	S	0,1818	NS	0,6818	S
Tratamiento	10	0,0932	NS	0,0727	NS	0,042	NS	0,3909	NS	0,1682	NS	0,05	NS	0,2386	NS
Error	30	0,2068		0,1682		0,1496		0,2833		0,0909		0,1985		0,1402	
Total	43														
CV (%)			17.4		17.1		16.77		23.19		34.91		17.82		23.53

NS : No existe significancia estadística.
S : Estadísticamente significativo.

De acuerdo al Cuadro 16, no se tiene diferencias estadísticas significativas entre bloques, excepto el sabor específico floral y herbal. De igual forma entre tratamientos, es decir que todos tienen una calidad organoléptica similar y que la aplicación que de silicio es indistinto en cuanto a la variación de la calidad organoléptica de los sabores básicos y específicos de la pulpa y almendra fresca en cacao. Asimismo, se tiene un coeficiente de variabilidad regularmente bueno, comprendiendo entre 16.77 y 34.94 % en los sabores básicos y específicos.

Según la evaluación de calidad organoléptica medida de acuerdo a los sabores básicos (dulzura, acidez, astringencia y amargor) y específicos (floral, frutal y herbal) propios del fruto de cacao. Se obtuvieron los sabores básicos con una relativa homogeneidad en todos los tratamientos, sin embargo, en los sabores específicos se tiene relativas diferencias entre tratamientos, los cuales se pueden observar de manera más detallada en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Evaluación de la calidad organoléptica (sabores básicos y específicos) en la pulpa y almendra de cacao al aplicar silicio.

Tratamiento	SiA (mg/kg suelo) Aplicado	Dulzura	Acidez	Astringencia	Amargor	Floral	Frutal	Herbal
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az (100 ppm Sia) + NPK)	100	2.50	2.50	2.25	3.00	0.75	2.50	2.00
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az 200 ppm Sia) + NPK)	200	2.75	2.75	2.50	2.38	1.38	2.75	1.63
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az 400 ppm Sia) + NPK)	400	2.63	2.25	2.25	2.00	0.63	2.50	1.38
T ₄ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (100 ppm Sia) + NPK)	100	2.38	2.38	2.38	2.13	0.75	2.50	1.75
T ₅ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (200 ppm Sia) + NPK)	200	2.63	2.38	2.25	2.50	0.75	2.38	1.75
T ₆ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (400 ppm Sia) + NPK)	400	2.75	2.38	2.38	2.25	1.00	2.38	1.38
T ₇ (Silicato de Potasio (1 L/ha) +NPK)	100	2.75	2.25	2.13	1.88	0.88	2.50	1.75
T ₈ (Silicato de Potasio (2 L/ha) +NPK)	200	2.75	2.38	2.38	2.50	1.00	2.63	1.50
T ₉ (Silicato de Potasio (3 L/ha) +NPK)	400	2.50	2.38	2.25	2.00	0.75	2.50	1.50
T ₁₀ (Testigo con NPK)	-----	2.38	2.38	2.25	2.38	0.88	2.50	1.13
T ₁₁ (Testigo sin fertilizante)	-----	2.75	2.38	2.38	2.25	0.75	2.38	1.75

FUENTE: Elaboración propia.

- A Base de Ceniza de Cascarilla de Arroz : (Disp. Cz. Cascarilla Az.),
- Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio : (Escoria Siderúrgica – Si Ca)

En el Cuadro 17, se puede observar que los tratamientos (T₂, T₆, T₇, T₈ y T₁₁) tienen 2.75 puntos de dulzura, siendo el mayor nivel en cuanto a este sabor básico, sin embargo, los tratamientos (T₄ y T₁₀) tienen 2.38 puntos que es relativamente diferente a los demás tratamientos mencionados, esto nos indica que la aplicación de silicio es indistinta en el incremento de la calidad de cacao. De igual forma se tiene para el sabor acidez que el T₂ (2.75) presenta el mayor nivel y los demás tratamientos son similares. De esta misma forma se tiene para los siguientes sabores como astringencia y sabor.

En cuanto a los sabores específicos el T₂ presenta el mayor nivel en los sabores de floral (1.38) y fruta (2.75), siendo superior el T₁₀ quien solo tiene 0.88 y 2.50 puntos. Sin embargo, el material genético es CCN-51 segregante variado, por lo tanto, la calidad no podría observarse de forma estándar y estaría enmascarando el efecto real de los tratamientos (Cuadro 17)

En la Figura 17, se puede observar que en los sabores básicos (dulzura, acidez y astringencia) son muy similar a la aplicación de silicio ya que se, excepto el amargor, que a la aplicación de 100 mg SiA/kg suelo generó mayor nivel (3.0) de amargor. Y los demás niveles se presentan uniformes en un rango de 2 a 2.38 en promedio. Asimismo, el sabor específico de herbal es relativamente superior al aplicar este nivel mencionado, al respecto GARCIA (2008) indica que el CCN – 51 tiene en promedio 4.0 en amargor.

Seguidamente los sabores específicos son incrementados al aplicar 200 mg de SiA/kg suelo, siendo el sabor a floral y frutal los que sobresalen. No obstante, todas estas características aún se encuentran dentro de los niveles de cacao corriente tal como menciona MENEZES *et al.* (2016) quien indica que los niveles altos de amargor y astringencia del CCN – 51 hacen que sea de menor calidad con respecto a otros clones.

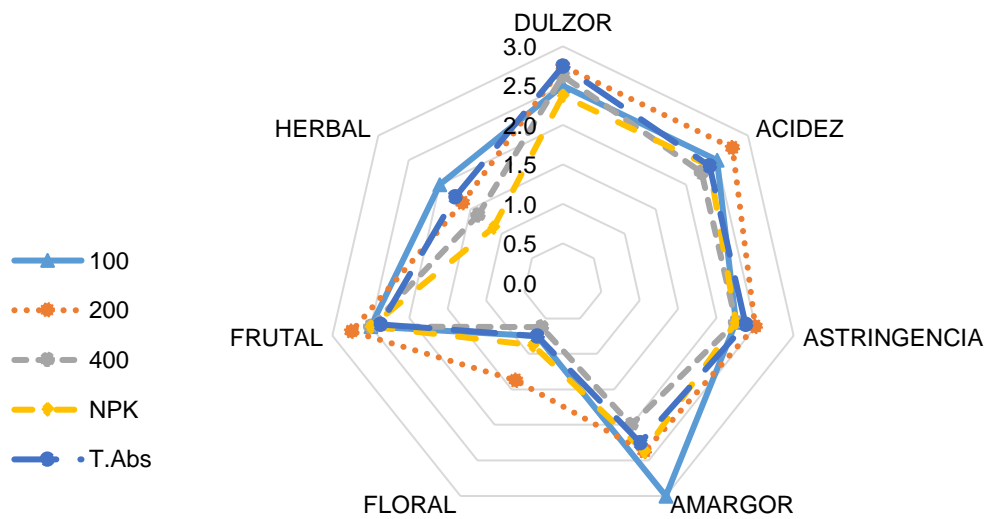


Figura 17. Efecto de la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz en la calidad organoléptica de la pulpa y almendra fresco en cacao

De acuerdo a la Figura 18, se puede observar que los sabores básicos no se ven influenciados por la aplicación de silicio en base de escoria siderúrgica – silicato de calcio, ya que todos presentan similar puntuación, siendo el dulzor (2.38 a 2.75), amargor (2.13 a 2.50), acidez y astringencia (2.25 a 2.38), asimismo los niveles de los sabores específicos como el floral (0.75 a 1.0), frutal

(2.38 a 2.50) y finalmente herbal (1.13 a 1.75), comprendiéndose corriente en calidad.

Al respecto MARTÍNEZ (2016), indica que la calidad de cacao se puede ver influenciado por las condiciones edafoclimáticas y procedencias. Asimismo, GARCIA (2008) menciona que el CCN – 51 se encuentra dentro de este rango de niveles mencionados, por lo cual la aplicación de silicio es indistinta en la calidad del cacao.

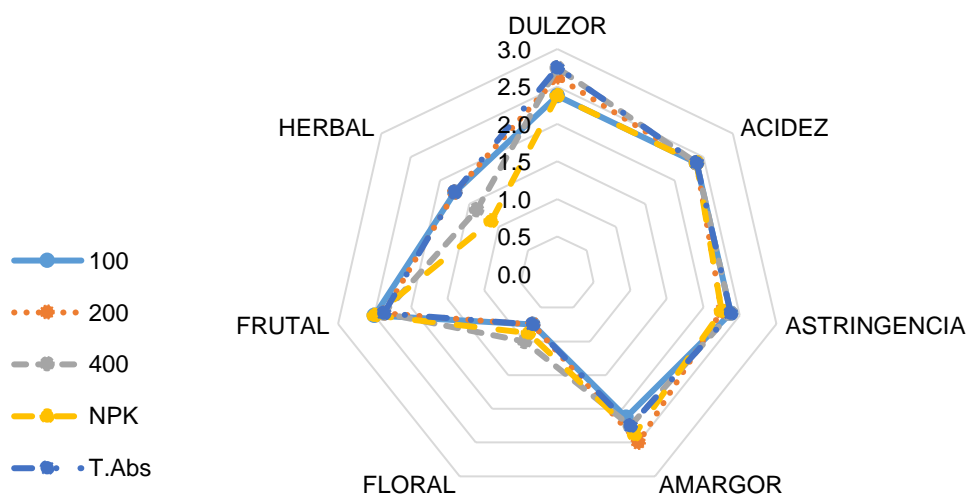


Figura 18. Efecto de la escoria siderúrgica - silicato de calcio en la calidad organoléptica de la pulpa y almendra fresco en cacao.

De acuerdo a la Figura 19 se puede observar que la aplicación de Silicato de Potasio no influye mucho a la calidad del cacao, ya que la variación que se tiene en los sabores básicos y específicos es muy minúscula, siendo el dulzor (2.38 a 2.75), amargor (1.88 a 2.50), acidez (2.25 a 2.38) y astringencia (2.13 a 2.38), asimismo los niveles de los sabores específicos como el floral (0.75 a 1.0),

frutal (2.38 a 2.63) y finalmente herbal (1.13 a 1.75). Sin embargo VASCO (2007) indica que el CCN – 51 tiene 3.67 de amargor, astringencia (3.58) acidez (4.14) y dulce (0.00), asimismo el sabor a floral (0.44), frutal (2.19) al ver este ámbito nos podemos deducir que si bien es cierto no se tiene diferencias significativas en los niveles de aplicación de silicato de potasio pero si se tiene un rango inferior en los parámetros evaluados, generando un cacao relativamente de calidad, al respecto MARTINEZ (2016) indica que la calidad del cacao se puede ver influenciada a las condiciones edafoclimáticas y lugares de procedencia del fruto.

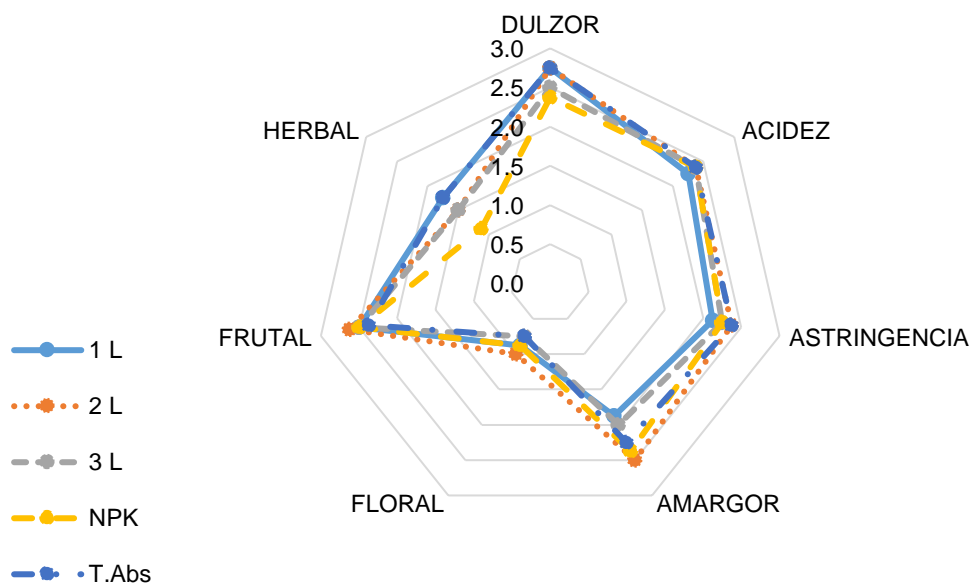


Figura 19. Efecto del silicato de potasio en la calidad organoléptica de la pulpa y almendra fresco en cacao.

4.6. Análisis de rentabilidad de la aplicación de los tratamientos

De acuerdo al Cuadro 18, se puede observar que el uso de escoria siderúrgica – silicato de calcio a un nivel de 100 mg/kg de suelo de SiA (T₄) y 3 L/ha de silicato de potasio (T₉) presentan la mayor relación de beneficio/costo, siendo 3.11 y 3.10 respectivamente, es decir que por cada sol invertido nos genera una ganancia de la cantidad mencionada, en comparación al T₁₁ (testigo sin fertilizante) quien presenta la menor relación beneficio/costo, siendo de tan solo 1.54, es decir que con este tratamiento se obtiene ésta mínima ganancia por cada sol invertido en la producción, al respecto BERGUE (2003) indica que por la eficiencia del uso de fungicidas, insecticidas y fertilizantes, reduce el costo de producción.

Este potencial del silicio se debe a la interacción del SiA en el suelo y planta, que, a través de varios factores, como reducción de la saturación de aluminio, aumento de la disponibilidad de fósforo, reducción de la incidencia de enfermedades e incremento del rendimiento, presumen el uso eficiente de fertilizante y agroquímicos, los cuales generan un beneficio muy favorable en la producción de este cultivo.

Cuadro 18. Análisis de rentabilidad de la aplicación de fuentes y niveles de silicio.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Valor de la Producción (Soles/ha)	Costo de producción (Soles/ha)	Utilidad neta (Soles/ha)	Índice de Rentabilidad	B/C
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az (100 ppm Sia) + NPK)	1825	12773	4525	8248	1.82	2.82
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az(200 ppm Sia) + NPK)	1929	13501	4815	8686	1.80	2.80
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az (400 ppm Sia) + NPK)	1982	13875	5390	8485	1.57	2.57
T ₄ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (100 ppm Sia) + NPK)	2082	14576	4690	9886	2.11	3.11
T ₅ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (200 ppm Sia) + NPK)	2169	15182	5130	10052	1.96	2.96
T ₆ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (400 ppm Sia) + NPK)	2221	15549	6025	9524	1.58	2.58
T ₇ (Silicato de Potasio (1 L/ha) +NPK)	1500	10500	4290	6210	1.45	2.45
T ₈ (Silicato de Potasio (2 L/ha) +NPK)	1525	10677	4340	6337	1.46	2.46
T ₉ (Silicato de Potasio (3 L/ha) +NPK)	1942	13596	4390	9206	2.10	3.10
T ₁₀ (Testigo con NPK)	1450	10153	4240	5913	1.39	2.39
T ₁₁ (Testigo sin fertilizante)	700	4900	3190	1710	0.54	1.54

FUENTE: Elaboración propio

Valor de producción : Rendimiento (kg/ha) x Precio
Utilidad neta : Valor de producción – Costos de producción.
Relación beneficio/costo : Costo de ventas / Costo de producción.
Índice de rentabilidad : Utilidad neta/ Costo de producción
Precio de 1 kg de cacao seco : S/. 7.00

4.7. Interacción silicio, suelo y planta

Según el Cuadro 19, se puede observar que la aplicación de los niveles (100, 200 y 400 mg SiA/kg suelo) de silicio en base a las tres fuentes orgánicas, genera un incremento en el rendimiento. De igual forma se puede distinguir que el SiA residual es proporcional al rendimiento, sin embargo, está proporcionalidad no es constante ya que al tener un mayor SiA en el suelo el rendimiento disminuye, posiblemente a algún factor antagónico con algunos nutrientes en el suelo, ya que las fuentes orgánicas no solo contienen SiA sino también CaO y MgO, los cuales general un incremento del pH del suelo pudiendo quelatar algunos nutrientes menores que contribuyen a la producción. Por otro lado, se puede ver que el T₁₁ (testigo sin fertilizante) tiene el mayor nivel de silicio residual (13.03 mg SiA/kg suelo), con un rendimiento mínimo de (700 kg/ha).

Cuadro 19. Evaluación de la extracción de silicio en la producción de cacao

Tratamiento	SiA (mg/kg) Aplicado	SiA (mg/kg) suelo	Si (mg/kg) foliar
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az (100 ppm SiA) + NPK)	400	12.58	26215.7
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az(200 ppm SiA) + NPK)	200	12.91	21947.1
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az (400 ppm SiA) + NPK)	100	10.79	23666.7
T ₄ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (100 ppm SiA) + NPK)	400	12.36	22248.5
T ₅ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (200 ppm SiA) + NPK)	300	10.62	21629.2
T ₆ (Escoria Siderúrgica – Si Ca (400 ppm SiA) + NPK)	200	9.76	23366.3
T ₇ (Silicato de Potasio (1 L/ha) +NPK)	-----	11.65	22064.1
T ₈ (Silicato de Potasio (2 L/ha) +NPK)	-----	13.40	37116.8
T ₉ (Silicato de Potasio (3 L/ha) +NPK)	-----	11.78	18647.1
T ₁₀ (Testigo con NPK)	-----	11.83	22250.2
T ₁₁ (Testigo sin fertilizante)	-----	13.06	24089.3

FUENTE: Elaboración propia.

- Dispersión a Base de Ceniza de Cascarilla de Arroz: (Disp. Cz. Cascarilla Az.),
- Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio: (Escoria Siderúrgica – Si Ca)
- Silicato de Potasio

La Figura 20, muestra efecto de las tres fuentes de silicio aplicado al suelo en la concentración de silicio activo (SiA) encontrado al final del experimento una relación inversa en las dos fuentes, es decir a mayor silicio aplicado al suelo se encontró menor silicio activo en el suelo al final del experimento, con el mayor coeficiente de determinación ($r^2=0.79$) para la escoria y con ($r^2=0.3$) para la ceniza, esto podría explicarse a que el silicio aplicado fue absorbido, inmovilizado o interperizado por el efecto del clima, puesto que las muestras de suelo se tomaron 10 meses después de aplicarse el producto. BERGHE (2003) menciona que en los suelos el SiA se libera lentamente en pequeñas cantidades a través de la acidificación de los silicatos por medio del ácido carbónico producido por la respiración de los microorganismos del suelo y las larvas, también se acidifican los silicatos con los ácidos orgánicos débiles y enzimas producidos por las raíces de las plantas y los microorganismos.

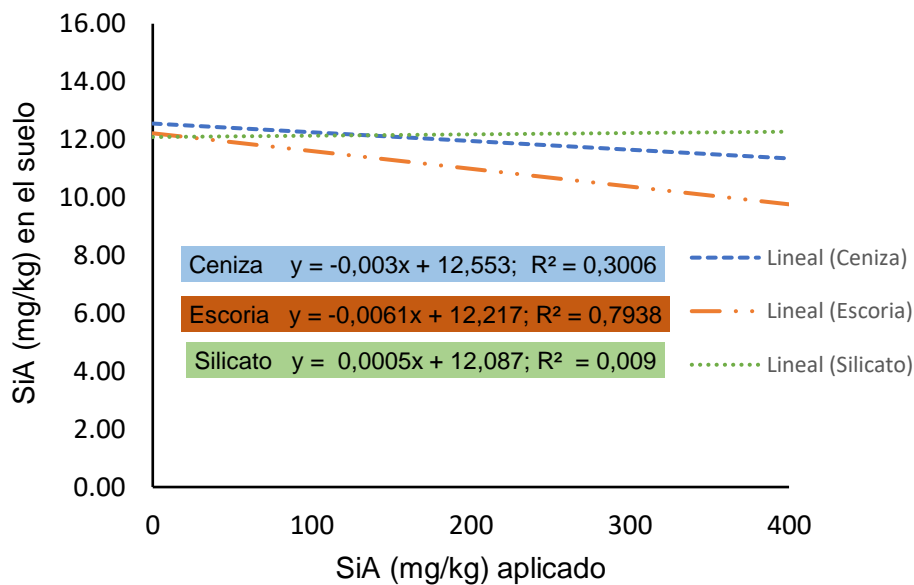


Figura 20. Efecto de las fuentes de silicio aplicado al suelo en la concentración de silicio activo (SiA).

La Figura 21, muestra la correlacion entre el silicio aplicado para las tres fuentes. Donde existe una correlacion directa con un coeficiente de determinacion de $r^2=0.4$, es decir a mayor niveles de silicio aplicado a partir de la Escoria siderurgica-silicato de Ca, mayor es la concentracion de silicio en la hoja del cacao. El silicato de potasio y la ceniza no muestran una correlacion significativa.

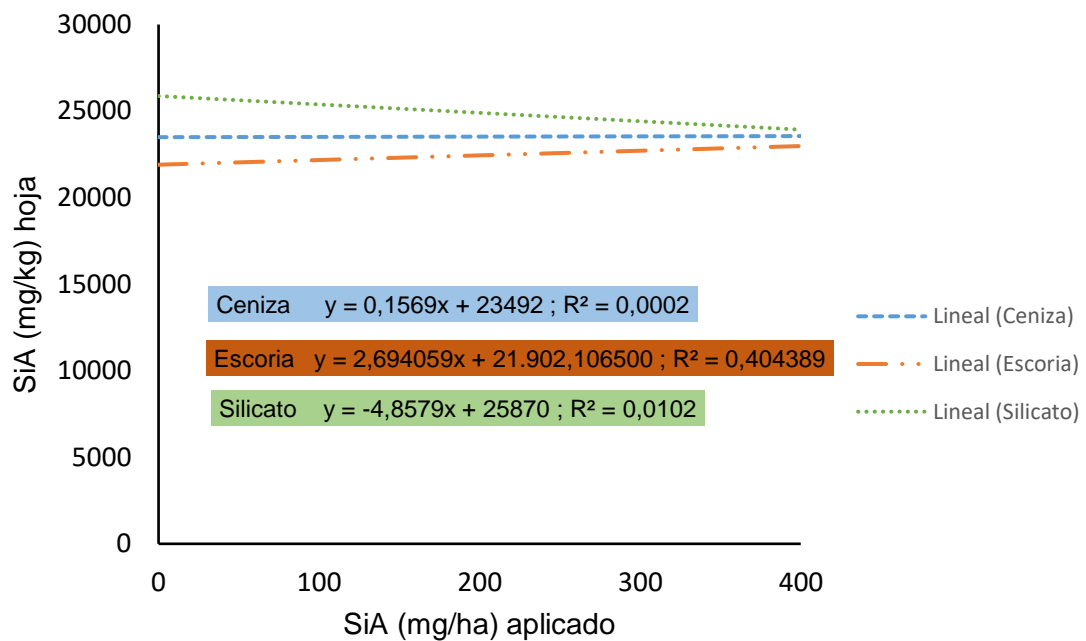


Figura 21. Efecto de las fuentes de silicio aplicado al suelo en la concentración de silicio en la hoja de cacao

V. CONCLUSIONES

1. La escoria siderúrgica – silicato de calcio aplicado al suelo a un nivel de 400 mg de SiA/kg de suelo (T6), presenta el mayor rendimiento con 2221 kg/ha de grano seco de cacao. Obteniendo la mayor relación beneficio costo (B/C) de S/. 3.11 soles de ganancia por S/. 1 sol invertido.
2. La escoria siderúrgica – silicato de calcio aplicado al suelo a un nivel de 200 mg de SiA/kg de suelo (T5), presenta la menor incidencia de moniliasis (*Moniliophthora roreri*), con 1.6 % generando un control de 80% comparado al testigo sin ninguna fertilización respectivamente (T11).
3. La dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria redujeron el porcentaje de saturación de aluminio, con un coeficiente de determinación de (R^2 0.48 y 0.45) respectivamente.
4. La escoria siderúrgica – silicato de calcio, presentó una asociación lineal directa (correlación positiva) con ($r^2 = 0.53$) con el fósforo, es decir conforme se incrementa aplicación de los niveles de SiA (100, 200 y 400 mg/kg de suelo), también se incrementa el fósforo disponible en el suelo.

VI. RECOMENDACIONES

- 1 El uso de escoria siderúrgica – silicato de Calcio 100 ppm SiA (T4), para incrementar el rendimiento y reducir la incidencia de “moniliasis” en cacao.
- 2 Utilizar la escoria siderúrgica – silicato de calcio, debido a su optimización en el beneficio de cosecha y rentabilidad.
- 3 Realizar una prueba más detallada del beneficio del SiA en la influencia de la calidad del grano de cacao.

VII. RESUMEN

Con el objetivo de determinar la mejor fuente y nivel de silicio en el incremento del rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en la incidencia de moniliasis en el cultivo de cacao y el efecto del silicio en la neutralización del aluminio y la disponibilidad del fósforo en el suelo. Se instaló el presente trabajo de investigación, ejecutándose entre octubre del 2016 y noviembre del 2017, en el margen izquierdo del río Huallaga a 100 km de Tingo María, en el centro poblado la Morada, distrito de Cholón, provincia de Marañón, departamento de Huánuco, cuyas coordenadas UTM son: 9033607 m Norte, 363590 m Este y a una altitud de 530 m.s.n.m., donde se aplicó un diseño de bloques completamente al azar, compuesto por un total de once tratamientos y cuatro repeticiones, siendo las variables fijas las fuentes (dispersión a base de ceniza, escoria – silicato de calcio y silicato de potasio) y niveles (100, 200 y 400 mg SiA/kg suelo).

Los resultados mostraron que la Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio, aplicado al suelo a un nivel de 400 mg de SiA/kg de suelo, presenta un rendimiento mayor de 2221 kg/ha de grano seco de cacao, incrementando el rendimiento en 34.7 % al comparar con el testigo con fertilización. Así mismo, la escoria siderúrgica – silicato de calcio aplicado al suelo a un nivel de 200 mg de SiA/Kg suelo, presentó la menor incidencia (1.56 %) de moniliasis (*Moniliophthora roreri*), generando un control de 73.8 y 83.7 % en comparación con el testigo con fertilizante y testigo sin ninguna fertilización respectivamente; la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria redujeron la saturación de aluminio; la escoria siderúrgica – silicato de calcio, presentó una asociación lineal directa

(correlación positiva) con ($r^2 = 0.53$), es decir conforme se incrementa aplicación de los niveles de SiA (100, 200 y 400 mg/kg de suelo), también se incrementa el fósforo disponible en el suelo; la mayor relación beneficio costo (B/C), presentó la escoria siderúrgica – silicato de calcio, siendo S/. 3.11 de ganancia por cada S/. 1 invertido y la cantidad de SiA en el suelo no influye en la calidad de grano del cultivo de cacao. Por lo que se recomienda el uso de escoria siderúrgica – silicato de calcio, para incrementar el rendimiento y reducir la incidencia de moniliasis en cacao.

ABSTRACT

With the objective of determining the best source and level of silicon in the increase of the yield of the cocoa crop (*Theobroma cacao* L.), in the incidence of moniliasis in the cocoa crop and the effect of the silicon in the neutralization of the aluminum and the availability of phosphorus in the soil. The present research work was installed, running between October and November 2016 - 2017, on the left bank of the Huallaga River, 100 km from Tingo María, in the populated center of La Morada, district of Cholón, province of Marañón, department of Huánuco , whose UTM coordinates are: 9033607 m North, 363590 m East and at an altitude of 530 meters above sea level, where a completely randomized block design was applied, consisting of a total of eleven treatments and four repetitions, the fixed variables being the sources (dispersion based on ash, slag - calcium silicate and potassium silicate) and levels (100, 200 and 400 mg SiA / kg soil).

As a result it was obtained that the Iron Silage - Calcium Silicate, applied to the soil at a level of 400 mg of SiA / kg of soil, has a higher yield of 2221 kg / ha of dry cocoa grain, increasing the yield in 34.7% when compared with the control with fertilization (T10). Likewise, the steel slag - calcium silicate applied to the soil at a level of 200 mg of SiA / Kg soil, showed the lowest incidence (1.56%) of moniliasis (*Moniliophthora roreri*), generating a control of 73.8 and 83.7% in comparison with the control with fertilizer and control without any fertilization respectively; dispersion based on rice husk and slag ash reduced aluminum saturation; steel silicate - calcium silicate, presented a direct linear association (positive correlation) with ($r^2 = 0.53$), that is, as application of SiA levels increases

(100, 200 and 400 mg / kg of soil), increases the available phosphorus in the soil; the highest cost benefit ratio (B / C), presented the steel silicate - calcium silicate, being S/. 3.11 profit per cas S /. 1 inverted and the amount of SiA in the soil does not influence the grain quality of the cocoa crop. Therefore, the use of steel silicate - calcium silicate is recommended to increase the yield and reduce the incidence of moniliasis in cocoa.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. AIME, M.C. y PHILLIPS- MORA, W. 2005. The causal agents of witches broom and frosty pod rot of cacao (chocolate, *Theobroma cacao*) form an new lineage of Marasmiceae - *Micología*. Estados Unidos. 97:1012- 1022.
2. ACEBO, M.; RODRIGUEZ, J.; QUIJANO, J. 2016. Estudios Industriales Orientación Estratégica para la toma de decisiones. Escuela Superior Técnica del Litoral.Ecuador. 42 p.
3. AFOAKWA, O.; PATERSON, A.; FOWLER, M.; y RYAN, A. 2008. Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. *Critical reviews in Food science and Nutrition*. Venezuela. 48(9): 840- 857.
4. AGRIOS, G. 2005. *Fitopatología de Plantas*, 5ta edición, Editor Academia Press. México. 948 p.
5. AGUILERA, O. 2017. Efecto de la aplicación edáfica de un compuesto a base de silicio, para mejorar la productividad en cacao CCN – 51. Tesis de Ingeniería agropecuaria de la Universidad de las Fuerzas Armadas – Ecuador. 64 p.
6. ASOCIACIÓN PERUANA DE PRODUCTORES DE CACAO – APPCACAO. 2011. [En línea: (<http://cacaoperuano.pe/>) Visitado el 18 de setiembre de 2017.]

7. AREVALO, E; ZUÑIGA, L; AREVALO, C y ADRIANZOLA, J, 2004. Manejo Integrado del Cultivo y Transferencia de Tecnología en la Amazonia Peruana, Cacao. Tarapoto, Perú. Pp 99-100.
8. BAÑOS, L. 2010. "Evaluación de 61 progenies híbridas de cacao en base a las características organolépticas" Tesis de grado previa a la obtención de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias de la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica estatal de Quevedo. Ecuador, Pp. 23-24.
9. BARCELO, J., P. GUEVARA, AND C. POSCHENRIEDER. 1993. Silicon amelioration of aluminium toxicity in teosinte (*Zea mays* L. ssp. Mexicana). Mexico. *Plant Soil* 154:249–255.
10. BARROS, O. 1966. Valor de las prácticas culturales como método para reducir la incidencia de *Monilia* en plantaciones de cacao. *Agricultura tropical*. Colombia.
11. BARROS, O. 1977. Investigaciones sobre el hongo *Moniliophthora roreri* Cif. & Par., causante de la pudrición acuosa de las mazorcas del cacao, sus daños y su control. *El Cacaotero Colombiano*. Colombia. 3:42-52.
12. BARROS, O. 1982. Historia de la moniliasis y sus repercusiones en los países productores de cacao en sur América. In Enríquez, G.A., ed. *La moniliasis de cacao: comprendió*. CATIE. Serie técnica. Informe técnico. no.28: 14-17.

13. BAYLIS, D.; GRAGOPOULOU, C.; DAVIDSON et al., 1994. Effects of silicon on the toxicity of aluminum to soybean. *Commun Soil Sci Plant Anal* 25:537–546
14. BERGHE, 2003. *Ácido silícico, al devolverlo a la cadena alimenticia*. Resumen de la Junta Consultiva compilado por la University of California en el Programa de Investigación y Educación de la Agricultura Orgánica (UCSAREP) para El Programa Orgánico Nacional del (USDA). Italia. 15 p.
15. BIEL, K. y MATICHENKOV, V. 2008. Papel protector del silicio en el sistema vivo. *Alimentos funcionales para enfermedades crónicas*, Ed. D. Martirosian, D & A Inc., Richardson, TX, Pp. 208 – 231.
16. BIRCHALL, D.; EXLEY, S.; CHAPPELL y PHILIPS, M. 1989. Acute toxicity of aluminium to fish eliminated in silicon-rich acid waters. *Nature* 338:146–148.
17. BRENES, E. 2003. Evaluación de la resistencia a *Monilia roleri* y su relación con algunas características morfológicas del fruto en cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis M. Sc. Turrialba, UCR-CATIE. Costa Rica, 60 p.
18. BOZA, J., MOTAMAYOR, C., AMORES, M., CEDEÑO-AMADOR, S., TONDO, L., LIVINGSTONE, S. y GUTIÉRREZ, A. 2014. Genetic characterization of the cacao cultivar CCN 51: its impact and significance on global cacao improvement and production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 139(2), 219-229.

19. BUSTOS, G. 2017. Efecto de un compuesto a base de silicio, sobre el manejo fitosanitario del cultivo de cacao CCN-51. Tesis de Ingeniería agropecuaria de la Universidad de las fuerzas armadas – Ecuador. 64 p.
20. CABEZAS, O. 2013. Manejo del cultivo de cacao. Guía técnica para el control de enfermedades en la localidad de Nuevo Progreso. Perú. 46 p.
21. CAMPUZANO, H. 1980. La moniliasis del cacao. Cacaoteros Colombia. 13: 21-24.
22. CERRON, 2002. Asistencia técnica dirigida en manejo del cultivo de cacao. Agro banco – UNALAM, Perú. 38 p.
23. COCKER, M.; EVANS, E.; HODSON, J. 2008: The amelioration of aluminium toxicity by silicon in higher plants: solution chemistry or an in planta mechanism? *Physiol. Plant.* Ecuador. 104, 608-614.
24. DELGADO, C y SUAREZ, C. 1993. Moniliasis del cacao. FUNDAGRO-INIAP. (Documento técnico 10). 18 p.
25. DESROSIERS, R; VON BUCHWALD, A. y BOLAÑOS, C. 1955. Effect of rainfall on the incidence of *Monilia* pod rot in Ecuador, *FAO Plant Protection Bulletin.* 3: 161 – 164.
26. DIA, G.; PRATISSOLI, D.; ZANUNCIO, J.; VICENTINI, V.; HOLTZ, A. y SERRÃO, J. 2008. Silicato de calcio y fertilizante organomineral influyen la fitofagia de *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) en plantas de berenjena (*Solanum melongena* L). *Interciencia.* Venezuela. 30(11): 835 - 838.

27. ENRÍQUEZ, G y SUÁREZ, C. 1978. Monilia disease of cacao in Costa Rica. Turrialba 28(5): 339-340.
28. ENRIQUEZ, A. 1983. El cultivo de cacao. Turrialba, editorial Limusa. Costa Rica. 25 p.
29. ENRÍQUEZ, G. 2004. Hongo monilla, 1ª causa en pérdida de cacao. Costa Rica. 68 p.
30. EVANS, C. 2004. Pod rot of cacao caused by Monilia (Moniliophthora roreri) phytopathological Papers 24: 1-44.
31. EVANS, C. y PRIOR, C. 1987. Cocoa pod diseases: causal agents and control. Outlook on Agriculture 16: 35 - 41.
32. FAO. 2008. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. 32 p.
33. FHIA, APROCACAO y PROMOSTA. 2003. Identificación y control de la Moniliasis del cacao. Proyecto control de la moniliasis, La Lima, Cortés, Honduras. 2, 7,8 y 15 p.
34. FLORES, D y GALINDO, J. 1998. Estudio de la germinación de conidios de Moniliophthora roreri en mazorcas de cacao. XXVIII Reunión Anual. Sociedad Americana de Fitopatología. División Caribe. San Andrés, Colombia. 14-17 septiembre. Pp. 35 -4 7.
35. FRANCO, T. 1958. Transmisión de la moniliasis del cacao por. 25 p.
36. Bogotá, División de Investigación Agropecuarias. Pp 130 - 136.
37. FUELL, D. 2003. Perú Cocoa production and outlook 2003. Foreign Agricultural Service GAIN Reporte 3006, USDA. Pp. 47 - 61.
38. GALINDO, J. y AREVALO, E. 1984. Estrategias para el combate de la moniliasis del cacao. CATIE; Turrialba, Costa Rica. 30 p.

39. GARCÍA, L. 2012. Catálogo de cultivares de cacao del Perú. Lima: MINAGRI y DEVIDA. Pp. 1-25.
40. HAAK, E.; SIMAN, G. 1992. Field experiments with Oyeslag (Faltorsok med Oyeslag). Report 185, Uppsala. 17 p.
41. HERNANDEZ, T. 1991. CACAO. Sistema de producción en la Amazonia Peruana. Proyecto de Promoción Agroindustrial AD/ PER/86//459 UNFDAC- PNUD/OSP. Tingo María. Perú. Pp. 56 - 67.
42. HERNANDEZ, T; RIOS, R y AREVALO, E. 2001. Moniliasis del cacao; detección y Distribución y control en el Perú. Proyecto AD/PER/759. UNDC-OSP. 30 p.
43. IGARASHI, L; ANDEBHRAN, T y KORDONFER, H. 1999. Silicon and Theobroma cacao. Silicio en la Agricultura, proyectos y resúmenes científicos. Florida – USA. 56 p.
44. INFORMATIVO AGROPECUARIO (INFOAGRO). 2010. El cultivo del cacao 1a Parte.
45. JORGENSEN, H. 1970. Monilia pod rot in Ecuador. Cacao (Costa Rica) 15:4-13.
46. LAZO, A. 2013. Principales factores limitantes de la productividad de los cultivos de cacao y café de la pequeña agricultura de la provincia de Leoncio Prado. Tesis de Maestría en planificación y gestión de la Universidad Nacional de Trujillo. 69 p.
47. LIENDO, J. 2003. Origen del aroma del Cacao. Maracay, Aragua, Venezuela. 11 p.

48. LOAYZA, W. 2014. Influencia de la frecuencia de remoción, durante la fermentación, en la calidad sensorial del cacao (*Theobroma Cacao*, L.) de Satipo. Tesis de Ingeniería de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Agraria de San Marcos. Lima, Perú. 87 p.
49. LÓPEZ, G y ENRÍQUEZ, V. 1980. Presencia de *Monilia roleri* Cif et Par. en el cacao, *Theobroma cacao* L. en la frontera de Costa Rica-Nicaragua. Managua, Nicaragua: Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Laboratorio de Fitopatología. 150 p.
50. MA J. y TAKAHASHI E., 2002. El suelo, el fertilizante, y la investigación del silicio de la planta en Japón. Edit. Elsevier, Países Bajos, 281 p.
51. MA J., TAMAI K., YAMAJI N., MITANI M., KONISHI S., KATSUHARA M., ISHIGURO M., MURATA Y y YANO M., 2006. Transportador de silicio en arroz. pp. 688-691.
52. MÁRQUEZ, K; BAILEY B; ARÉVALO, E; STREAM M; Y SAMUELS, J. 2010. Antibiosis de *Clonostachys* spp endófito contra los principales patógenos del cacao. Resúmenes XXI Congreso Peruano de Fitopatología, Tarapoto.
53. MATICHENKOV, V.; AMMOSOVA, M.; BOCHARNIKOVA, A. 2001. Influence of silicon fertilizers on plants and soil // *Agrokimiya (Agrochemistry)* [in Russian] 12: 30–38.
54. MCLAUGHLIN, H. 1950. Observation on cacao in Perú. Cacao information bulletin 2: 3-4.

55. MELGAREJO T. 1997. Selección de genotipos de cacao. Resumen, XVII Congreso de fitopatología, Pucallpa- Perú.
56. MENEZES, T.; BATISTA, N., RAMOS, L., SILVA, A., EFRAIM, P., PINHEIRO, M., y SCHWAN, R. 2016. Investigation of chocolate produced from four different Brazilian varieties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) inoculated with *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Research International*, 81, 83-90. Venezuela.
57. MEENA, D.; DOTANIYA, M.; COUMAR, S.; RAJENDIRAN, S.; KUNDU y RAO. 2014. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proc. Indian Natl. Sci. Acad. B Biol. Ecuador. Sci.* 84:505–518.
58. MINAG y PROAMAZONÍA. 2008. Caracterización de las zonas productoras de cacao en el Perú y su competitividad. Programa para el Desarrollo de la Amazonía. Ministerio de Agricultura. Informe final, diciembre, 207 p.
59. MULLER, A. 1941. El reconocimiento de las enfermedades de las plantas cultivadas de Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales. de Agricultores*, pp. 17-40.
60. MYHR, K.; ERSTAD, K. 1996 Converter slag a liming material on organic soils. *Nor J Agric Sci* 10:81
61. NAJAR Y THOMAS, 2001. El efecto de los microorganismos eficaces en la supresión del hongo *Moniliophthora roreri* bajo condiciones de laboratorio y campo con inoculación artificial. Guácimo, Costa Rica. Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomos. 50p.

62. ORELLANA, G. 1956. La moniliasis y otras enfermedades del cacao en el este de Panamá. Boletín Fitosanitario de la FAO 4:168-169.
63. PAREDES, M, 2003. Mar cultivo de Cacao. Programa para el desarrollo de la Amazonia. Ministerio de Agricultura. Pp. 40-41.
64. PANOV NP, GONCHAROVA NA, RODIONOVA LP (1982) The role of amorphous silicic acid in solonetz soil processes. Vestnik Agr Sci. Pp. 11-18
65. PERRY, C.C., AND T. KEELING-TUKER. 1998. Aspects of the bioinorganic chemistry of silicon in conjunction with the biometals calcium, iron and aluminium. J. Inorg. Chem. 69:181–191
66. PHILLIPS-MORA, W. 2003. Origin, biogeography, genetic diversity and taxonomic affinities of the cacao (*Theobroma cacao* L.) fungus *Moniliophthora roreri* (Cif) Evans et al. as determined using molecular, phytopathological and morphophysiological evidence. Ph.D.Thesis. University of Reading. Australia.ooo UK 349p.
67. PHILLIPS-MORA, W., COUTIÑO, A., ORTIZ, C.F., LOPEZ, A.P., HERNANDEZ, J.; AIME, M.C. 2006a. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot (moniliasis disease) of cocoa in Mexico. Plant Pathology 55: 584.
68. PHILLIPS-MORA, W., CAWICH, J., GAMETT, W.; AIME, M.C. 2006b. First report of frosty pod rot (moniliasis disease) caused by *Moniliophthora roreri* on cacao in Belize. Plant Pathology 55: 584.

69. PHILLIPS-MORA, W. y WILKINSON, M. J. 2007. Frosty pod of cacao: A disease with a limited geographic range but unlimited potential for damage. *Phytopathology* 97: 1644-1647.
70. PORRAS, H, 1982. Epitiología de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) del cacao y su relación con la producción del árbol en la zona de Matina. Tesis. ing. Agr. San José. Universidad de Costa Rica. Facultad de agronomía. 51p.
71. PORRAS, V. Y GONZÁLEZ, C. 1984. Liberación de conidios de *Monilia roreri* de frutos enfermos de cacao dejados en el árbol. *Fitopatología, Costa Rica, Catie*.
72. PORRAS, V y SANCHEZ, J. 1991. Enfermedades de cacao. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. La Lima, Cortés, Honduras.
73. PORRAS, H y ENRIQUEZ, G. 1998. Spread of *Monilia* pod rot of Cocoa through Central América. IICA, San José, Costa Rica. 20p.
74. PRATISSOLI D., ALMEIDA GD., JESUS WC., VICENTINI VB., HOLTZ AM, COCHETO JG. 2007. Fertilizante organomineral e argila silicatada como inductores de resistencia a viruela de la papaya. Ecuador. *Idesia* 25(1): 63–67.
75. PURDY, H. y SCHMIDT, R. A. 1996. Status of cacao witches' broom: biology, epidemiology, and management. *Annu. Colombia. Rev. Phytopathol.* 34(1): 573-594.
76. QUERO, E. 2006. Silicio en la protección de plantas, protección y nutrición de frutas y hortalizas. México, 550 p.

77. RAE, 2017. Glosario agrícola. [En línea]: (<http://ciencia.glosario.net/agricultura/rendimiento-agr%EDcola-11578.html>. visitado el 20 de Noviembre de 2017). Colombia.
78. RAM, A.1989. Biology, Epidemiology and control of Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) of Cacao Imperial College. University of London.
79. RODRÍGUEZ, E; MUJICA, J y CUBILLOS, G. 2005. Manejo Integrado de la Moniliasis en el cultivo de Cacao. Bucaramanga, Boletín Técnico. Colombia. Corpoica. 5-11p.
80. RORER, B. 1918. Enfermedades y plagas del cacao en Ecuador y métodos modernos apropiados al cultivo de cacao. Guayaquil, Ecuador. Asociación de Agricultores, pp. 17-40.
81. SCHULTHESS, P.; TOKUNAGA, Y. 1996. Metal and pH effects on adsorption of poly (vinilalcohol) by silicon oxide. Ecuador. Soil Sci Soc. Am J 60:92
82. SMYTH, T. y SANCHEZ, P. 1980. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to an oxisol on phosphorus sorption and ion retention. Soil Sci. Venezuela. Soc. Am. J. 44:500–505
83. SANCHEZ J. 2002. Reacción de cultivares de cacao a la inoculación artificial con *Moniliophthora roreri*. Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), M.sc. Tesis. 55p.
84. SANCHEZ, F. GARCÉS, F. 2012. *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al. En el cultivo de cacao. Venezuela. Scientia Agropecuaria 3(1) 249-258.

85. SANCHEZ, G. 2011. Niveles de resistencia de genotipos promisorios de cacao (*Theobroma cacao* L.), colección ICT para *Moniliophthora roreri* en la región San Martín. Tarapoto – Perú. 75 p.
86. SNYDER, H.; MATICHENKOV, V.; DATNOFF, L. 2006. Silicon - Handbook of Plant Nutrition. Massachusetts University. Estados Unidos: 551–568.
87. SORIA, J. 2004. Breve Historia del Cultivo de Cacao en el Ecuador. [En línea; (<http://www.sica.gov.ec/cadenas/caco/docs/historia%20cacai.hat>.) consultado el 12 de setiembre del 2017]. Ecuador.
88. SUAREZ; C: 1972. Mecanismo de penetración y proceso de infección de *Moniliophthora roreri* Cif. & Par. En frutos de cacao (*Theobroma cacao* L). In International Cocoa Research Conference, St. Augustine, 4^a. Trinidad and Tobago, Government. P 506-510.
89. SUAREZ, J y ARANZAZU, A. 2010. Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L) EN Colombia, con énfasis en *Monilia* (*Moniliophthora roreri*). Unión temporal de cacao – Colombia.
90. SINGH, R., N. GAUTAM, A. MISHRA, and R. Gupta. 2011. Heavy metal and living systems: An overview. *Ind. J.Pharmacol.* 43:246–253.
91. SMYTH, T.J., AND P.A. SANCHEZ. 1980. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to an oxisol on phosphorus sorption and ion retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:500–505.
92. TRIPATHI, D.K., V.P. SINGH, D. KUMAR, AND D.K. CHAUHAN. 2012b. Rice seedlings under cadmium stress: Effect of silicon on growth,

cadmium uptake, oxidative stress, antioxidant capacity and root and leaf structures. *Chem. Ecol.* Pp. 281–291.

93. VASCO, A. 2007. Caracterización organoléptica del cacao (*Theobroma cacao* L.), para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial. Quevedo, Ecuador. 93 p.
94. WADA, S., AND K. WADA. 1980. Formation, composition and structure of hydroxy-aluminosilicate ions. *Eur. J. Soil Sci.* Pp. 457–467.

IX. ANEXO



Figura 22. Selección del terreno (Poda), demarcación del terreno



Figura 23. Preparación de los productos para aplicar



Figura 24. Rendimiento obtenido por efecto de la escoria siderúrgica - SI CA 400 ppm (894 kg/ha) (a), Testigo absoluto (b).



Figura 25. Rendimiento obtenido por efecto dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz 400 ppm (575 kg/ha) (a), testigo absoluto (b)



Figura 26. Incidencia de moniliasis y rendimiento obtenido por los tratamientos: silicato de potasio 400 ppm (3 l/ha) (a), testigo absoluto (b)

Cuadro 20. Evaluación del rendimiento de grano de cacao.

Tratamiento	Bloque				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁	1870.4	1718.7	1773.2	1936.5	1824.7
T ₂	1987.0	1777.0	1920.9	2029.8	1928.7
T ₃	2022.0	1854.8	1979.2	2072.6	1982.2
T ₄	2189.2	1913.1	1983.1	2243.7	2082.3
T ₅	2224.2	1994.8	2119.2	2337.0	2168.8
T ₆	2270.9	2049.2	2181.4	2383.7	2221.3
T ₇	1609.8	1423.2	1403.7	1563.2	1500.0
T ₈	1582.6	1392.1	1516.5	1609.8	1525.3
T ₉	1652.6	2924.2	1555.4	1637.1	1942.3
T ₁₀	1380.4	1368.8	1450.4	1602.1	1450.4
T ₁₁	703.8	622.2	727.1	746.6	699.9

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21. Evaluación de la incidencia de moniliasis (*Moniliophthora roreri*).

Tratamiento	Bloque				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁	3.5	4.6	3.3	3.0	3.6
T ₂	2.0	4.0	3.0	3.3	3.1
T ₃	3.0	5.5	6.0	4.2	4.7
T ₄	1.6	4.0	3.0	3.0	2.9
T ₅	2.0	1.0	2.0	1.3	1.6
T ₆	3.3	2.0	4.0	3.0	3.1
T ₇	3.5	5.0	3.0	3.0	3.6
T ₈	4.0	6.5	5.7	6.0	5.5
T ₉	6.3	3.0	3.0	4.7	4.2
T ₁₀	4.6	8.0	6.5	4.8	6.0
T ₁₁	10.0	8.0	12.5	8.0	9.6

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 22. Resultado de análisis de silicio en suelo

Tratamiento	Bloque				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁	14.9	12.8	11.3	11.3	12.6
T ₂	9.4	14.3	15.9	12.0	12.9
T ₃	11.8	7.1	13.1	11.1	10.8
T ₄	11.8	12.5	12.0	13.1	12.4
T ₅	13.3	6.5	13.0	9.6	10.6
T ₆	8.5	5.1	9.9	15.5	9.8
T ₇	10.0	11.9	11.7	13.1	11.7
T ₈	13.3	12.8	13.4	14.2	13.4
T ₉	12.6	9.6	9.8	15.1	11.8
T ₁₀	10.7	12.6	9.8	14.2	11.8
T ₁₁	15.0	13.4	10.9	12.9	13.1

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 23. Resultado de análisis foliar de silicio.

Tratamiento	Bloque				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁	32125.77	18687.81	27948.85	26100.32	26215.69
T ₂	18181.62	24436.24	20438.34	24732.05	21947.06
T ₃	30613.94	18755.52	20177.45	25120.00	23666.73
T ₄	22007.38	18663.76	27452.27	20870.59	22248.50
T ₅	18896.33	24776.40	24557.75	18286.48	21629.24
T ₆	25552.86	23437.09	21145.34	23330.00	23366.32
T ₇	20774.67	22404.72	23977.89	21099.13	22064.10
T ₈	24774.59	17793.57	25500.44	80398.78	37116.85
T ₉	18484.14	17874.49	19667.87	18562.01	18647.13
T ₁₀	18159.34	19909.19	24675.39	26256.90	22250.21
T ₁₁	22984.21	21586.52	23102.67	28683.91	24089.33

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 24. Efecto del silicio en la neutralización de aluminio y disponibilidad del fósforo.

Tratamiento	Aluminio (Cmol (+)/kg)	Fósforo (ppm)	Silicio (ppm)
T₁	7.27	8.30	12.58
T₂	4.65	11.15	12.91
T₃	4.27	8.78	10.79
T₄	3.14	7.66	12.36
T₅	4.23	8.39	10.62
T₆	3.18	10.01	9.76
T₇	4.11	10.77	11.65
T₈	8.23	7.26	13.40
T₉	5.83	9.22	11.78
T₁₀	5.79	8.36	11.83
T₁₁	9.27	8.41	13.06

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 25. Detalles del costo de producción del experimento

GASTOS DE CULTIVO	U.M	Cantidad	Costo Unit.	Sub Total
Control de malezas	Jornal	1	25	25
Poda principal o general	Jornal	6	25	150
Deschuponado	Jornal	6	25	150
Control fitosanitario	Jornal	5	25	125
Remoción de enfermedades	Jornal	12	25	300
				750
INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO				
Preparación y abonamiento	Jornal	5	25	125
Preparación y aplicar abono foliar	Jornal	5	25	125
				250
INSUMOS Y MATERIALES				
Urea	Saco (50 kg)	2	75	150
Cloruro de Potasio	Saco (50 kg)	2	95	190
Superfosfato triple	Saco (50 kg)	2	110	220
Guano de Isla	Saco (50 kg)	4	60	240
Dispersión a base de cascarilla de arroz	Saco (25 kg)	11,5	50	575
Escoria silicato de calcio	Saco (25 kg)		50	0
Silicato de potasio	Litros		50	0
				1375
COSECHA Y BENEFICIO				
Cosecha	Jornal	35	25	875
Quiebra	Jornal	55	25	1375
Venta	Jornal	4	25	100
				2350
HERRAMIENTAS				
Machete	Unidad	1	10	10
Tijera de podar	Unidad	1	50	50
Tijera grande de poda	Unidad	1	30	30
				90
Total				4815