



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CARRERA DE AGRONOMÍA

Trabajo de Integración Curricular
previo a la obtención del Grado
Académico de Ingeniero
Agrónomo

Proyecto de Investigación:

“APLICACIONES DUALES DE RIZOBACTERIAS Y SILICIO COMO MECANISMO
DE DEFENSA A *Phytophthora palmivora* EN *Theobroma cacao* CCN51”

Autor:

Joel Fernando Bonilla Moran

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Hayron Fabricio Canchignia Martínez, PhD.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2024



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

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

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

Joel Fernando Bonilla Moran

C.I. 0941374043



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTGACIÓN

El suscrito, **Ing. Hayron Fabricio Canchignia Martínez, PhD.** Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante Joel Fernando Bonilla Moran, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Aplicaciones duales de rizobacterias y silicio como mecanismo de defensa a *Phytophthora palmivora* en *Theobroma cacao* CCN51**”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

.....

Ing. Hayron Fabricio Canchignia Martínez, PhD.
DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



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

El suscrito, **Ing. Hayron Fabricio Canchignia Martínez, PhD**, mediante el presente cumpro en presentar a usted, el informe del Proyecto de Investigación titulado “Aplicaciones duales de rizobacterias y silicio como mecanismo de defensa a *Phytophthora palmivora* en *Theobroma cacao* CCN51”, presentado por el estudiante Joel Fernando Bonilla Moran, egresado de la Carrera de Agronomía, que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis de COMPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un 95 % y similitud 5%, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento.

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**
magister

**TESIS FINALIZADA 8-11-24 -
COMPILATIO**

6%
Textos
sospechosos

5% Similitudes
< 1% similitudes entre
comillas
0% entre las fuentes
mencionadas
2% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TESIS FINALIZADA 8-11-24 -
COMPILATIO.docx
ID del documento: 555f45602af7e0165d03a8c0b9889cb8bd613feb
Tamaño del documento original: 493,05 kB
Autores: []

Depositante: HAYRON FABRICIO CANCHIGNIA
MARTINEZ
Fecha de depósito: 8/11/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 8/11/2024

Número de palabras: 8963
Número de caracteres: 59.568

.....

Ing. Hayron Fabricio Canchignia Martínez, PhD
DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Aplicaciones duales de rizobacterias y silicio como mecanismo de defensa a
Phytophthora palmivora en *Theobroma cacao* CCN51”

Presentado al Consejo Directivo de Facultad como requisito previo a la obtención del título
de Ingeniero Agrónomo.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Daniel Federico Vera Avilés, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Juan Antonio Torres Rodríguez, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Dra. Marisol Rivero Herrada, PhD.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2024

AGRADECIMIENTO

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento a las personas que hicieron posible esta meta: a mis profesores y directivos que me brindaron su mano amiga y apoyo incondicional.

A la gloriosa Universidad Técnica Estatal de Quevedo, institución digna que me acogió como estudiante y forjo mis conocimientos en la preparación profesional.

Mi agradecimiento sincero a mi director de tesis, Ing. Hayron Fabricio Canchignia Martínez PhD, por impartir sus conocimientos, apoyo y liderazgo para la exitosa culminación de este trabajo de investigación.

Ángel Cedeño, MSc. Ing. Cristhian Macías, Ing. Antonio Mendoza, MSc. por brindarme su amistad, apoyo y confianza en el tiempo que estuve en el laboratorio.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico primero a Dios por ser mi guía en el transcurso de la carrera.

A mi mamá que ha sido el pilar fundamental, quien me ha ayudado no decaer ni rendirme en este largo proceso, siempre estando conmigo en todo momento, apoyándose en cada instante.

A mi papá quien ha sido mi ejemplo a seguir siempre, que me ha enseñado y ha orientado en todo momento por las cosas buenas, siempre ha estado conmigo siendo un profesor más de esta hermosa carrera.

A mi abuelita que está en el cielo que sobre todo fue y siempre mi motivación en todo momento gracias todas sus enseñanzas, valores, que me enseñó siempre que todo con Dios por delante ahora cumplo su sueño que siempre quiso y sé que está orgullosa de mí.

A mi mami Kenia que más que una tía ha sido mi mama y otros de los pilares principales en todo momento para lograr las cosas con éxitos.

A mis hermanos Boris y Samuel, mi primo Carlos y mis amigos que han sido unas de las personas más importante en mi vida que también me han motivado y sobre todo han estado conmigo a pesar de todo

Joel Fernando Bonilla Moran

RESUMEN

El estudio evaluó la combinación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y silicio como defensa contra *Phytophthora palmivora* en cacao (*Theobroma cacao*, variedad CCN51), con el objetivo de Evaluar el efecto de las aplicaciones duales de rizobacterias y silicio como mecanismo de defensa a *Phytophthora palmivora* en *Theobroma cacao* CCN51. Se llevaron a cabo tres experimentos para analizar su efectividad. El primer experimento evaluó la compatibilidad entre varias cepas de rizobacterias y el silicio. Los resultados mostraron que las cepas “BMR2-4”, “BMR3-14”, “BMR4-19” y “BMR3-4” demostraron altos niveles de compatibilidad, sugiriendo una sinergia efectiva en los mecanismos de defensa de las plantas. El segundo experimento estudió las concentraciones de silicio y rizobacterias en el desarrollo radicular. Se observó que algunas combinaciones promovieron un crecimiento significativo en la longitud y masa de las raíces. Sin embargo, en ciertos casos, el silicio redujo los pelos absorbentes, indicando la necesidad de ajustar concentraciones para evitar efectos adversos. El tercer experimento analizó el potencial biocontrolador de la combinación de rizobacterias y silicio frente a *Phytophthora palmivora*, logrando una reducción de la enfermedad de hasta un 10% en comparación con los controles. En conclusión, la aplicación conjunta de rizobacterias y silicio se presenta como una estrategia prometedora para el manejo de enfermedades en el cacao, fortaleciendo la resistencia de las plantas y reduciendo la incidencia de *Phytophthora palmivora* de manera sostenible y eficaz.

Palabras claves: *Theobroma cacao*, *Phytophthora palmivora*, Silicio, Compatibilidad PGPR-silicio, Rizobacterias (PGPR), Biocontrol de enfermedades.

ABSTRACT

The study evaluated the combination of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and silicon as a defense against *Phytophthora palmivora* in cacao (*Theobroma cacao*, CCN51 variety), with the objective of assessing the effect of dual applications of rhizobacteria and silicon as a defense mechanism against *Phytophthora palmivora* in *Theobroma cacao* CCN51. Three experiments were conducted to analyze its effectiveness. The first experiment evaluated the compatibility between various rhizobacteria strains and silicon. The results showed that the strains "BMR2-4," "BMR3-14," "BMR4-19," and "BMR3-4" demonstrated high levels of compatibility, suggesting an effective synergy in plant defense mechanisms. The second experiment studied the concentrations of silicon and rhizobacteria in root development. It was observed that some combinations significantly promoted root length and mass growth. However, in certain cases, silicon reduced root hair growth, indicating the need to adjust concentrations to avoid adverse effects. The third experiment analyzed the biocontrol potential of the combination of rhizobacteria and silicon against *Phytophthora palmivora*, achieving a reduction in the disease of up to 10% compared to controls. In conclusion, the combined application of rhizobacteria and silicon emerges as a promising strategy for disease management in cacao, strengthening plant resistance and sustainably and effectively reducing the incidence of *Phytophthora palmivora*.

Keywords: *Theobroma cacao*, *Phytophthora palmivora*, Silicio, Compatibilidad PGPR-silicio, Rizobacterias (PGPR), Biocontrol de enfermedades.

TABLA DE CONTENIDO

CUBIERTA Y PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTGACIÓN	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CÓDIGO DUBLÍN	xviii
Introducción	1
CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1. Problema de investigación	4
<i>1.1.1. Planteamiento del problema</i>	4
Diagnóstico	4
Pronóstico	4
<i>1.1.2. Formulación del problema</i>	5
<i>1.1.3. Sistematización del problema</i>	5
1.2. Objetivos	6
<i>1.2.1. Objetivo General</i>	6
<i>1.2.2. Objetivos Específicos</i>	6
1.3. Justificación	7
CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	
2.1. Marco conceptual	10

2.1.1. <i>Cacao CCN51</i>	10
2.1.2. <i>Phytophthora palmivora</i> (<i>Mazorca Negra</i>)	10
2.1.3. <i>Rizobacterias</i>	10
2.1.4. <i>Silicio</i>	11
2.2. <i>Marco referencial</i>	11
2.2.1. <i>Origen del cacao (Theobroma cacao)</i>	11
2.2.1.1. <i>Características</i>	11
2.2.1.2. <i>Clasificación taxonómica</i>	12
2.2.1.4. <i>Enfermedades del cacao</i>	12
2.2.1.5. <i>Morfología del cacao</i>	13
2.2.1.6. <i>Enfermedades del cacao</i>	13
2.2.1.7. <i>Phytophthora palmivora en cacao</i>	14
2.2.3. <i>Uso de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en la nutrición mineral de cultivos</i>	14
2.2.4. <i>Fijación de nitrógeno atmosférico</i>	14
2.2.5. <i>Solubilización de fósforo</i>	15
2.2.6. <i>PGPR como biofertilizantes</i>	15
2.2.6. <i>Rizobacterias control de patógenos</i>	15
2.2.7. <i>Silicio</i>	16
2.2.8. <i>Propiedades del silicio</i>	16
2.2.9. <i>Mecanismo de acción del silicio en plantas</i>	17
2.2.9.1. <i>Fortalecimiento de la epidermis y protección contra patógenos</i>	17
2.2.9.2. <i>Incremento de la resistencia al estrés hídrico y salinidad</i>	17
2.2.10. <i>Inducción de resistencia sistémica</i>	17
2.2.11. <i>Mejora en el rendimiento del cultivo</i>	17
2.2.12. <i>Otras investigaciones relacionadas al tema</i>	18

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.....	21
3.2. Tipo de Investigación	21
3.3. Método de investigación.....	21
3.3.1. <i>Método deductivo</i>	21
3.3.2. <i>Método analítico</i>	22
3.4. Fuentes de recopilación de información.....	22
3.4.1. <i>Fuentes primarias</i>	22
3.4.2. <i>Fuentes secundarias</i>	22
3.5. Diseño de la investigación.....	22
3.5.1. <i>Factores de estudio</i>	22
3.5.2. Tratamientos	22
3.5.2.1 <i>Grado de compatibilidad entre el Silicio y rizobacterias que promuevan el crecimiento a su unidad formadora de colonia in vitro</i>	23
3.5.2.2. <i>Concentraciones de Silicio y rizobacterias en promover el desarrollo de la masa radicular en CCN51.</i>	23
3.5.2.3. <i>Potencial de biocontrol por la combinación del Silicio y PGPR a <i>Phytophthora palmivora</i> en <i>Theobroma cacao</i>.</i>	24
3.5.3. <i>Diseño experimental</i>	24
3.6. Instrumentos de investigación	26
3.6.1. <i>Manejo del Experimento</i>	26
3.6.1.1. <i>Compatibilidad entre las rizobacterias y el silicio.</i>	26
3.6.1.2. <i>Determinación de los efectos en el sistema radicular de plántulas por aplicación de PGPR y silicio mediante rizotrones.</i>	26
3.6.1.3. <i>Caracterización de los efectos biocontroladores producidos por la aplicación conjunta de PGPR y silicio</i>	26
3.6.2. <i>Variables evaluadas</i>	26

3.6.2.1. Grado de compatibilidad entre PGPR y Silicio a distintas concentraciones	26
3.6.2.1.1. Crecimiento de UFC.....	26
3.6.2.2. Determinación en los efectos en el sistema radicular de plántulas por aplicación de PGPR y silicio mediante rizotrones.	27
3.6.2.2.1. Longitud de las raíces.....	27
3.6.2.2.2. Masa PESO radícula	27
3.6.2.2.3. Longitud de pelos absorbentes (mm)	27
3.6.2.2.4. Área de pelos absorbentes (mm ²)	27
3.6.2.3. Caracterización de los efectos biocontroladores producidos por la aplicación conjunta de PGPR y silicio.....	27
3.6.2.3.1. Altura de la planta (cm).....	27
3.6.2.3.2. Incidencia de la enfermedad (%).....	28
3.6.2.3.3. Masa radicular	28
3.7. Tratamiento de los datos	28
3.8. Recursos humanos y materiales	28
3.8.1. Recursos humanos	28
3.8.2. Materiales	28
3.8.3. Material Vegetal.	29
3.8.4. Materiales de oficina.	29
3.8.5. Equipos de laboratorio.....	29
3.8.6. Reactivos.....	30
3.8.7. Material genético.....	30
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. Resultados.....	32
4.1.1. Grado de compatibilidad entre PGPR y Silicio a distintas concentraciones.....	32
4.1.1.1. Crecimiento de UFC.....	32
4.1.2.1. Longitud de las raíces.....	33

4.1.2.2. <i>Peso fresco radicular</i>	34
4.1.2.3. <i>Longitud de pelos absorbentes (mm)</i>	35
4.1.2.4. <i>Área de pelos absorbentes (mm²)</i>	37
4.1.3. <i>Caracterización de los efectos biocontroladores producidos por la aplicación conjunta de PGPR y silicio.</i>	38
4.1.3.1. <i>Altura de la planta (cm)</i>	38
4.1.3.2. <i>Incidencia de la enfermedad (%)</i>	39
4.1.3.3. <i>Peso radicular</i>	40
4.2. <i>Discusión</i>	41
4.2.1. <i>Grado de compatibilidad entre PGPR y Silicio a distintas concentraciones.</i>	41
4.2.2. <i>Determinación en los efectos en el sistema radicular de plántulas por aplicación de PGPR y silicio mediante rizotrones.</i>	42
4.2.3. <i>Caracterización de los efectos biocontroladores producidos por la aplicación conjunta de PGPR y silicio.</i>	42
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. <i>Conclusiones</i>	45
5.2. <i>Recomendaciones</i>	46
CAPITULO VI BIBLIOGRAFIA	
6.1. <i>Bibliografía</i>	48
CAPITULO VII ANEXOS	
7.1. <i>Anexos</i>	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del cacao	12
Tabla 2. Condiciones agroclimáticas del área de estudio.	21
Tabla 3. Tratamientos de estudio para determinar la compatibilidad.....	23
Tabla 4. Tratamientos de estudio para determinar el crecimiento radicular en plántulas. .	23
Tabla 5. Tratamientos de estudio para determinar los efectos biocontroladores.....	24
Tabla 6. Esquema del análisis de varianza para el experimento de compatibilidad.....	24
Tabla 7. Esquema del análisis de varianza para el experimento de Crecimiento radicular en plántulas.....	25
Tabla 8. Esquema del análisis de varianza para el experimento de efectos biocontroladores a <i>P. Palmivora</i> en plántulas.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grado de compatibilidad entre PGPR y silicio a una dosis determinada por medio de UFC.	32
Figura 2. Longitud de las raíces de las plantas de cacao CCN51 en rizotrones.	33
Figura 3. Longitud radicular de plantas cacao CCN51 en rizotrones.....	34
Figura 4. Peso fresco radicular radicular de plantas de cacao CCN51 en rizotrones.	35
Figura 5. Longitud de pelos absorbentes de plantas de cacao CCN51 en rizotrones.	36
Figura 6. Pelos absorbentes en diferentes tratamientos.....	36
Figura 7. Área de pelos absorbentes de plantas de cacao CCN51 en rizotrones.....	37
Figura 8. Altura de las plantas de cacao CCN51 a los 30 días.	38
Figura 9. Altura de las plantas de cacao CCN51 a los 60 días.	39
Figura 10. Incidencia de la enfermedad en plantas de cacao CCN51.	40
Figura 11. Peso radicular en plantas de cacao CCN51.....	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Grado de compatibilidad de silicio con las rizobacterias.	56
Anexo B. Concentraciones de silicio y rizobacterias en promover el desarrollo de la masa radicular en CCN51	56
Anexo C. Siembra de plantas de cacao y aplicación de los consorcios.	57
Anexo D. ADEVA primer experimento–grado de compatibilidad del silicio y rizobacterias.	57
Anexo E. ADEVA segundo experimento - longitud radicular.	57
Anexo F. ADEVA segundo experimento – peso fresco radicular.	58
Anexo G. ADEVA segundo experimento – área de pelos absorbentes.	58
Anexo H. ADEVA tercer experimento – altura de plantas a los 30 días.	58
Anexo I. ADEVA tercer experimento – altura de plantas a los 60 días.....	59
Anexo J. ADEVA tercer experimento – incidencia del patógeno.	59
Anexo K. ADEVA tercer experimento – peso radicular.....	59

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	“Aplicaciones duales de rizobacterias y silicio como mecanismo de defensa a <i>Phytophthora palmivora</i> en <i>Theobroma cacao</i> CCN51”
Autor:	Joel Fernando Bonilla Moran
Palabras Clave:	<i>Theobroma cacao</i> , <i>Phytophthora palmivora</i> , Silicio, Compatibilidad PGPR-silicio, Rizobacterias (PGPR), Biocontrol de enfermedades.
Fecha de publicación:	Noviembre, 2024
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2024
Resumen:	El estudio evaluó la combinación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y silicio como defensa contra <i>Phytophthora palmivora</i> en cacao (<i>Theobroma cacao</i> , variedad CCN51), con el objetivo de Evaluar el efecto de las aplicaciones duales de rizobacterias y silicio como mecanismo de defensa a <i>Phytophthora palmivora</i> en <i>Theobroma cacao</i> CCN51. Se llevaron a cabo tres experimentos para analizar su efectividad. El primer experimento evaluó la compatibilidad entre varias cepas de rizobacterias y el silicio. Los resultados mostraron que las cepas “BMR2-4”, “BMR3-14”, “BMR4-19” y “BMR3-4” demostraron altos niveles de compatibilidad, sugiriendo una sinergia efectiva en los mecanismos de defensa de las plantas. El segundo experimento estudió las concentraciones de silicio y rizobacterias en el desarrollo radicular. Se observó que algunas combinaciones promovieron un crecimiento significativo en la longitud y masa de las raíces. Sin embargo, en ciertos casos, el silicio redujo los pelos absorbentes, indicando la necesidad de ajustar concentraciones para evitar efectos adversos (...).
Abstract:	The study evaluated the combination of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and silicon as a defense against <i>Phytophthora palmivora</i> in cacao (<i>Theobroma cacao</i> , CCN51 variety), with the objective of assessing the effect of dual applications of rhizobacteria and silicon as a defense mechanism against <i>Phytophthora palmivora</i> in <i>Theobroma cacao</i> CCN51. Three experiments were conducted to analyze its effectiveness. The first experiment evaluated the compatibility between various rhizobacteria strains and silicon. The results showed that the strains "BMR2-4," "BMR3-14," "BMR4-19," and "BMR3-4" demonstrated high levels of compatibility, suggesting an effective synergy in plant defense mechanisms. The second experiment studied the concentrations of silicon and rhizobacteria on root development. It was observed that some combinations significantly promoted growth in root length and mass. However, in certain cases, silicon reduced root hairs, indicating the need to adjust concentrations to avoid adverse effects (...).
Descripción:	78 hojas; dimensiones, 29 x 21 cm + CD – ROM 6162
URL:	

Introducción

El cacao es una fruta tropical, es un cultivo que se encuentran mayormente en la región Costa y en la Amazonía (Almeida, 2018). La producción de cacao se concentra principalmente en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y Sucumbíos (Guerrero, 2014). Esto ha conllevado a tener una diversidad de cultivares con respuestas o tolerancia a variaciones y fluctuaciones de los parámetros microclimáticos.

El cacao, considerado un rubro importante en el Ecuador, representa también un capital social a razón de su presencia en la mayoría de las parcelas campesinas y fincas, generando una fuente favorable de ingresos (Anecacao, 2020). Sus semillas también están siendo usadas para la elaboración de finos chocolates.

Los síntomas causados por el hongo *Phytophthora palmivora* en la mazorca de cacao es la mancha negra, mancha parda, pudrición parda o negra del cacao es una enfermedad fúngica que afecta a *Theobroma cacao* (Lezaun, 2023). No ha sido considerada como una enfermedad económicamente importante (Suarez, 2015). comparada con escoba de bruja o monilia, debido a que su presencia suele ser ocasional, influenciada por las variaciones de temperatura y la susceptibilidad del huésped.

Los síntomas iniciales en las mazorcas, se observan aproximadamente 30 horas después de ocurrida la infección (ingreso de *Phytophthora*), donde aparecen pequeñas manchas de aspecto acuoso en la superficie del fruto, que se tornan oscuras y cubren la mazorca (Anecacao, 2020). El desarrollo de la enfermedad está influenciado por las condiciones ambientales las precipitaciones, la humedad relativa alta y temperaturas frescas crean un ambiente favorable para el desarrollo del patógeno (Zambrano y Iglesia, 2019)., donde sus fuentes principales de inóculo son suelo, raíces, hojas, cojines florales, flores y frutos infectados.

Existen diferentes alternativas para el control de este patógeno, tales como: métodos con extractos naturales de hojas de *Rosmarinus officinalis* (romero) y *Lavand ula* (lavanda), que reducen la germinación de las zoosporas de *P. palmivora* y *P. megakarya* (Widmer y Laurent , 2006), sintéticos, que no han logrado contrarestar la enfermedad en su totalidad.

Surge la necesidad de explorar y desarrollar nuevas estrategias de manejo integrado de enfermedades que sean efectivas, sostenibles y accesibles para los productores (Perez, 2022). Una solución prometedora radica en la aplicación dual de Rizo bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y silicio (Gomez, 2023). Las rizobacterias pueden mejorar la resistencia de las plantas mediante la inducción de mecanismos de defensa sistémicos, mientras que el silicio ha demostrado reforzar la resistencia estructural y bioquímica de las plantas frente a patógeno.

Los minerales que contienen silicio constituyen cerca del 40 % de los minerales comunes (Beltran, 2021). Incluyendo más del 90% de los minerales que forman rocas volcánicas (Lopez, 2020). Tiene características compartidas con el carbono, tales como: estar en la misma familia, no ser metales, poder constituir compuestos parecidos en estructura a las enzimas (zeolitas).

Este proyecto de investigación tiene como objetivo evaluar la eficacia de la combinación de rizobacterias y silicio como mecanismo de defensa contra *P. palmivora* en *Theobroma cacao* CCN51. Se espera que esta alternativa no solo reduzca la incidencia y severidad de la enfermedad, sino que también mejore el vigor general de las plantas y la productividad del cacao, ofreciendo una alternativa viable y sostenible para los agricultores.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

Theobroma cacao es una planta de gran importancia económica y social en muchas regiones tropicales. Sin embargo, se enfrenta a desafíos considerables debido a la presencia del patógeno *Phytophthora palmivora*, causante de la pudrición de la raíz y el collar. Esta enfermedad ha llevado a pérdidas significativas en la producción cacaotera, afectando la economía de los productores.

Esta enfermedad puede causar pérdidas significativas en la producción cacaotera, afectando negativamente la economía de los productores y las comunidades dependientes de este cultivo. La capacidad de *Phytophthora palmivora* para sobrevivir en el suelo y atacar las raíces y el collar de las plantas hace que su control sea particularmente difícil.

Diagnóstico

A pesar de los esfuerzos por controlar *Phytophthora palmivora*, las estrategias convencionales han mostrado limitaciones. Se requiere de enfoques innovadores que promuevan la resistencia de la planta de cacao a esta patología.

Existe una necesidad crítica de desarrollar métodos alternativos y sostenibles para la gestión de enfermedades de las plantas. Las prácticas agrícolas deben evolucionar para incluir estrategias que no solo sean efectivas, sino también ecológicamente responsables. En este contexto, la investigación sobre la aplicación de rizobacterias y silicio como mecanismos de defensa emergentes ofrece una promesa significativa. Sin embargo, el conocimiento sobre la eficacia y los mecanismos subyacentes de estas estrategias, especialmente cuando se aplican de manera conjunta, es limitado.

Pronóstico

La aplicación dual de rizobacterias y silicio se presenta como una posible solución para fortalecer el mecanismo de defensa de las plantas de cacao contra *Phytophthora palmivora*. Sin embargo, este enfoque no ha sido suficientemente explorado y requiere de investigación detallada.

1.1.2. Formulación del problema

¿Se podrá mejorar la resistencia del cultivo de cacao ante *Phytophthora palmivora* aplicar hacer una aplicación dual de silicio y rizobacterias?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Cuál sería la dosis adecuada de silicio para que sea compatible con las rizobacterias?
- ¿Cuál es la respuesta del cacao al hacer la aplicación de silicio y rizobacterias?
- ¿Qué efecto puede producir la aplicación de rizobacterias y silicio como manejo de *Phytophthora palmivora* en el cultivo de cacao?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de las aplicaciones duales de rizobacterias y silicio como mecanismo de defensa a *Phytophthora palmivora* en *Theobroma cacao* CCN51.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el grado de compatibilidad entre el silicio y rizobacterias a sus unidades formadoras de colonias *in vitro*.
- Evaluar concentraciones de silicio y las rizobacterias que promueven el desarrollo de la masa radicular en *Theobroma cacao*.
- Determinar el potencial biocontrol por la combinación del silicio y PGPR a *Phytophthora palmivora* en *Theobroma cacao*.

1.3. Justificación

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de gran importancia económica y social a nivel mundial. Es la base de la producción de chocolate, uno de los productos alimenticios más populares del mundo. El cacao también es una fuente importante de ingresos para millones de agricultores en países en desarrollo.

Phytophthora palmivora afecta negativamente la producción de cacao. Esta enfermedad, puede causar pérdidas significativas en los rendimientos y la calidad de los granos de cacao. Además, el patógeno puede persistir en el suelo y propagarse a través de las semillas, lo que dificulta aún más el control de la enfermedad. Esta enfermedad es una de las principales amenazas para la producción de cacao a nivel mundial, causando pérdidas de hasta el 80% de la cosecha en algunos casos.

La comprensión de la dinámica de crecimiento de *Phytophthora palmivora* es fundamental para desarrollar estrategias efectivas de manejo y control de la enfermedad. Al estudiar cómo se puede aumentar la resistencia a la planta ante el patógeno.

La relación entre el crecimiento del patógeno y el modelo de infección en los genotipos de cacao también puede brindar información sobre los mecanismos subyacentes de resistencia del cacao a *Phytophthora palmivora*.

Las rizobacterias son microorganismos beneficiosos que viven en la zona de la rizosfera de las plantas. Algunas rizobacterias tienen la capacidad de promover el crecimiento de las plantas, mejorar la absorción de nutrientes y proteger a las plantas contra enfermedades fúngicas.

El silicio (Si) es un elemento esencial para las plantas que desempeña un papel importante en la estructura de la pared celular, la resistencia a enfermedades y la tolerancia al estrés. El Si puede ser aplicado al suelo o a las hojas de las plantas para mejorar su salud y resistencia a enfermedades.

Las aplicaciones duales de rizobacterias y silicio se presentan como una alternativa prometedora para el control del marchitamiento vascular del cacao. Las rizobacterias pueden promover el crecimiento de las plantas y mejorar su capacidad de defensa contra

enfermedades, mientras que el Si puede fortalecer la estructura de la pared celular y hacer que las plantas sean más resistentes a la infección por *Phytophthora palmivora*.

Esta investigación es relevante en el contexto de la producción cacaotera y va dirigida a los agricultores y productores de cacao CCN51, ya que la resistencia de las plantas a enfermedades como la causada por *Phytophthora palmivora* es crucial para la sostenibilidad y rentabilidad de los cultivos. Además, el enfoque de aplicación dual de rizobacterias y silicio representa una posible alternativa a los métodos convencionales de control.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Cacao CCN51

Theobroma cacao CCN-51 es una variedad que se caracteriza por su alto rendimiento, tolerancia a enfermedades, elevado grado de compatibilidad y rápida adaptabilidad a ambientes secos. Aunque no es considerado como una variedad con buenas características organolépticas sigue siendo uno de los más elegidos en cuestión de productividad (Amores, 2011). Considerado tolerante a las enfermedades, con mazorcas y semillas grandes y de fácil manejo ya que no alcanza grandes alturas (Villamar, 2018).

2.1.2. *Phytophthora palmivora* (Mazorca Negra)

La mazorca negra o pudrición parda es causada por el Oomycete *Phytophthora sp* (Suárez Capello, 1993). A nivel mundial es una de las enfermedades más agresivas del cacao, pudiendo causar pérdidas del 30% de la producción cacaotera y la muerte anual del 10% de las plantas por cánceres en el tallo (Suárez Capello, 1993).

En Ecuador se ha identificado a la especie *Phytophthora palmivora* Butler como el agente causal. Sin embargo, no ha sido considerada como una enfermedad económicamente importante, comparada con escoba de bruja o monilia, debido a que su presencia suele ser ocasional, influenciada por las condiciones ambientales y la susceptibilidad del huésped. Por este motivo no alcanzaba la gravedad de las enfermedades antes mencionadas, siendo la lluvia con temperaturas de 18 a 20°C, el factor más importante para su desarrollo (Suárez Capello, 1993).

2.1.3. Rizobacterias.

Las rizobacterias son bacterias benéficas que promueven el crecimiento de las plantas al interactuar con sus raíces. Estas bacterias, conocidas como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), ofrecen beneficios como protección contra patógenos, fijación de nitrógeno y solubilización de fosfatos, mejorando la salud de las plantas y aumentando los rendimientos agrícolas. Su capacidad para generar variaciones funcionales y competir en

la rizosfera influye positivamente en el desarrollo de las plantas, convirtiéndolas en aliadas clave para la agricultura sostenible (Castaño y Durango, 2021).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno pueden ser simbióticas, asociativas o libres, cada una con diferentes características en términos de fuente de energía, protección del oxígeno y transferencia de nitrógeno fijo. La fijación simbiótica ocurre en los nódulos radiculares de las plantas huésped, donde las bacterias convierten el nitrógeno atmosférico en amoníaco para beneficio mutuo. Este proceso no solo reduce la necesidad de fertilizantes nitrogenados, sino que también promueve una agricultura más sostenible al mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y el crecimiento de las plantas (Castaño, 2021).

2.1.4. Silicio

El silicio es un elemento químico metaloide, con número atómico 14 y es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno. Se encuentra en el grupo 14 de la tabla periódica y es fundamental en diversas aplicaciones. Se utiliza en la industria electrónica y microelectrónica para la creación de obleas, pilas solares y circuitos electrónicos. Además, el silicio es un componente clave en la fabricación de transistores, células solares y dispositivos semiconductores (González y Martínez, 2021)

2.2. Marco referencial

2.2.1. Origen del cacao (*Theobroma cacao*).

El cacao tuvo su origen en América, pero no se puede indicar con precisión el lugar específico ni su distribución. Algunos autores indican que el cultivo de cacao se inició en México y América Central y señalan que los españoles no lo vieron cultivado en América del Sur cuando arribaron a ese continente, lo encontraron creciendo en forma natural en muchos bosques a lo largo de los ríos Amazonas y Orinoco y sus afluentes, donde aún hoy existen tipos genéticos de mucho valor (Batista, 2009).

Ecuador es país líder en la producción de cacao de excelencia, el cacao fino de aroma, con un volumen de cerca de 200,000 t / año, producto cuya demanda global ha crecido generando una demanda insatisfecha de cerca 120,000 t / año. Cerca de 100 mil familias de pequeños productores están involucradas en la cadena de suministro (99% del total); El 60% no tiene

la propiedad de la tierra y mantiene bajos niveles de productividad (5 q / ha), el 80% usa productos agroquímicos y solo unos pocos se reúnen en asociaciones (Cefaecuador, 2022).

2.2.1.1. Características

El Cacao es un árbol de hoja perenne y tronco larguirucho, aunque realmente es una especie pequeña. Mide de 4 a 8 metros de altura y de 5 a 20 centímetros de ancho. Cuenta con una raíz principal que se adentra varios metros por debajo de la superficie del suelo. Presenta hojas delgadas de un brillante verde oscuro que se disponen de forma alterna y cuya base es redondeada mientras que la punta es alargada. Miden entre 20 y 35 centímetros de largo y 7-8 centímetros de ancho (Gonzales, 2022).

Desarrolla unas flores pequeñas amarillo pálido a rosa que se agrupan en racimos que crecen directamente del tronco. Esta característica de crecimiento directo sobre el tronco o las ramas es inusual en los árboles. Los frutos son vainas rojizas a marrones, de forma cilíndrica o esférica que contienen numerosas semillas en una pulpa viscosa (Gonzales, 2022).

2.2.1.2. Clasificación taxonómica

Según (Dostert et al., 2012), la clasificación taxonómica está dada de la siguiente manera:

Tabla 1

Clasificación taxonómica del cacao

Clasificación Taxonómica	
Orden:	Malvaes
Familia:	Sterculiaceae
Subfamilia:	Byttnerioideae
Tribu:	Theobromaeae
Genero:	<i>Theobroma</i>
Especie:	<i>Theobroma cacao</i>

2.2.1.4. Enfermedades del cacao

Como en cualquier otra planta o cultivo, el árbol de cacao puede ser muy vulnerable a diferentes enfermedades. Y es que las condiciones donde nace este árbol hacen que sea muy propicio el desarrollo de todo tipo de enfermedades y plagas, sobre todo por las condiciones

climáticas y de suelo. Estas plagas y enfermedades son uno de los más grandes enemigos del cacao, ya que pueden provocar que este se estropee por completo (Nallar, 2021).

En Ecuador el cultivo de cacao es afectado por dos enfermedades primarias y endémicas, la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*) y monilia (*Moniliophthora roreri*) estas son causantes de hasta el 80% de pérdidas en la producción cacaotera, pudiendo llegar al 100% en épocas de alta infección. Entre éstas se destacan la mazorca negra (*Phytophthora palmivora*) el mal de machete (*Ceratocystis fimbriata*) y la muerte regresiva (*Lasiodiplodia theobromae*) que pueden causar la pérdida de la unidad productiva (Solis, 2021).

2.2.1.5. Morfología del cacao

Theobroma cacao es un árbol o arbusto semicaducifolio de hasta 12 a 20 m de altura, y en cultivo se mantienen normalmente a 4 a 8 m, el tallo es glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes. La corteza es oscura, gris-café. Las ramas son cafés y finamente vellosas. Las hojas son coriáceas (o cartáceas) simples, enteras (o ligera e irregularmente sinuadas), angostamente ovadas a obovado-elípticas, ligeramente asimétricas, 17 a 48 cm de largo y 7—10 cm de ancho, alternas y glabras o laxamente pubescentes en ambas caras (Dostert et al., 2012).

La base de las hojas es redondeada a ligeramente cordada, ápice largamente apiculado, el fruto es una baya grande (mazorca), polimorfa, esférico a fusiforme, púrpura o amarillo en la madurez, glabro, 10 a 20cm de largo 7 cm ancho, 200 a 1000 gr de peso y con 5 a 10 surcos longitudinales. El endocarpio es de 4 a 8 mm de grosor, duro y carnoso, y leñoso (Dostert, 2012).

2.2.1.6. Enfermedades del cacao.

Las enfermedades más destructivas del árbol del cacao son las podredumbres de la vaina también llamada vaina negra está causada por un hongo (*Phytophthora*) que se propaga rápidamente en las vainas en condiciones de lluvia y humedad excesivas, insolación insuficiente y temperaturas inferiores a 21 °C (70 °F). La escoba de bruja (causada por *Moniliophthora perniciosa*) y la podredumbre helada de la vaina (causada por *M. roreri*) son enfermedades graves que afectan a los cultivos de América y las Indias Occidentales y preocupan mucho a los cultivadores de África y Asia, que tratan de evitar su propagación

para no tener problemas en los cultivos de los productores afectados por esta enfermedad (Hebbar, 2007).

2.2.1.7. *Phytophthora palmivora* en cacao

Phytophthora, como oomiceto, forma parte de un grupo distinto de microbios eucariotas similares a los hongos, comparte una serie de rasgos morfológicos con los hongos, pero posee otras características exclusivas de las plantas, el principal componente de su pared celular es la celulosa, a diferencia de los hongos verdaderos, que consiste principalmente de quitina (Perrine-Walker, 2020). *P. palmivora* aparte de atacar las mazorcas del cacao causando pudrición, cáncer en tejidos leñosos y cojín floral, ataca a plántulas causando la necrosis de las hojas (tizón), daños en el sistema radicular y su tallo principal, llegando hasta el punto de senescencia (Polanco, 2015).

2.2.3. *Uso de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en la nutrición mineral de cultivos*

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) son bacterias benéficas que influyen positivamente en la nutrición mineral de los cultivos. Estas bacterias colonizan la rizósfera de las plantas, mejorando la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio a través de mecanismos como la fijación biológica de nitrógeno y la solubilización de minerales. La inoculación con PGPR puede aumentar la eficiencia en la absorción de nutrientes, promover el crecimiento de las plantas y contribuir a una agricultura más sostenible (León y González, 2022).

2.2.4. *Fijación de nitrógeno atmosférico*

Las bacterias fijadoras de nitrógeno, como *Rhizobium*, *Azotobacter* y *Azospirillum*, desempeñan un papel crucial en la agricultura al convertir el nitrógeno atmosférico en formas utilizables por las plantas. Estas bacterias forman simbiosis con las plantas, especialmente leguminosas, permitiéndoles fijar nitrógeno y mejorar su crecimiento. La fijación biológica de nitrógeno implica la conversión de N_2 en amoníaco (NH_3) a través de la enzima nitrogenasa. Este proceso es vital ya que el nitrógeno es esencial para el desarrollo vegetal, siendo un componente clave de proteínas y ácidos nucleicos (Cabrera & Bonilla, 2018)

Las bacterias fijadoras de nitrógeno pueden ser simbióticas, asociativas o libres, cada una con diferentes características en términos de fuente de energía, protección del oxígeno y transferencia de nitrógeno fijo. La fijación simbiótica ocurre en los nódulos radiculares de

las plantas huésped, donde las bacterias convierten el nitrógeno atmosférico en amoníaco para beneficio mutuo. Este proceso no solo reduce la necesidad de fertilizantes nitrogenados, sino que también promueve una agricultura más sostenible al mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y el crecimiento de las plantas (Castaño, 2021)

2.2.5. Solubilización de fósforo

Las rizobacterias, como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, y otras, desempeñan un papel crucial en la solubilización de fosfatos en el suelo. Estas bacterias producen ácidos orgánicos que ayudan a solubilizar el fosfato inorgánico, mejorando así la disponibilidad de fósforo para las plantas. Estudios han demostrado que cepas de *Bacillus* aisladas de la rizósfera de caña de azúcar pueden solubilizar fósforo a partir de fosfato tricálcico, con concentraciones de fósforo solubilizado entre 100 y 300 µg/mL en medios líquidos. La solubilización de fosfatos por estas bacterias es fundamental para mejorar el rendimiento de los cultivos y reducir la dependencia de fertilizantes químicos, promoviendo así una agricultura más sostenible (Sood, 2020).

2.2.6. PGPR como biofertilizantes

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), como las del género *Azospirillum*, son fundamentales en la agricultura sostenible al actuar como biofertilizantes. Estas bacterias colonizan la rizosfera y estimulan el crecimiento de las plantas mediante diversos procesos beneficiosos, como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfatos, la producción de hormonas vegetales y el control biológico de patógenos. Su aplicación como biofertilizantes contribuye a mejorar el rendimiento de los cultivos, reducir la dependencia de fertilizantes químicos y promover una agricultura más sostenible (Zin y Badaluddin, 2020).

2.2.6. Rizobacterias control de patógenos

Las rizobacterias, como las del género *Pseudomonas*, desempeñan un papel crucial en el control biológico de patógenos en las plantas. Estas bacterias tienen la capacidad de producir una amplia variedad de compuestos bioactivos que ayudan a combatir patógenos como hongos, bacterias, nematodos e insectos. Además, las rizobacterias pueden inducir resistencia en las plantas contra enfermedades fúngicas, bacterianas y virales, así como

mejorar la salud de las plantas a través de mecanismos como la producción de sideróforos, antibióticos, compuestos volátiles y enzimas líticas. Este enfoque de control biológico de patógenos mediante el uso de rizobacterias no solo beneficia a los cultivos al reducir la necesidad de productos químicos, sino que también contribuye significativamente al desarrollo de una agricultura sustentable (Castaño, 2021).

2.2.7. Silicio

El silicio es un elemento químico metaloide, con número atómico 14 y es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno. Se encuentra en el grupo 14 de la tabla periódica y es fundamental en diversas aplicaciones. Se utiliza en la industria electrónica y microelectrónica para la creación de obleas, pilas solares y circuitos electrónicos. Además, el silicio es un componente clave en la fabricación de transistores, células solares y dispositivos semiconductores (González, 2021)

En la salud, se emplea en implantes de seno y lentes de contacto, mientras que en la industria cerámica se utiliza en la preparación de siliconas. El silicio también desempeña un papel importante en el control biológico de patógenos en las plantas, ya que las rizobacterias pueden producir compuestos bioactivos a partir de este elemento para combatir enfermedades (Huaman, 2021).

2.2.8. Propiedades del silicio

El silicio, un elemento esencial en la agricultura, desempeña un papel crucial en el fortalecimiento de las plantas y la mejora de la productividad de los cultivos. Su aplicación en la agricultura ha demostrado beneficios significativos, como el aumento de la resistencia de las plantas a enfermedades, insectos y condiciones ambientales adversas. Además, el silicio contribuye a la restauración de suelos degradados, mejorando su estructura y fertilidad (Martínez y Aquino, 2021).

Al fortalecer la epidermis de las plantas, el silicio actúa como una barrera física contra patógenos y ayuda a reducir la erosión del suelo. Estos efectos combinados hacen del silicio un aliado importante para promover una agricultura sostenible y aumentar la calidad y cantidad de las cosechas. Además, su uso no solo incrementa la resistencia de las plantas frente a enfermedades, sino que también favorece la retención de nutrientes, lo que puede

optimizar el rendimiento de las cosechas a largo plazo. El silicio también mejora la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés, como sequías o temperaturas extremas. Al optimizar la absorción de agua y nutrientes, contribuye a un crecimiento más robusto y a una mayor eficiencia en el uso de recursos. (Vélez, Unda, y Aguilar, 2022).

2.2.9. Mecanismo de acción del silicio en plantas

El silicio ejerce múltiples mecanismos de acción en las plantas que contribuyen a mejorar su resistencia y productividad. Algunos de estos mecanismos incluyen:

2.2.9.1. Fortalecimiento de la epidermis y protección contra patógenos.

El silicio se acumula en los tejidos epidermales de las plantas, fortaleciendo mecánicamente sus tejidos y formando una barrera protectora contra enfermedades, insectos y hongos. Este efecto protector ha demostrado ser tan efectivo como el uso de pesticidas y fungicidas, sin afectar el ecosistema del cultivo (Chávez y Herrera, 2023).

2.2.9.2. Incremento de la resistencia al estrés hídrico y salinidad.

El silicio aumenta la resistencia de las plantas al estrés hídrico y a la salinidad al reforzar las paredes de los canales de alimentación de aire en las raíces, permitiendo a las plantas respirar en suelos saturados de agua. Además, reduce los síntomas de toxicidad por metales y participa en la producción de plantas más sanas y resistentes a plagas y enfermedades (Cassel, et al., 2021)

2.2.10. Inducción de resistencia sistémica.

El silicio actúa como inductor de resistencia sistémica en las plantas mediante la producción de compuestos fenólicos, fortaleciendo así su capacidad para resistir patógenos y plagas. Este mecanismo ayuda a mejorar la defensa natural de las plantas y a combatir enfermedades (Chávez y Herrera, 2023).

2.2.11. Mejora en el rendimiento del cultivo

El silicio mejora la productividad de los cultivos al optimizar el balance de nutrientes, mitigar el estrés por falta de agua y reforzar las defensas naturales de las plantas. Su acción protectora es especialmente efectiva en condiciones extremas, como heladas, tormentas o

exceso de humedad, donde las plantas están más expuestas a daños. Este mineral también favorece la resistencia frente a plagas y enfermedades, al fortalecer la cutícula de las hojas y mejorar la estructura celular. Además, su uso contribuye a la sostenibilidad agrícola, reduciendo la dependencia de tratamientos químicos y mejorando la salud general de los ecosistemas agrícolas. (Nunes, 2021).

2.2.12. Otras investigaciones relacionadas al tema.

Epstein, E. (1999) En su investigación “Silicon”, exploro fundamentalmente sobre el rol del silicio en las plantas. Su estudio reveló que algunas plantas pueden acumular grandes cantidades de silicio, lo que incrementa su resistencia tanto contra patógenos como *Phytophthora*, como frente a condiciones ambientales desfavorables. Este trabajo es importante porque evidencia que los efectos protectores del silicio se pueden intensificar cuando se combina con otros agentes de biocontrol, como las rizobacterias. La investigación de Epstein ofrece un fundamento sólido para apoyar la estrategia combinada de rizobacterias y silicio para fortalecer la resistencia de las plantas frente a infecciones. Epstein discutió que el silicio promueve la producción de compuestos fenólicos y otros metabolitos secundarios que actúan como defensas químicas contra los patógenos. Este enfoque fue innovador porque introdujo la idea de que el silicio no solo tiene un papel pasivo en la defensa de las plantas, sino también un papel activo, mejorando las respuestas inmunológicas. Por lo tanto, su investigación sentó las bases para una mayor comprensión del silicio como un agente clave en la protección vegetal, abriendo la puerta a nuevas prácticas agrícolas que combinan el uso de silicio con otros métodos biológicos, como las rizobacterias, para maximizar la resistencia de las plantas. (2012)

Beltrán (2021) realizó un estudio titulado “Efecto de la aplicación de silicio en el manejo fitosanitario del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) variedad CCN-51”, con el objetivo general de evaluar el efecto de silicio en tres diferentes dosis en cacao CCN51, los tratamientos evaluados fueron Control (sin aplicación), 100 kg/ha de SiO₂, 200 kg/ha de SiO₂, 300 kg/ha de SiO₂. El estudio se llevó a cabo de un diseño de bloques completamente al azar con 3 repeticiones y cada repetición tuvo 6 plantas, dando un número total de 18 plantas por cada tratamiento con sus respectivas repeticiones. Los resultados del estudio lograron obtener que el tratamiento 200 kg/ha de SiO₂ obtuvo menor porcentaje de daño ante el patógeno por lo que mostro ser el mejor resultado en cuanto visualmente y de acuerdo a

lo que dio el programa Leaf Doctor dando así que entre el demás tratamiento no existe diferencias significativas. Estas investigaciones indican que el silicio a diferentes dosis puede tener distintos efectos en las plantas de cacao CCN51.

Alves (2015) se centró en estrategias integradas de manejo de enfermedades en plantaciones tropicales, particularmente en el control de *Phytophthora spp.* El estudio destacó la importancia de prácticas agrícolas sostenibles que combinen el uso de agentes biológicos, como rizobacterias, con suplementos nutricionales, entre ellos el silicio. Este enfoque multifacético tiene el objetivo de reducir la dependencia de productos químicos agresivos, al tiempo que promueve una mayor resistencia natural en las plantas. La investigación consto de 5 tratamientos los cuales fueron Control, aplicación de PGPR solas, aplicación de silicio solo, combinación de rizobacteria con silicio, fungicida convencional. se empleó un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA). Los resultados del estudio mostraron que el control presento mayor incidencia de la enfermedad por lo que es mayor susceptible sin tener nada aplicado, la aplicación de PGPR logro combatir y tener un porcentaje ya moderado del patógeno controlándola a diferencia del control.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

Este Proyecto de investigación se realizó en el área de laboratorio e invernadero de Microbiología y Biología Molecular, localizados en el Campus Universitario “La María” propiedad de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicada en el km 7.5 de vía Quevedo - Mocache, provincia de Los Ríos - Ecuador. Ubicada a 01°04' 50.69" Latitud Sur y 79° 30'9.67 Latitud Oeste con altitud elipsoidal de 67 m.

Tabla 2

Condiciones agroclimáticas del área de estudio.

Parámetro	Promedio
Temperatura Promedio Anual	25.0°C
Humedad Relativa Promedio Anual	84%
Precipitación Promedio Anual	2286.60
Heliofanía (Horas luz año)	894.0
Topografía	Ondulado
Clima	Tropical Húmedo

Fuente: (Estación meteorológica INHAMI; Estación Tropical Pichilingue, 2008-2020).

3.2. Tipo de Investigación

Este proyecto de investigación es tipo experimental ya que las variables a evaluar son manipulables en cuestión de proceso de desarrollo morfológico de las plántulas frente a *Phytophthora palmivora*.

3.3. Método de investigación

Para el desarrollo del proyecto investigativo se utilizó los siguientes métodos: Deductivo, Analítico.

3.3.1. Método deductivo

La utilización de este método será necesaria para brindar respuesta a la identificación de los efectos específicos que pueda generar la aplicación de las rizobacterias y silicio como al igual en el análisis de los efectos ocasionados por *P. palmivora* en el desarrollo de las plántulas. Este método facilitará una comprensión más profunda de cómo estos factores interactúan entre sí y cómo influyen en el rendimiento de las plántulas, proporcionando información clave para optimizar su manejo en condiciones afectadas por la enfermedad.

3.3.2. Método analítico

Este método se empleó al momento de interpretar los resultados obtenidos en los experimentos realizados.

3.4. Fuentes de recopilación de información

En el transcurso de la investigación, se emplearon datos obtenidos de fuentes confiables y primarias, tales como libros, revistas científicas, artículos académicos, informes y boletines.

3.4.1. Fuentes primarias

Aquella información obtenida en la evaluación de las variables a través de la observación directa, que permita obtener respuestas ante la evaluación de la actividad antagónica de la aplicación dual de las rizobacterias y el silicio.

3.4.2. Fuentes secundarias

Toda información fue extraída de libros, revistas, manuales divulgativos, guías técnicas y demás material bibliográfico para el desarrollo del marco teórico de la investigación.

3.5. Diseño de la investigación

Se empleó un diseño DCA experimental donde se evaluó el efecto de la aplicación dual de rizobacterias y silicio las plantas de cacao (*Theobroma cacao*) para controlar la infección por *Phytophthora palmivora*.

3.5.1. Factores de estudio

Rizo bacterias y concentración de silicio

3.5.2. Tratamientos

En esta investigación presente se utilizó tres experimentos distintos que llevan sus propias variables para poder realizar la investigación los cuales están detallados a continuación de manera ordenada:

3.5.2.1 Grado de compatibilidad entre el Silicio y rizobacterias que promuevan el crecimiento a su unidad formadora de colonia in vitro

Tabla 3

Tratamientos de estudio para determinar la compatibilidad.

Rizobacterias	Silicio
T1: <i>Pseudomonas protegens</i>	2,00 g/l
T2: <i>Pseudomonas putida</i>	2,00 g/l
T3: <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	2,00 g/l
T4: <i>Streptococcus pneumoniae</i>	2,00 g/l
T5: <i>Acinetobacter sp</i>	2,00 g/l
T6: <i>Klebsiella variicola</i>	2,00 g/l
T7: <i>Bacillus subtilis</i>	2,00 g/l
T8: <i>Enterobacter asburiae</i>	2,00 g/l
T9: <i>Serratia marcescens</i>	2,00 g/l
T10: <i>Enterobacter asburiae</i>	2,00 g/l

3.5.2.2. Concentraciones de Silicio y rizobacterias en promover el desarrollo de la masa radicular en CCN51.

Tabla 4

Tratamientos de estudio para determinar el crecimiento radicular en plántulas.

Rizobacterias	Silicio
T1: <i>Pseudomonas protegens</i> + Silicio	2,00 g/l
T2: <i>Enterobacter asburiae</i> + Silicio	2,00 g/l
T3: <i>Serratia marcescens</i> + Silicio	2,00 g/l
T4: <i>Enterobacter asburiae</i> + Silicio	2,00 g/l
T5: Control (CCN51) + silicio	2,00 g/l
T6: Control	agua

3.5.2.3. Potencial de biocontrol por la combinación del Silicio y PGPR a *Phytophthora palmivora* en *Theobroma cacao*.

Tabla 5

Tratamientos de estudio para determinar los efectos biocontroladores.

<i>Descripción</i>
T1: PGPR
T2: PGPR + Silicio + <i>P. palmivora</i>
T3: Silicio + <i>P. palmivora</i>
T4: <i>P. palmivora</i>
T5: Silicio
T6: Control

3.5.3. Diseño experimental

3.5.3.1. Experimento 1: Compatibilidad.

Se realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cuatro repeticiones por tratamiento. En todos los tratamientos se aplicarán diferentes PGPR en conjunto con Silicio en diferentes concentraciones.

Tabla 6

Esquema del análisis de varianza para el experimento de compatibilidad.

Fuentes de Variación	Grados de libertad
Tratamientos = (t-1)	9
Error = t*(r-1)	30
Total = (t*r)-1	39

3.5.3.2. Experimento 2: Crecimiento radicular en plántulas de CCN51.

Se realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cuatro repeticiones por tratamiento. En todos los tratamientos se aplicarán diferentes PGPR en conjunto con Silicio, menos en el tratamiento testigo o de control.

Tabla 7

Esquema del análisis de varianza para el experimento de Crecimiento radicular en plántulas.

Fuentes de Variación	Grados de libertad
Tratamientos = (t-1)	5
Error = t*(r-1)	18
Total = (t*r)-1	23

3.5.3.3. Experimento 3: Efecto biocontroladores a *P. Palmivora* en CCN51.

Se realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cuatro repeticiones por tratamiento. En todos los tratamientos se aplicarán diferentes PGPR en conjunto con silicio, menos en el tratamiento testigo o de control.

Tabla 8

*Esquema del análisis de varianza para el experimento de efectos biocontroladores a *P. Palmivora* en plántulas.*

Fuentes de Variación	Grados de libertad
Tratamientos = (t-1)	5
Error = t*(r-1)	12
Total = (t*r)-1	17

3.6. Instrumentos de investigación

3.6.1. Manejo del Experimento

3.6.1.1. Compatibilidad entre las rizobacterias y el silicio.

Las rizobacterias seleccionadas fueron reproducidos en 100 ml de un medio KingB liquido: con 2.00 g silicio correspondientemente. Se incubaron por 24 horas y se recuperó 10 microlitros y para realizar las diluciones.

Una vez mezclado se realizó 6 diluciones de las PGPR, para determinar la UFC por la metodología de la microgota, ubicando 10 microlitros en placas Petri con agar agua, rotuladas para hacer el conteo de UFC a las 24 horas de siembra de cada dilución.

3.6.1.2. Determinación de los efectos en el sistema radicular de plántulas por aplicación de PGPR y silicio mediante rizotrones.

Se empleo la metodología de los rizotrones con sustrato esterilizado. Se añadió semillas de cacao CCN51 pregerminadas ubicando dos gramos de silicio junto a las rizobacterias seleccionadas garantizando la uniformidad en la toma de datos y poder tener un orden al momento de tomar datos del experimento, a los 25 días se realizó la toma de datos correspondiente.

3.6.1.3. Caracterización de los efectos biocontroladores producidos por la aplicación conjunta de PGPR y silicio

En contenedores plásticos se aplicó un sustrato de suelo previamente esterilizada, ubicando las semillas de cacao pregerminadas. Todas las unidades recibirán el mismo tratamiento diferenciándose únicamente en las aplicaciones de los consorcios de PGPR y silicio en cada planta de las que se sembró, luego se hará la toma de datos correspondiente.

3.6.2. Variables evaluadas

3.6.2.1. Grado de compatibilidad entre PGPR y Silicio a distintas concentraciones

3.6.2.1.1. Crecimiento de UFC

Se evaluó el comportamiento de las PGPR bajo las distintas concentraciones de Silicio. Se contaron las unidades formadoras de colonias a 24 horas en distintas diluciones.

3.6.2.2. Determinación en los efectos en el sistema radicular de plántulas por aplicación de PGPR y silicio mediante rizotrones.

3.6.2.2.1. Longitud de las raíces

Esta variable se ejecutó bajo la aplicación de los rizotrones, a los 25 días posterior a la inoculación de silicio y PGPR se evaluó longitud de la raíz principal por ayuda de un calibrador de pie de rey.

3.6.2.2.2. Peso fresco radicular

Se fragmento la planta recuperando el sistema radicular, para evaluar el peso radicular fresco con ayuda de una balanza de precisión.

3.6.2.2.3. Longitud de pelos absorbentes (mm)

Para evaluar esta variable se utilizó el programa Imagen J, que permite medir pequeñas distancias a través de fotografías calibradas, se utilizó una imagen de 9 mm² y con la opción Straight se midieron los pelos absorbentes.

3.6.2.2.4. Área de pelos absorbentes (mm²)

Para evaluar esta variable se utilizó el programa Imagen J, que permite medir pequeñas distancias a través de fotografías calibradas, se utilizó una imagen de 9 mm² de área y con la opción freehand selection se midió el área que ocupaba los pelos absorbentes en la imagen.

3.6.2.3. Caracterización de los efectos biocontroladores producidos por la aplicación conjunta de PGPR y silicio.

3.6.2.3.1. Altura de la planta (cm)

Se tomará a los 30 y 60 días después de haber hecho la aplicación de los consorcios y la infección del patógeno en cada una de las plantas y se lo realizará con una cinta métrica.

3.6.2.3.2. *Incidencia de la enfermedad (%)*

Este dato se tomará por medio de una escala realizada de acuerdo a porcentaje de incidencias en las plantas a los 60 días, para poder observar como el patógeno ha tenido incidencia al igual aplicar el silicio con las PGPR.

3.6.2.3.3. *Peso radicular*

Una vez ya en el final del experimento se tomará el dato de la masa radicular para saber cómo ha afectado el patógeno a la planta.

3.7. *Tratamiento de los datos*

En la presente investigación, para el análisis de los datos, se utilizará el procedimiento del ADEVA, análisis de varianza y las medidas serán comparadas usando la prueba de Tukey.

3.8. *Recursos humanos y materiales*

3.8.1. *Recursos humanos*

La investigación se realizó con la orientación metodológica del Dr. Hayron Fabricio Canchignia Martínez, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. El manejo del ensayo y toma de variables fue realizado por Sr. Joel Fernando Bonilla Moran, estudiante de la carrera de Agronomía

3.8.2. *Materiales*

- Antibióticos
- Papel Toalla
- Fundas de polipropileno
- Cajas petri
- Mecheros
- Matraz enlarmeyer
- Bisturí
- Alcohol
- Hipoclorito de sodio

- Vaso de precipitado
- Papel aluminio
- Regla
- Plástico
- Vasos de plástico
- Timer
- Agua destilada
- Hipoclorito de sodio
- Tierra
- Perlita

3.8.3. Material Vegetal.

- Plantas de cacao CCN51

3.8.4. Materiales de oficina.

- Cuaderno
- Lapiceros
- Regla
- Calculadora
- Computadora

3.8.5. Equipos de laboratorio.

- Autoclave
- Cabina
- Nevera
- Microscopio
- Incubadora

- Balanza
- Agitador
- Incubadora
- Estereoscopio
- Nevera

3.8.6. Reactivos

- PDA (Papa Dextrosa Agar)

3.8.7. Material genético

- *Phytophthora palmivora* (patógeno)
- *Theobroma cacao* (mazorcas)
- PGPRs

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

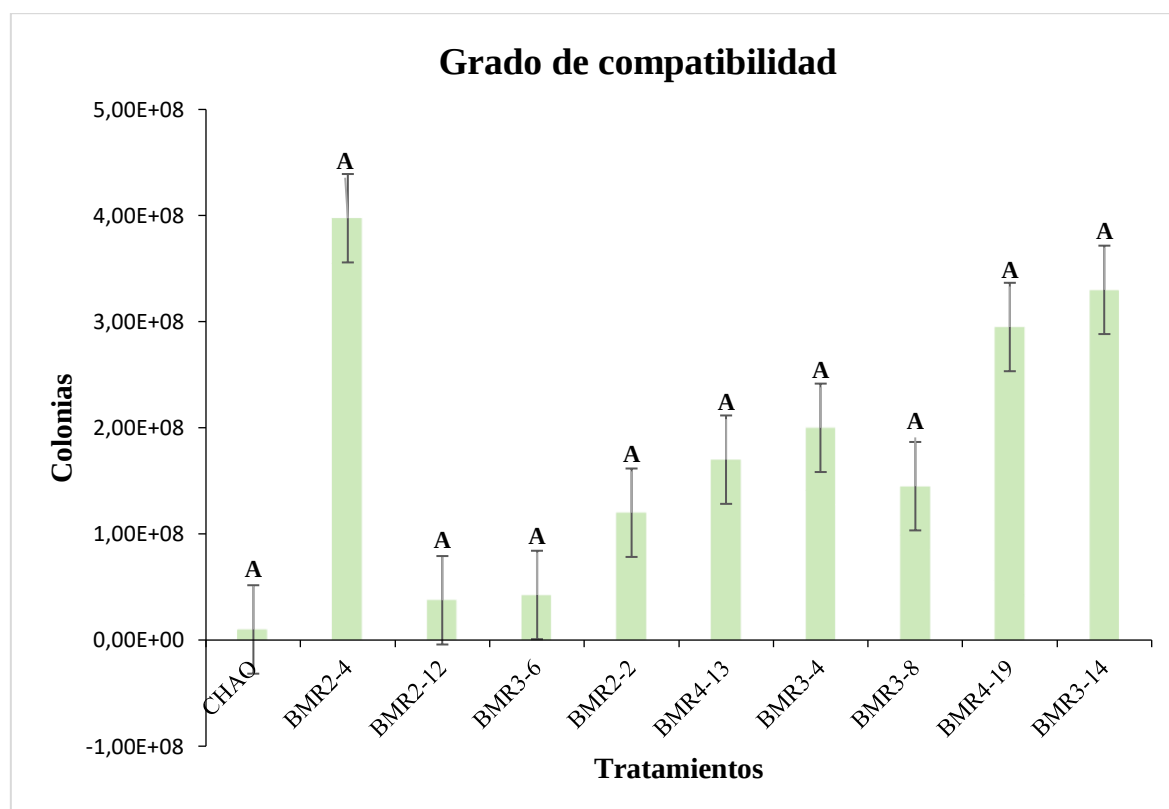
4.1.1. Grado de compatibilidad entre PGPR y Silicio a distintas concentraciones.

4.1.1.1. Crecimiento de UFC

A la determinación de la UFC de las rizobacterias a su compatibilidad con silicio, no se encontró diferencia significativa entre las rizobacterias. La rizobacteria en presencia de silicio al grado de compatibilidad ("BMR2-4", "BMR3-14", "BMR4-19" y "BMR3-4") presentan altos niveles de UFC. Permite deducir la asociación y supervivencia en el medio con silicio. Este hallazgo sugiere que estas rizobacterias podrían ser las más adecuadas para aplicaciones futuras donde se busque optimizar la sinergia con el silicio.

Figura 1

Grado de compatibilidad entre PGPR y silicio a una dosis determinada por medio de UFC.



Nota: En la figura 1 las barras de error indican $\pm$ Error estándar; letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre los promedios a $p < 0.05$ (test de Tukey)

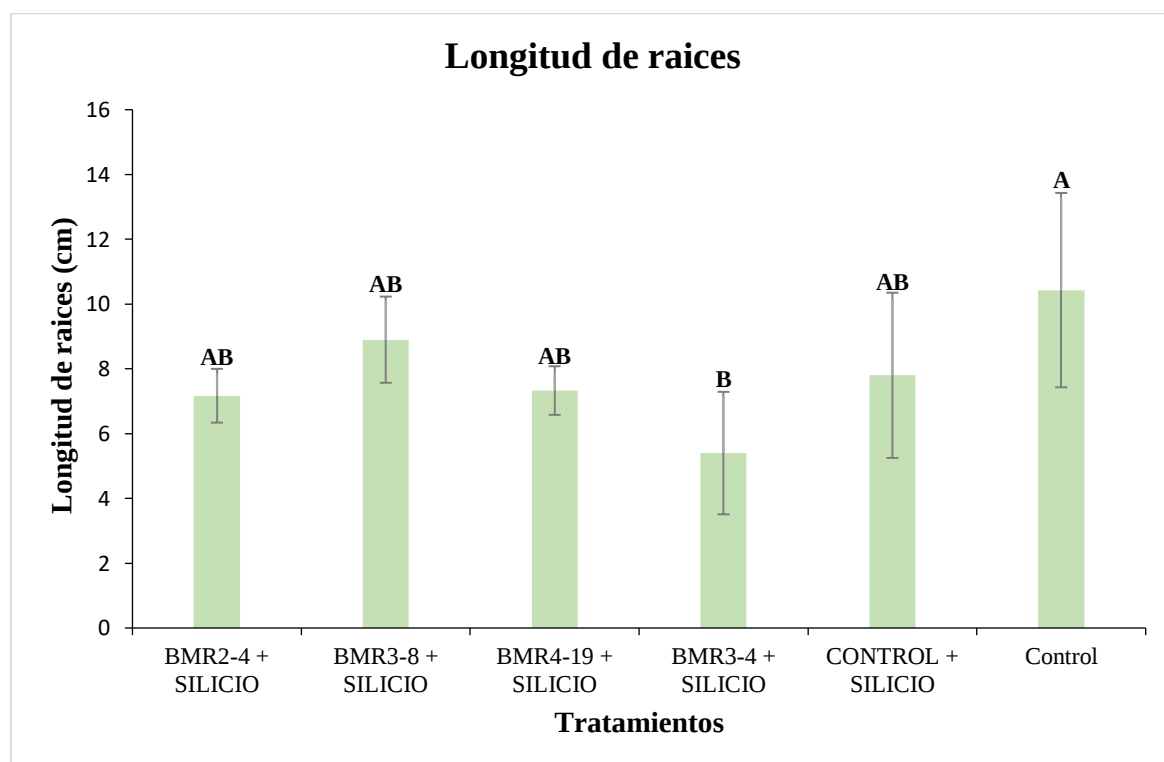
4.1.2. Determinación en los efectos en el sistema radicular de plántulas por aplicación de PGPR y silicio mediante rizotrones.

4.1.2.1. Longitud de las raíces

La combinación de silicio y rizobacterias al incremento del sistema radicular, presentó diferencias significativas para esta variable. Donde la adición del silicio ejerce un efecto negativo sobre el sistema radicular inhibiendo su longitud. Las plantas no tratadas “Control” (sin silicio y rizobacterias) alcanza un sistema radicular de 10,43 cm. Las plantas control (silicio) tiene una longitud de 7,8 cm. Y la combinación de (PGPR + silicio) alcanza longitudes entre (5,4 y 8,9). Rizobacterias (Figura 2). Esto sugiere que el silicio tiene un efecto negativo en el desarrollo de raíces en las plantas de cacao CCN51 en las condiciones de este experimento (Figura 3).

Figura 2

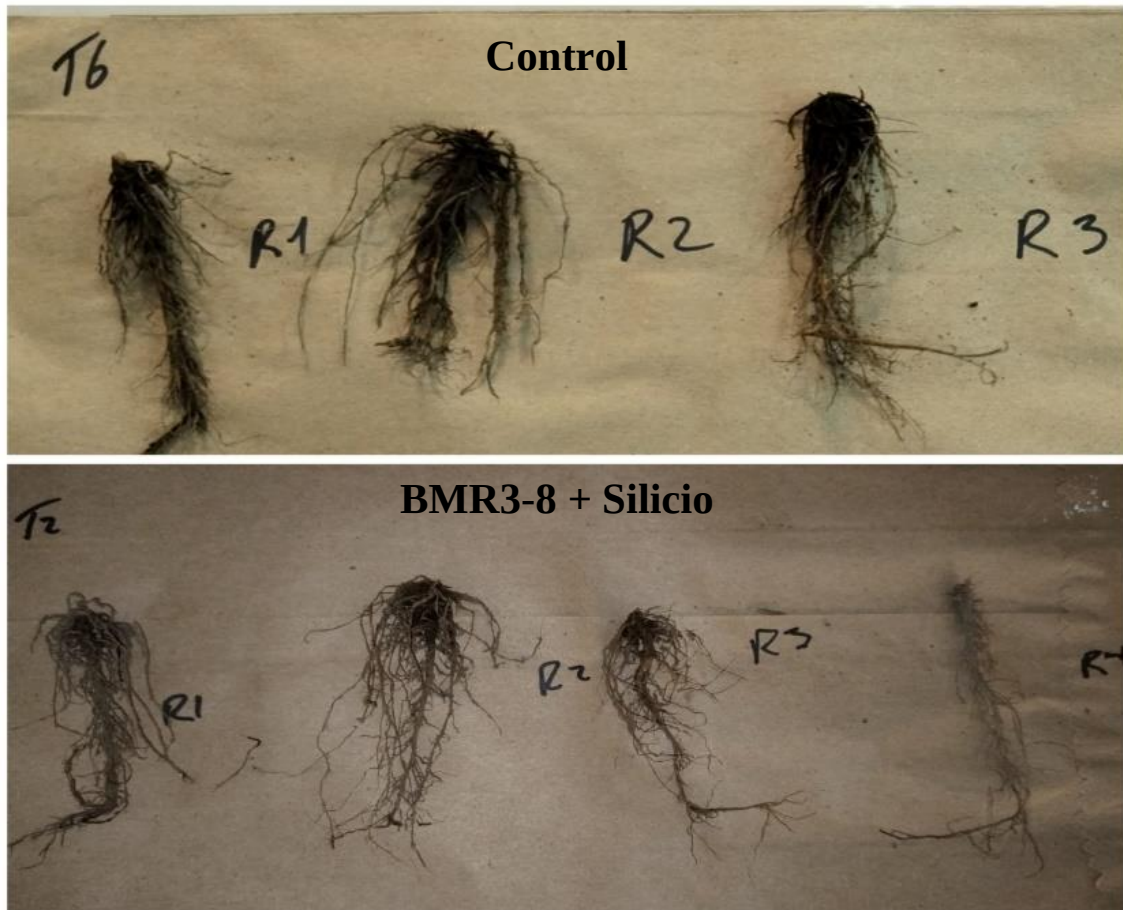
Longitud de las raíces de las plantas de cacao CCN51 en rizotrones.



Nota: En la figura 2 las barras de error indican $\pm$ Error estándar; diferentes letras indican que existe diferencia significativa entre los promedios a $p < 0.05$ (test de Tukey).

Figura 3

Longitud radicular de plantas cacao CCN51 en rizotrones.



Nota: En la figura 3 se muestra como la diferencia de raíces del tratamiento control y el tratamiento BMR3-8, siendo de los que son mayor a los demás, pero sin embargo demostrando el efecto negativo que tiene el silicio junto a la rizobacteria en el desarrollo radicular.

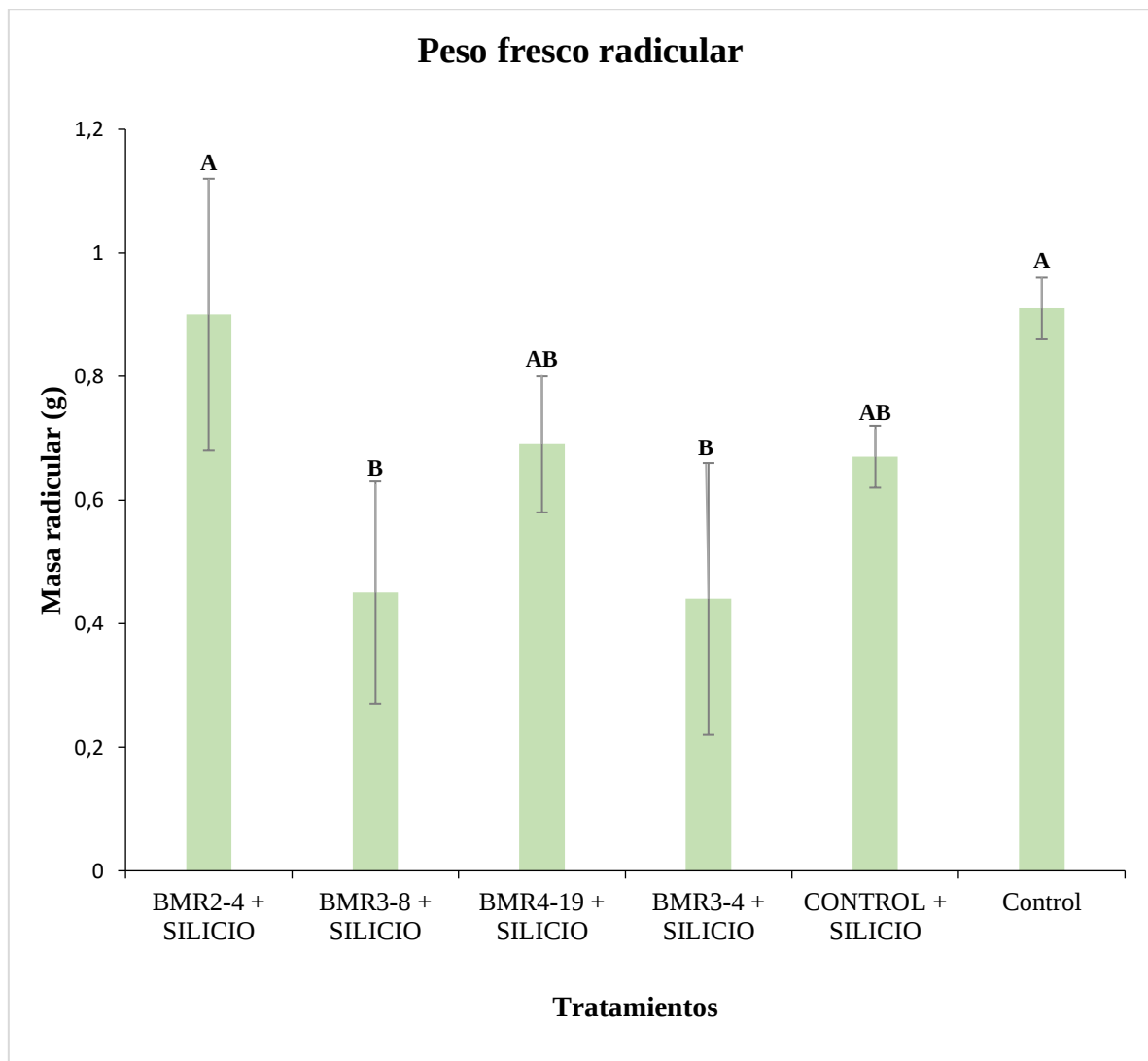
4.1.2.2. Peso fresco radicular

Al incremento del peso fresco del sistema radicular, se encontró diferencia significativa entre la aplicación dual de rizobacterias y silicio. Las plantas de CCN51 no tratadas (sin silicio y rizobacterias) presentó un peso fresco de 0,9 g. De igual forma por la aplicación en conjunto de BMR2-4 + silicio con un peso de 0,9 g (Figura 4).

Esto define que el silicio y las rizobacterias (BMR3-8", "BMR4-19" y "BMR3-4") tienen un efecto negativo al peso fresco del sistema radicular en CCN51 en las condiciones de este experimento. Además, el silicio tiene un efecto antagónico sobre las rizobacterias impidiendo el proceso de colonización del sistema radicular de CCN51.

Figura 4

Peso fresco radicular de plantas de cacao CCN51 en rizotrones.



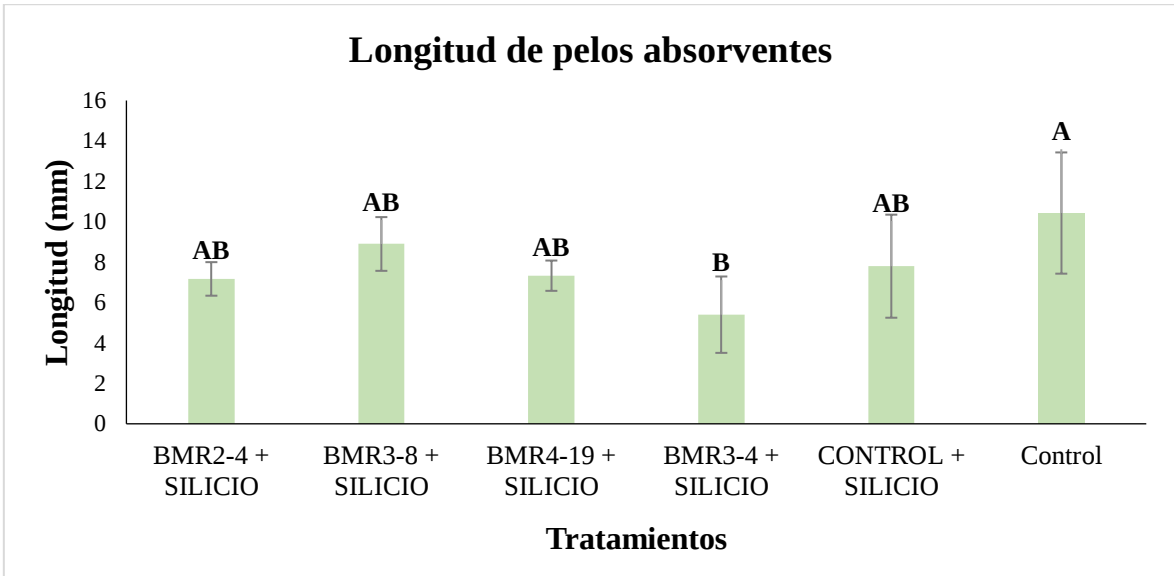
Nota: En la figura 4 las barras de error indican $\pm$ Error estándar; diferentes letras indican que existe diferencia significativa entre los promedios a $p < 0.05$ (test de Tukey).

4.1.2.3. Longitud de pelos absorbentes (mm)

En longitud de pelos absorbentes, se encontró diferencia significativa entre la aplicación dual de rizobacterias y silicio. El tratamiento Control (sin silicio ni rizobacterias) presentó la mayor longitud de pelos absorbentes con (10,43 mm), (Figura 5). Esto sugiere que el silicio tiene un efecto negativo en el desarrollo de los pelos absorbentes de manera significativa, algunas combinaciones de rizobacterias y silicio, específicamente BMR3-4 + Silicio con 5,4 mm de longitud (Figura 6).

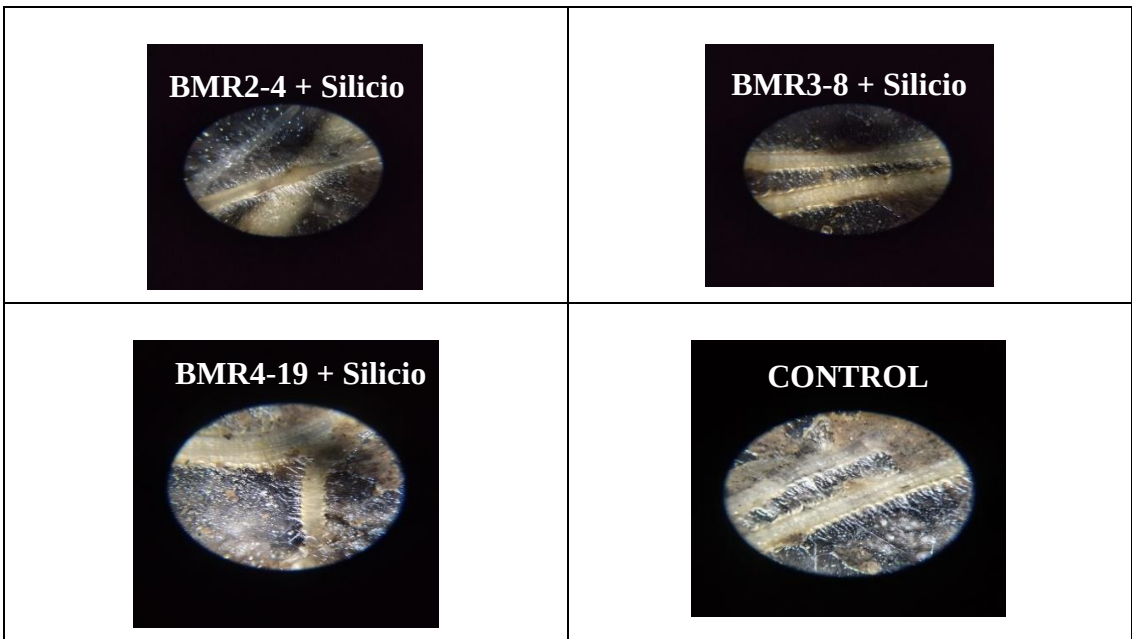
Figura 5

Longitud de pelos absorbentes de plantas de cacao CCN51 en rizotrones.



Nota: En la figura 5 las barras de error indican $\pm$ Error estándar; diferentes letras indican que existe diferencia significativa entre los promedios a $p < 0.05$ (test de Tukey).

Figura 6. Pelos absorbentes en diferentes tratamientos.



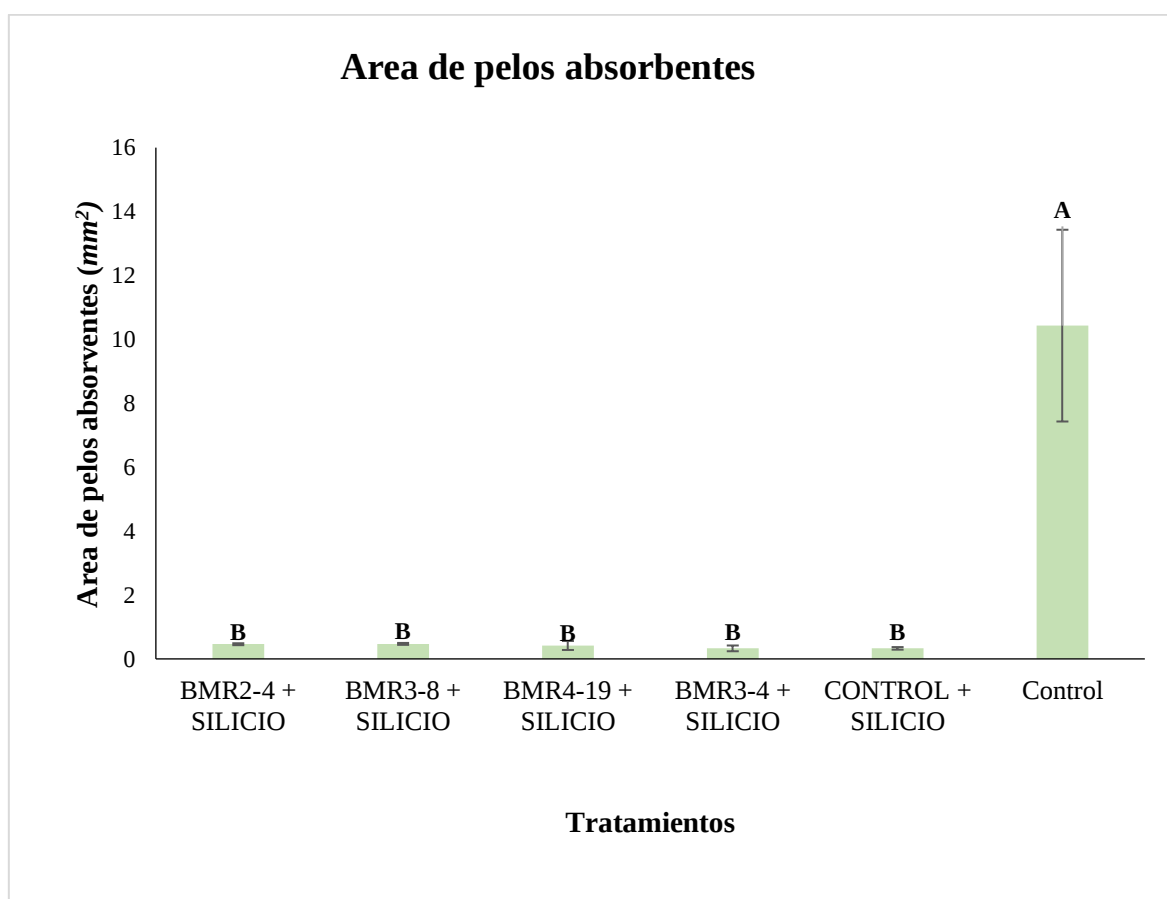
En la figura 6 Se logra observar la diferencia de pelos absorbentes en los diferentes tratamientos, pero sobre todo la del control y el efecto negativo que tiene el silicio con las PGPR en el sistema radicular

4.1.2.4. Área de pelos absorbentes (mm^2)

Al área de pelos absorbentes, se encontró diferencia significativa entre la aplicación dual de rizobacterias y silicio. Los tratamientos (BMR2-4; BMR3-8, BMR4-19 y “BMR3-4 + SILICIO” “CONTROL + SILICIO”) no difieren al área de pelos absorbentes entre 0,47 mm^2 . Sin embargo, el “CONTROL” destacó al área de los pelos absorbentes de 10,43 mm^2 (Figura 7). Esto sugiere que el “CONTROL” fue el único que incrementó de manera significativa el área de los pelos absorbentes en comparación con los demás tratamientos, donde el silicio presenta un efecto negativo al sistema radicular de la planta.

Figura 7

Área de pelos absorbentes de plantas de cacao CCN51 en rizotrones.



Nota: En la figura 7 las barras de error indican $\pm$ Error estándar; iguales letras indican que no existe diferencia significativa entre los tratamientos mientras que el control si presenta diferencia significativa a los promedios a $p < 0.05$ (test de Tukey).

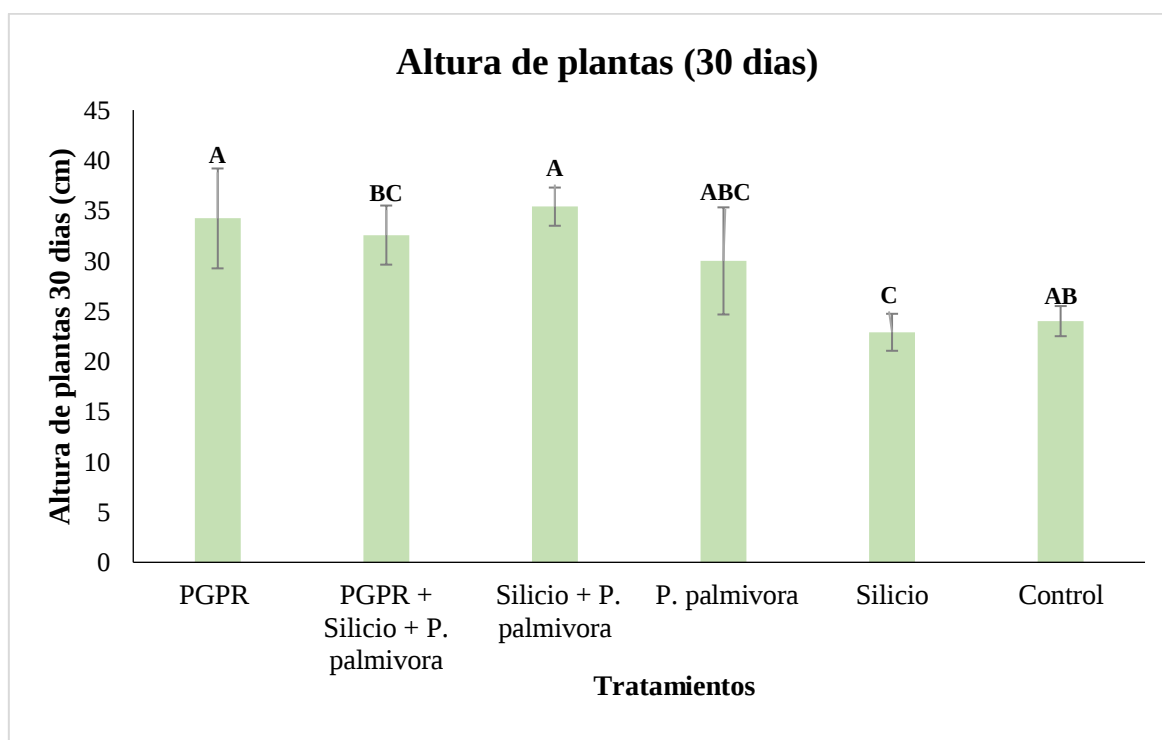
4.1.3. Caracterización de los efectos biocontroladores producidos por la aplicación conjunta de PGPR y silicio.

4.1.3.1. Altura de la planta (cm)

La aplicación de los consorcios de PGPRs + Silicio + *P. palmivora*, se encontró diferencia significativa para su evaluación a 30 días, en altura de planta. La aplicación en (Silicio + *P. palmivora*) ejerció un efecto protector con el patógeno con altura de planta de 35,39 cm. Con similar respuesta con las plantas de CCN51 con aplicación de las PGPR sin el patógeno con altura de 34,22 cm. En ausencia de *P. palmivora* la aplicación de (Silicio) tiene un efecto negativo reduciendo el tamaño de la planta de 22,89 cm. Con similar respuesta en plantas no tratadas una altura de 24 cm (Figura 8). Esto sugiere que el tratamiento (Silicio + *P. palmivora*) logró tener un mejor efecto con respecto a la altura de la planta a diferencia de los demás tratamientos.

Figura 8

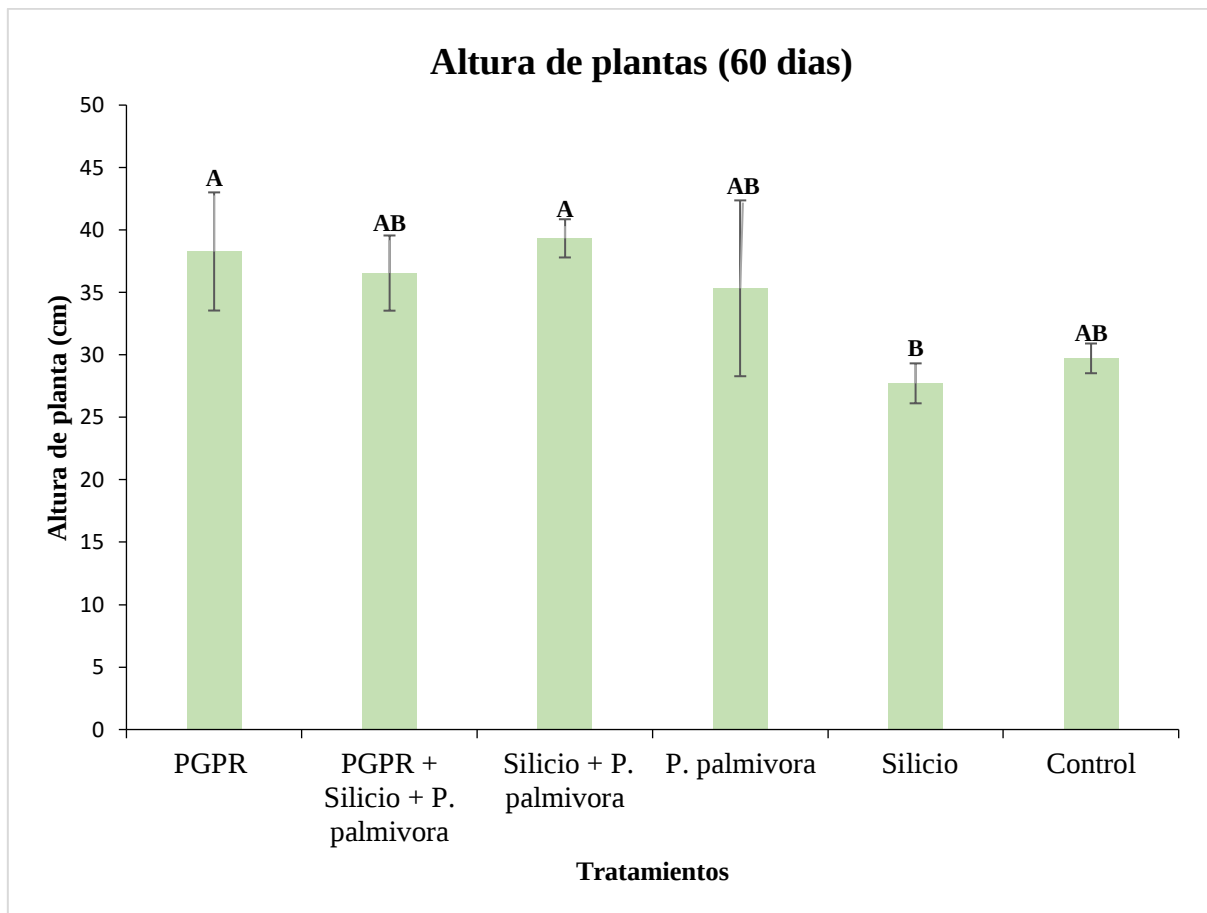
Altura de las plantas de cacao CCN51 a los 30 días.



Nota: En la figura 8 las barras de error indican $\pm$ Error estándar; iguales letras indican que no existe diferencia significativa a los promedios a $p < 0.05$ (test de Tukey).

Figura 9

Altura de las plantas de cacao CCN51 a los 60 días.



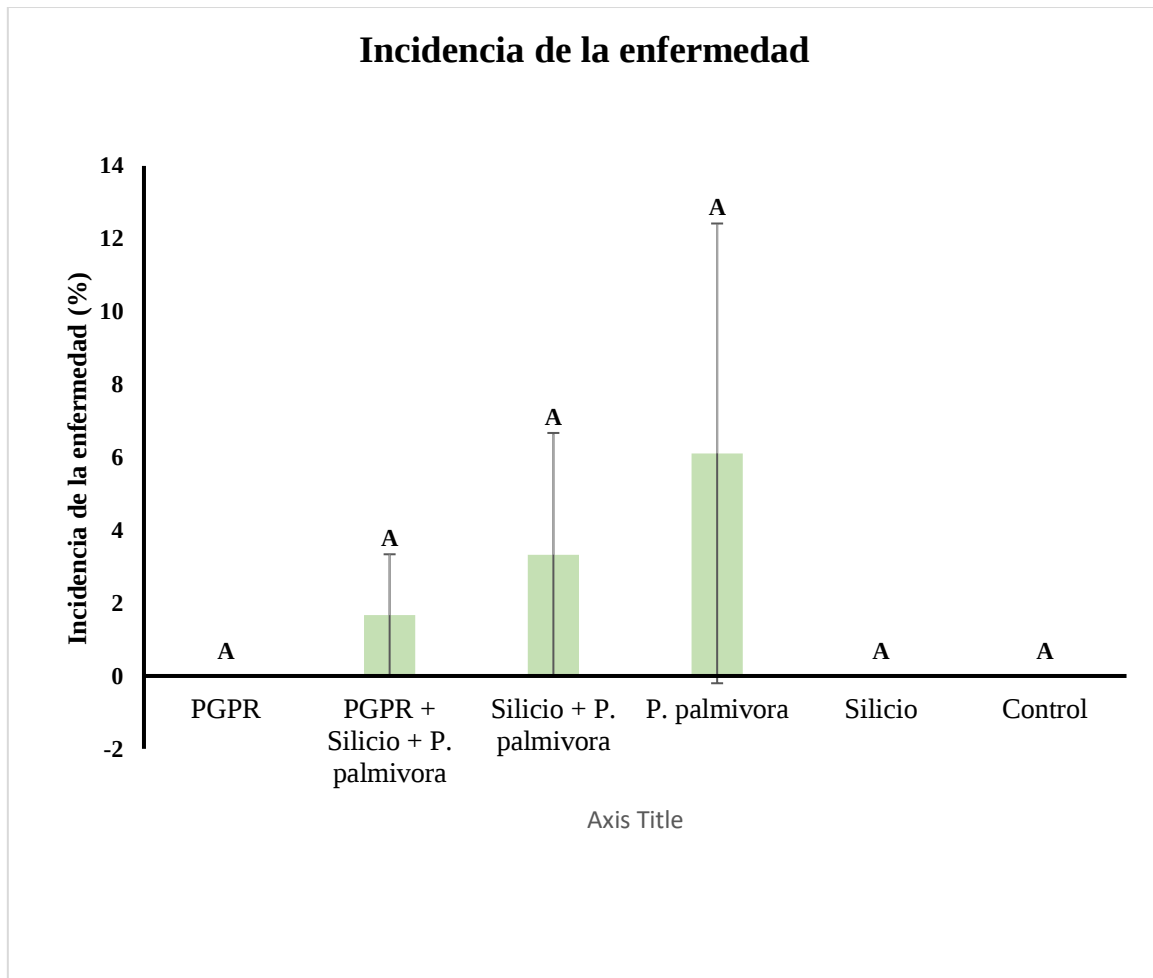
Nota: En la figura 9 las barras de error indican $\pm$ Error estándar; iguales letras diferentes indican que existe diferencia significativa a los promedios a $p < 0.05$ (test de Tukey).

4.1.3.2. Incidencia de la enfermedad (%)

La incidencia de la enfermedad en CCN51 bajo los diferentes tratamientos a la aplicación de PGPR y Silicio no presentó diferencias significativas. La aplicación de (Silicio) y (PGPR) presentaron un porcentaje de 0% porque las plantas no fueron infectadas con el patógeno. En ausencia de silicio y las rizobacterias la aplicación de (*P. palmivora*) tiene un efecto negativo en cuanto a la incidencia 6,35%. Con similar efecto a las plantas de CCN51 el “CONTROL” presento 5.15% (Figura 10). Esto sugiere que los tratamientos (Silicio) y (PGPR) lograron tener un mejor efecto con respecto a la incidencia de la enfermedad de 3,89% con respecto a los demás tratamientos en las plantas de CCN51.

Figura 10

Incidencia de la enfermedad en plantas de cacao CCN51.



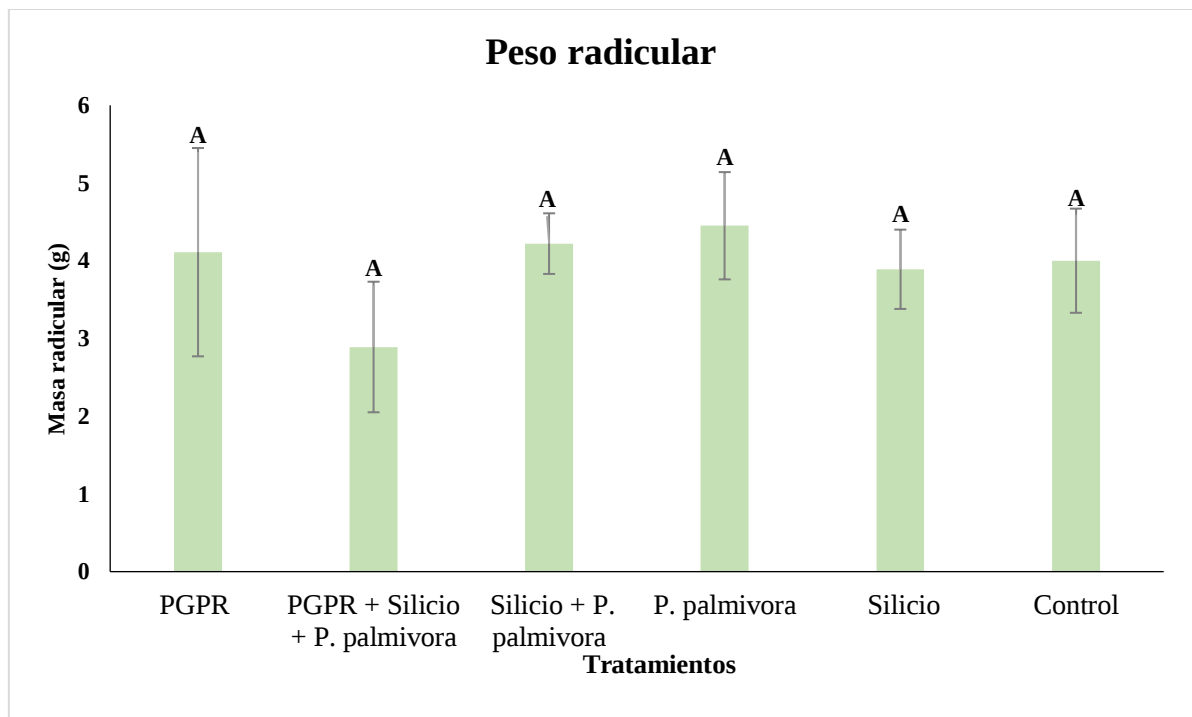
Nota: En la figura 10 las barras de error indican $\pm$ Error estándar; iguales letras indican que no existe diferencia significativa a los promedios a $p < 0.05$ (test de Tukey).

4.1.3.3. Peso radicular

El peso radicular en las plantas de CCN51 bajo los diferentes tratamientos no presentó diferencias significativas. La aplicación de (PGPR) no logró favorecer al incremento del sistema radicular en plantas CCN51, donde oscilaron entre (2,89 a 4,45g). (Figura 11). Determinando que la aplicación de *P. palmivora* incidió un peso del sistema radicular de 4,45g. Donde la aplicación de las PGPR no tiene efecto alguno sobre la arquitectura del sistema radicular no ejerciendo ningún cambio sustancial al peso con 4,11g. La adición conjunta del Silicio y PGPR y *P. palmivora*, se acentúa la disminución al peso radicular con 2,89g.

Figura 11

Peso radicular en plantas de cacao CCN51.



Nota: En la figura 11 las barras de error indican $\pm$ Error estándar; iguales letras indican que no existe diferencia significativa a los promedios a $p < 0.05$ (test de Tukey).

4.2. Discusión

4.2.1. Grado de compatibilidad entre PGPR y Silicio a distintas concentraciones.

Los resultados obtenidos en la presente investigación son indicativos de como diferentes rizobacterias pueden tener una adaptabilidad o compatibilidad al silicio mediante la técnica de UFC. Se determinó que las rizobacterias ("BMR2-4", "BMR3-14", "BMR4-19" y "BMR3-4") lograron tener compatibilidad con el silicio con valores de (2,00E+08 a 3,98E+08). A diferencia de las (CHAO, BMR 2-12, BMR3-6, BMR3-6, BMR2-2, BMR3-8). El silicio tiene un efecto negativo sobre la UFC. Varios estudios realizados aportan sobre la compatibilidad de las rizobacterias con el silicio por medio de la prueba de unidades formadoras de colonias (UFC) lo que coincide con la investigación de Song, Y.H. y He, Z. (2006), quien menciona que la prueba de compatibilidad in vitro es esencial para garantizar

que tanto el silicio como las rizobacterias pueden ser aplicados juntos en el campo sin efectos negativos sobre la viabilidad bacteriana.

Song, Y.H. (2006) en su investigación mostró que la compatibilidad de silicio junto a las rizobacterias puede tener una respuesta fisiológica en las plantas, pero realizando la técnica de unidades formadoras de colonias (UFC), para poder obtener las rizobacterias con mejor adaptabilidad con la dosis de silicio adecuada.

4.2.2. Determinación en los efectos en el sistema radicular de plántulas por aplicación de PGPR y silicio mediante rizotrones.

Los resultados presentes de la investigación resaltan que la aplicación de 2g de silicio a nivel edáfico tiene un efecto negativo sobre el desarrollo radicular de CCN51. El “Control” obtuvo resultados que alcanzan hasta 10,43 cm y las plantas con el tratamiento (Control + Silicio) lograron obtener longitudes de 7,8 cm. Además, El trabajo se ejecutó a nivel de laboratorio por rizotrones.

Las diferentes aplicaciones conjuntas de silicio con rizobacterias en el peso fresco radicular lograron obtener que las plantas no tratadas (Control) obtuvieron un peso de 0.9 g, el mismo resultado se dió en la aplicación de (BMR2-4 + Silicio), mientras que las demás aplicaciones se obtuvo resultados menores teniendo un efecto negativo del silicio al desarrollo radicular.

La investigación de *Colombo (2011)* presento resultados similares ya que él se basaba en la aplicación de rizobacterias junto al silicio y mostrando los efectos que tienen en las plantas a nivel radicular.

Las estrategias de realizar este experimento en rizotrones en un ambiente controlado es muy esencial ya que se pudo llegar a observar los diferentes resultados de cada tratamiento y poder sacar conclusiones optimas. Otros autores como *Colombo (2011)* logran obtener resultados positivos al tener una combinación de silicio con rizobacteria, esto se da a que se presentan factores que son relacionados a otro ambiente, por lo que el silicio junto a estas rizobacterias sería una alternativa para obtener mejor beneficio en nuestros cultivos.

4.2.3. Caracterización de los efectos biocontroladores producidos por la aplicación conjunta de PGPR y silicio.

Los resultados de la aplicación de los diferentes tratamientos a las plantas de cacao CCN51 que consiste armar consorcios con las rizobacterias, silicio y *P. palmivora*, la investigación reflejó que en alturas de plantas estas mostraron tanto a los 30 y 60 días que el tratamiento (Silicio + *P. palmivora*) logró tener mayor altura de planta en cuanto a su aplicación de los demás. A diferencia que las demás variables como masa radicular e incidencia de la enfermedad se logra observar que el (Silicio + *P. palmivora*) y (*P. palmivora*) mantienen mayor porcentaje o presentan mejor resultado a los demás, pero sin diferencia significativa.

Otros autores como Alves (2015) logro obtener resultados como que la aplicación conjunta de rizobacterias con el silicio logra tener efectos positivos en las plantas tanto en el desarrollo como en la defensa del patógeno en este caso *P. palmivora*, por lo que esta estrategia funcionaria tanto para poder evitar tener presencia de este patógeno y tener problemas en el cultivo.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El grado de compatibilidad entre rizobacterias y silicio proporcionó mayor resultado de UFC solo en cuatro tratamientos ("BMR2-4", "BMR3-14", "BMR4-19" y "BMR3-4") con valores desde 2,00E+08 hasta 4,00E+08 por lo que se concluye que el silicio no es compatible con todas las rizobacterias.
- Se logra concluir que el control tuvo mayor eficiencia en el desarrollo radicular, longitud radicular tuvo 10 cm, en peso radicular 1g, lo que a diferencia de los demás tratamientos por lo que se logra tener un efecto negativo del silicio al desarrollo radicular de las plantas de cacao CCN51 en rizotrones en un ambiente controlado.
- En el último experimento se concluye que *el (Silicio + P. palmivora)* y *(P. palmivora)* logran tener mejores resultados en las diferentes variables tomadas como lo es la incidencia de la enfermedad de un 6,35%, en peso radicular valores de (2,89 a 4,45g) pero igual se logra ver que no existe mayor diferencia significativa entre los tratamientos y las variables descritas.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar la técnica de UFC para poder obtener la compatibilidad de las rizobacterias y así poder obtener un tratamiento adecuado para poder realizar la aplicación en un cultivo.
- Para poder obtener mejor desarrollo radicular con rizobacterias se recomienda ("BMR3-8 + Silicio" y "BMR4-19 + Silicio") a diferencia que el control dio mejor resultado, pero estos tratamientos son los que mejores resultados dieron.
- Es aconsejable continuar con investigaciones en campo para confirmar los resultados obtenidos en condiciones controladas, garantizando que esta estrategia sea eficaz a mayor escala y en diversos contextos agrícolas.

CAPITULO VI
BIBLIOGRAFIA

6.1. Bibliografía

- Alexopoulos, A., Marandos, E., Assimakopoulou, A., Vidalis, N., Petropoulos, S., y Karapanos, I. (2021). Effect of Nutrient Solution pH on the Growth, Yield and Quality of *Taraxacum officinale* and *Reichardia picroides* in a Floating Hydroponic System. *Agronomy*, 11(6), 1118. doi:10.3390/agronomy11061118
- Al-Hafedh, Alam, y Beltagi. (2008). Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. 12(3), 510-520. doi:https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2008.00181.x
- Amores, F. (2011). On-farm and on-estation selection of new cocoa varieties in Ecuador. *Bioiversity Internacional*, 59-72.
- Anecacao. (2020). *Anecacao (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao)*. Obtenido de Anecacao (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao): <http://www.anecacao>.
- Badri, D., y Dashti, N. (2016). Review on Hydroponics as Modern Sustainable Agricultural Practice. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 2(2), 59-66. doi:10.31015/jaefs.18010
- Batista, L. (2009). El cultivo de cacao. *Santo Domingo: Centro para el desarrollo Agropecuario y Forestal*, 45-54.
- Bauer, J., Villegas, L., y Zucchetti, A. (2022). Aplicaciones del quitosano en la agricultura, la industria y la salud. *South Florida journal of environmental and animal science*, 2(2), 37-45.
- Beltran, L. (2021). *“Efecto de la aplicación de silicio en el manejo fitosanitario. QUEVEDO.*
- Beltrano, J., y Giménez, D. (2015). *Cultivo en hidroponia* (Vol. 1). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Benhamou, N. (2004). Potential of the mycoparasite, *Verticillium lecanii*, to protect citrus fruit against *Penicillium digitatum*, the causal agent of green mold: A comparison with the effect of chitosan. *Phytopathology*, 94(4), 693-705. doi:10.1094/PHYTO.2004.94.7.693
- Cabrera, R., y Bonilla, B. (2018). Interacciones entre plantas y bacterias promotoras de crecimiento vegetal. . *Revista Citecsa*, 10(15), 23.
- Carvalho, J., y Muller, R. (2020). *COPOASU*. Venezuela.
- Cassel, L., Gysi, T., Rother, M., Pimenta, D., Ludwig, L., y dos Santos, B. (2021). Benefícios da aplicação de silício em plantas. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 6601-6615.
- Castaño, P., y Durango, M. (2021). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. . *Revista de Investigación Agraria y ambiental*, 12(2), 161-178.

- Cefaecuador. (2022). *CEFA*. Obtenido de CEFA: <https://cefaecuador.org/productos/cacao/>
- Chávez, C., y Herrera, M. (2023). Evaluación in vitro de extractos vegetales adicionados con nanopartículas para el control de *Fusarium oxysporum*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2), 21.
- Chitarra, W., Pugliese, M., Gilardi, G., Gullino, M. L., y Garibaldi, A. (2013). Effect of silicates and electrical conductivity on *Fusarium* wilt of hydroponically grown lettuce. *Communications in agricultural and applied biological sciences*, 78(65), 555-557.
- Costales, D., Falcón, A., Nápoles, M., Cabrera, J., Varela, M., y Travieso, L. (2021). Quitosano induce respuestas defensivas en plantas de soya inoculada con *Bradyrhizobium elkanii*. *Cultivos Tropicales*, 42(2), 7-12.
- El-Hadrami, A., Adam, L. R., Hadrami, I. E., y Daayf, F. (2010). Chitosan in Plant Protection. *Marine drugs*, págs. 968-987. doi:<https://doi.org/10.3390/md8040968>
- Escuderos, Y. (2017). *Cultivo hidropónico*. Obtenido de Universidad de Panamá: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54078244/HIDROPONIA-libre.pdf?1502111262=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DHIDROPONIA.pdf&Expires=1691208949&Signature=JjAZmaZPaPZKe9CxSxvMkvU1H-zytN0mgsQzu6V3OJco-gPCdrZ2Ib7NjPJAK-7I8agWNWhJHxpFhk7nP>
- Evangelista, R., Vieites, R., De Castro, P., y Vera, L. (2018). Qualidade de couve-chinesa minimamente processada e tratada com diferentes produtos. *Food Science and Technology*, 20(2), 324-332.
- Fahey, J. W. (2016). Brassica: Characteristics and Properties. En *Encyclopedia of Food and Health* (págs. 469-477). Elsevier.
- Fordham, R. (2003). VEGETABLES OF TEMPERATE CLIMATES | Oriental Brassicas. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 3(2), 5938-5941.
- Frod, J. (2019). COL CHINA, BRASSICA RAPA. *CRUCIFERAE (BRASSICACEAE)*, 3(4), 132-135. Obtenido de Frutas-Hortalizas.
- Ghaouth, E., Abdelhakim, Bouletreau-Merle, S., y Arul., J. (1994). Antifungal activity of chitosan on post-harvest pathogens: induction of morphological and cytological alterations in *Rhizopus stolonifer*. *Mycological research*, 121(12), 345-356.
- Gomez. (2023). Estrategias sostenibles para el manejo integrado de enfermedades en cultivos tropicales: El rol de las rizobacterias y el silicio. *Editorial Agroecológica*.
- Gonnella, M., Di Serio, F., Conversa, G., y Santamaria, P. (2003). Yield and quality of lettuce grown in floating system using different sowing density and plant spatial arrangements. *Acta horticulturae*, 2(614), 687-692.
- Gonzales. (11 de OCTUBRE de 2022). *Bioenciclopedia*. Obtenido de Bioenciclopedia: https://www.bioenciclopedia.com/cacao-394.html#anchor_0

- González, M., y Martínez, V. (2021). Las Nanopartículas de SiO₂ Mejoran la Absorción de Nutrientes en Plantas de Tomate Desarrolladas en Presencia de Arsénico. *Revista bio ciencias*, 8.
- Guerrero, G. (2014). *LIDERES*. Obtenido de LIDERES: <https://www.revistalideres.ec/lideres/cacao-ecuatoriano-historia-empezo-siglo.html>
- Henneman, A. (2018). chinese cabbage, *Brassica pekinensis* Capparales. *Brassicaceae*, 4(3), 2-6.
- Hidroponíaalcubo. (2017). *Técnicas hidropónicas*. Obtenido de Hidroponía al cubo: <https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/tecnicas/>
- Hodge, S., y Hofman, P. (2012). Preharvest applications of calcium in hydroponics for improving postharvest storability of fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 12(1), 125–135.
- Horticultura, B. (2021). *NFT Hydroponics: una guía para principiantes*. Obtenido de acornhorticulture: https://acornhorticulture.com/nft-hydroponics-a-beginners-guide/#What_Is_NFT_Hydroponics
- Huaman, M. (2021). Proceso Sol-Gel en la Síntesis de Dióxido de Silicio (SiO₂). *Revista Bases de la Ciencia*, 6(1), 1-12.
- Hydroenvironment. (2015). *Guía: Técnicas hidropónicas*. Recuperado el 11 de 8 de 2019, de https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=30&chapter=1
- INTAGRI. (2017). Cultivos sin Suelo. *La Hidroponía*, 29, pág. 5. Obtenido de <file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/29.%20La%20Hidroponia.%20Cultivos%20sin%20Suelo.pdf>
- Intagri. (2017). *La Hidroponía: Cultivos sin Suelo*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo#:~:text=En%201938%20W.F.,esta%20moderna%20t%C3%A9cnica%20de%20cultivo.>
- Intagri. (2018). "Phytophthora infestans", un Patógeno Devastador para las Hortalizas.
- Jang, E.-J., Gu, E.-H., Hwang, B.-H., Lee, C., y Kim, J.-K. (2012). Chitosan Stimulates Calcium Uptake and Enhances the Capability of Chinese Cabbage Plant to Resist Soft Rot Disease Caused by *Pectobacterium carotovorum* ssp. *carotovorum*. *Korean Journal of Horticultural Science&Technology*, 30(12), 137-143. doi:10.7235/hort.2012.12013
- Jiahua, Faqir, Y., Chai, Y., Wu, S., Luo, T., Liao, S., . . . Hadir, W. (2023). Chitosan microspheres-based controlled release nitrogen fertilizers enhance the growth, antioxidant, and metabolite contents of Chinese cabbage. *Scientia horticulturae*, 308(121), 111542. doi:10.1016/j.scienta.2022.111542

- Jiménez, C., y Cecilia, J. (2020). Chitosan: A natural biopolymer with a wide and varied range of applications. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(2), 3981. doi:10.3390/molecules25173981
- Joneses, J. B. (2014). *Complete Guide for Growing Plants Hydroponically* (1st Edition ed.). Boca Raton: Taylor y Francis Group.
- Kobayashi, N., y Yamaji, K. (2021). Leaf lettuce growth in hydroponics with different nutrient solutions used to generate ultrafine bubbles. *Journal of Plant Nutrition*, 45(6), 816-827.
- Kurita, K. (2006). Chitin and Chitosan: Functional Biopolymers from Marine Crustaceans. *Marine Biotechnology*, 8(3), 203-226.
- Lara, A. (1999). MANEJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA EN LA PRODUCCION DE TOMATE EN HIDROPONIA. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C.*, 12(2), 221-229. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317306.pdf>
- Lárez, V. (2007). Algunos usos del Quitosano en Sistemas Acuáticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 4(2), 12-18.
- Laserna, S. (2013). *Col china, taxonomía, y descripciones botánicas, morfológicas, fisiológicas y ciclo biológico*. Obtenido de Agroes.es: <https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/col-china/386-col-china-descripcion-morfologia-y-ciclo>
- Latino, G. (2010). *Manual de cultivos hidropónicos*. Obtenido de Colombia.
- Lazo, R., y Gonzabay, J. (2020). Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 31(1), 118-130.
- Lezaun, J. (AGOSTO de 2023). *CROPLIFELA*. Obtenido de CROPLIFELA: <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/mazorca-negra-del-cacao-pudricion-parda-o-negra-mancha-negra-phytophthora-sp#:~:text=La%20mancha%20negra%2C%20mancha%20parda,los%20pa%C3%A Dses%20que%20cultivan%20cacao>.
- Li, C. W. (1980). The origin, evolution, taxonomy and hybridization of chinese cabbage. *Chinese cabbage. Proceedings of the first international symposium*, 9(2), 3-10.
- Li, X., y Ristaino, J. (2018). Crop management systems for vertical farming: a mathematical model and sensitivity analysis. pág. 441.
- Llanos, P. (2001). *La Solución Nutritiva, Nutrientes Comerciales, Formulas completas*. Obtenido de <http://www.drcalderonlabs.com/Hidroponicos/Soluciones1.html>
- Lopez. (2020). Composición y beneficios del silicio en la agricultura. *Revista de Geociencias y Agricultura*, 45-53.
- Maciel, M. P., Soares, T. M., Gheyi, H. R., Rezende, E. P., y Oliveira, G. K. (2012). Produção de girassol ornamental com uso de águas salobras em sistema

- hidropônico NFT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(2), 165-172.
- Martínez, G., Ortiz, Y., y López, R. (2012). Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. *Revista fitotecnia mexicana*, 12(1), 123-129. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802012000500010&script=sci_arttext
- Martínez, Y., y Aquino, N. (2021). Efecto residual del dióxido de silicio y composta en el cultivo de *phaseolus vulgaris* cv.'strike'con acolchado plástico. *RINDERESU*, 5(2).
- Molina, J., Colina, M., Rincón, D., yVargas, J. (2017). Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L. variedad sd20a). *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 1(1), 151-165. doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2041>
- Nadal, A., Llorach-Massana, P., Cuerva, E., Lopez, E., Montero, J., Josa, A., y Royapood, M. (2017). Building-integrated rooftop greenhouses: An energy and environmental assessment in the mediterranean context. *Applied Energy*, 123(12), 338-351. doi:10.1016/j.apenergy.2016.11.051
- Najat, F., Hussein, M. Z., Wayayok, A., Ibrahim, N. n., y Hashim, N. (2022). Chitosan nanoparticles as a sustainable alternative nutrient formulation in hydroponically grown *Brassica rapa* subsp. *chinensis* (L.) Hanelt microgreen and its adult vegetable. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 12(2), 2401-2412. doi:<https://doi.org/10.1080/03650340.2022.2155952>
- Nallar, S. G. (14 de Marzo de 2021). Enfermedades del cacao. *Enfermedades del cacao*.
- Nunes, L. (2021). Propriedade mecânica e atividade antimicrobiana de compósito experimental com nanopartículas de prata revestidas com dióxido de silício. *Brazilian Oral Research*, 35, 239.
- Oliveira, L., y Macedo, A. (2015). The effect of light quality, temperature and substrate on seed germination and epicotyl development of *Carapa guianensis*, a multi-use neotropical tree. *Journal of medicinal plant research*, 9, 582-593. doi:10.5897/jmpr2014.5736
- Penelo, L. (2021). *Col china: propiedades, beneficios y valor nutricional*. Obtenido de La Vanguardia: <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20210317/6387206/col-china-propiedades-beneficios-valor-nutricional.html>
- Perez. (2022). Interacciones entre rizobacterias y silicio en la defensa de plantas contra patógenos. *Revista de Fitopatología Aplicada*. 115-128.
- Rabea, E. I., Badawy, M. E.-T., Stevens, C. V., Smagghe, G., y Steurbaut, W. (2003). Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action. *Biomacromolecules*, 4(1), 1457-1465. doi:10.1021/bm034130m
- Ramirez, M., Rodriguez, A., Alfonso, L., y Peniche, C. (2010). Chitin and its derivatives as biopolymers with potential agricultural applications. *Biotechnol Apl*, 12(1), 270-276.

Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-28522010000400002&lng=es&nrm=iso&tlng=en

- Resh, H. (2012). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. Obtenido de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123370691>
- Rivera, P., Romero, M., De La Rocha, G., Rodriguez, S., Rodríguez, V., y Ramos, A. (2009). Efecto del ácido giberélico sobre la producción hidropónica del tomate variedad Gabriela. *Tecnociencia Chihuahua*, 4(2), 106-112.
- Roberto, K. (2003). *How-To Hydroponics* (Fourth Edition ed.). How-To Hydroponics.
- Rodríguez, H. (2009). Soluciones Nutritivas Hidropónicas: Factores y Criterios para su Formulación. II CONGRESO INTERNACIONAL HIDROPONÍA. San José, Costa Rica: Universidad Autónoma de Nuevo León. Obtenido de <https://drco-mag.yolasite.com/resources/Solucionesnutritivashidroponicasfactoresycriteriospara suformulacion.pdf>
- Sanchez, F., y Escalante, E. (2004). Un sistema de producción de plantas; hidroponía, principios y métodos de cultivo. *Universidad Autónoma de Chapingo*, 12(2), 193.
- Sandeep, A., Sangameshwar, K., Mukesh, G., Chandrakant, R., y Avinash, D. (2013). A brief overview on chitosan applications. *Indo Am J Pharmaceutical Res*, 13(1), 1564-1574.
- Savvas, D., y Passam, H. (2006). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals* (1 ed.). Embryo Publications.
- seipasa. (9 de 11 de 2015). *Bioestimulantes: Preguntas clave*. Obtenido de <https://www.seipasa.com/es/blog/bioestimulantes-preguntas-clave/>
- Shrestha, A., y Dunn, B. (2010). Hydroponics. *Oklahoma Cooperative Extension Service*, 12(3), 12-24.
- Sivanandhan, G., Kapildev, G., Selvaraj, N., y Lim, Y. P. (2023). The effect of chitosan and β -cyclodextrin on glucosinolate biosynthesis in *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* (Chinese cabbage) shoot culture. *Plant physiology and biochemistry*, 12(6), 570-575. doi:10.1016/j.plaphy.2022.12.010
- Solis, K. (2021). Las enfermedades del cacao. *Las enfermedades del cacao y las buenas practicas agronomicas para su manejo*.
- Suárez Capello, C. M. (1993). Manual del cultivo de cacao. *Iniap*, 135.
- Suarez, C. (2015). Manual del cultivo de cacao. *INIAP*, 143.
- Surujdeo-Maharaj, S., Sreenivasan, T., Motilal, L., y Umaharan, P. (2016). Black Pod and Other Phytophthora Induced Diseases of Cacao: History, Biology, and Control.
- Tender, C., Mesuere, B., Jeugt, F. V., Haegeman, A., Ruttink, T., Vandecasteele, B., . . . Kuramae, E. (2019). Peat substrate amended with chitin modulates the N-cycle,

- siderophore and chitinase responses in the lettuce rhizobiome. *Scientific reports*, 9(25), 9890. doi:10.1038/s41598-019-46106-x
- Tong, S., Eng, K., Yen, S., Kem, R., Buntong, B., Kong, T., y Acedo, A. (2017). Chitosan application for organic and safe vegetable production. *Acta horticulturae*, 134(23), 15-18. doi:10.17660/actahortic.2017.1179.3
- Urbano, H. (05 de 07 de 2020). *Informe técnico para el cultivo de col china*. Obtenido de <https://www.elhuertourbano.net/informe-tecnico-para-el-cultivo-de-col-china/>
- Velazquez, G., Garcia, A. L., E, V., Barceinas, S., y Sosa, S. (2022). *A review on hydroponics and the technologies associated for medium- and small-scale operations* (5 ed., Vol. 12).
- Vélez, R., Unda, B., y Aguilar, J. (2022). Enmiendas edáficas de biocarbones y SiO₂ en plantas de banano con manejo de agricultura orgánica. . *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 5(3), 113-123.
- Villamar, Y. (2018). Caracterización físicoquímica, microbiológica y funcional de harina de cascara de cacao variedad CCN51. *Cuaderno activa*, 65-75.
- Wang, L., Xue, X., Li, Y., Li, F., Zhang, F., y Guo, W. (2015). Effect of pH upper control limit on nutrient solution component and water spinach growth under hydroponics. *Advance journal of food science and technology: AJFST*, 9(4), 717-721. doi:10.19026/ajfst.9.1766
- Wang, Y., y Chen, X. (2012). Effect of chitosan on seed germination, seedling growth and the clubroot control in Chinese cabbage. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 12(5), 673-675.
- Xu, C., y Mou, B. (2018). Chitosan as Soil Amendment Affects Lettuce Growth, Photochemical Efficiency, and Gas Exchange. *Horttechnology*, 28(4), 476-480.
- Yablonski, B. (2022). Implementación de bioestimulantes en cultivos hidropónicos. *Global Garden*, 2(3), 33-38. Obtenido de Adding Biostimulants to Plants.
- Zambrano, J., y Iglesia. (2019). Cadena de Valor del Cacao en América Latina y. *INIAP*.
- Zong, H., liu, c., Xing, R., Chen, X., y li, p. (2017). Efecto protector del quitosano sobre la fotosíntesis y el sistema de defensa antioxidante en colza (*Brassica rapa* L.) en presencia de cadmio. *Ecotoxicología y Seguridad Ambiental*, 138(23), 271-278. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.01.009>

CAPITULO VII
ANEXOS

7.1. Anexos

Anexo A. Grado de compatibilidad de silicio con las rizobacterias.

Preparación del medio

agar



Selección de las rizobacterias



Llenado de cajas petris



Conteo de colonias en las
disoluciones



Crecimiento de las
rizobacteria



Anexo B. Concentraciones de silicio y rizobacterias en promover el desarrollo de la masa radicular en CCN51

Pre germinación de semillas



Siembra en los rizotrones



Crecimiento de plantas



Resultados finales



Toma de datos



Sacar las plantas para la
toma de datos



Anexo C. Siembra de plantas de cacao y aplicación de los consorcios.



Anexo D. ADEVA primer experimento—grado de compatibilidad del silicio y rizobacterias.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Colonias	40	0,38	0,20	104,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	624772500000000000,00	9	694191666666666700,00	2,08	0,0637
Tratamiento	624772500000000000,00	9	694191666666666700,00	2,08	0,0637
Error	999025000000000000,00	30	333008333333333300,00		
Total	1,6237975E18	39			

Anexo E. ADEVA segundo experimento - longitud radicular.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LONGITUD	24	0,47	0,32	24,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	58,03	5	11,61	3,15	0,0324
TRAT	58,03	5	11,61	3,15	0,0324
Error	66,30	18	3,68		
Total	124,33	23			

Anexo F. ADEVA segundo experimento – peso fresco radicular.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MASA RADI	24	0,66	0,57	23,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,85	5	0,17	6,98	0,0009
TRAT	0,85	5	0,17	6,98	0,0009
Error	0,44	18	0,02		
Total	1,29	23			

Anexo G. ADEVA segundo experimento – área de pelos absorbentes.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Area	24	0,93	0,90	59,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	335,48	5	67,10	44,70	<0,0001
TRAT	335,48	5	67,10	44,70	<0,0001
Error	27,02	18	1,50		
Total	362,50	23			

Anexo H. ADEVA tercer experimento – altura de plantas a los 30 días.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALT	18	0,75	0,64	11,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	419,37	5	83,87	7,09	0,0027
TRAT	419,37	5	83,87	7,09	0,0027
Error	142,03	12	11,84		
Total	561,39	17			

Anexo I. ADEVA tercer experimento – altura de plantas a los 60 días.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALT	18	0,66	0,51	11,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	334,05	5	66,81	4,60	0,0142
TRAT	334,05	5	66,81	4,60	0,0142
Error	174,46	12	14,54		
Total	508,52	17			

Anexo J. ADEVA tercer experimento – incidencia del patógeno.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
INCIDENCIA	19	0,47	0,27	163,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	95,20	5	19,04	2,31	0,1045
TRAT	95,20	5	19,04	2,31	0,1045
Error	107,36	12	8,26		
Total	202,55	17			

Anexo K. ADEVA tercer experimento – peso radicular.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Masa Radi	18	0,36	0,10	20,40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,42	5	0,88	1,38	0,2994
TRAT	4,42	5	0,88	1,38	0,2994
Error	7,70	12	0,64		
Total	12,12	17			

