



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE AGRONOMÍA (REDISEÑO)

Proyecto de investigación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Agrónomo.

Título del Proyecto de Investigación:

“Efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de *Phytophthora capsici*, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum*)”.

Autora:

Ivonne Alexandra Varas Carvajal

Director del Proyecto de Investigación:

Favio Eduardo Herrera Eguez, PhD

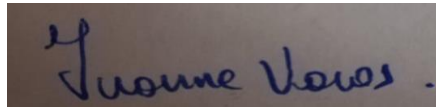
Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **IVONNE ALEXANDRA VARAS CARVAJAL**, declaro que el trabajo aquí descrito 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 trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink that reads "Ivonne Varas .".

IVONNE ALEXANDRA VARAS CARVAJAL
AUTORA

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Dr. Favio Eduardo Herrera Eguez**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el egresado **Ivonne Alexandra Varas Carvajal**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado, “**Efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de *Phytophthora capsici*, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*)**”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

**FAVIO
EDUARDO
HERRERA EGUEZ**

Digitally signed by FAVIO
EDUARDO HERRERA
EGUEZ
Date: 2021.08.05 17:02:42
-05'00'

Favio Eduardo Herrera Eguez, PhD
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO CERTIFICACIÓN

El suscrito **Favio Eduardo Herrera Eguez, PhD**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en calidad de Director del Proyecto de Investigación titulado “**Efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de *Phytophthora capsici*, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*)**”, de autoría del estudiante **VARAS CARVAJAL IVONNE ALEXANDRA** de la carrera de Agronomía (Rediseño).

CERTIFICA: el cumplimiento de los parámetros establecidos por el SENESCYT, y se evidencia el reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico (URKUND) con un porcentaje de coincidencia del 9%.

URKUND	
Documento	Tesis Urkund Varas 04-08-2021.docx (D110996837)
Presentado	2021-08-04 19:19 (-05:00)
Presentado por	Favio (fherrerae@uteq.edu.ec)
Recibido	fherrerae.uteq@analysis.orkund.com
	9% de estas 22 páginas, se componen de texto presente en 10 fuentes.

**FAVIO
EDUARDO
HERRERA EGUEZ**

Digitally signed by FAVIO
EDUARDO HERRERA
EGUEZ
Date: 2021.08.05 17:02:42
-05'00'

Favio Eduardo Herrera Eguez, PhD
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA (REDISEÑO)

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de *Phytophthora capsici*, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*)”

Presentado al Consejo Académico como requisito previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGRÓNOMO.

Autor:

Ivonne Alexandra Varas Carvajal

Aprobado por:

Dr. Juan José Reyes Pérez

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Luis Tarquino Llerena Ramos

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Luis Godoy

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

2021

AGRADECIMIENTOS

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este sueño aquellos que junto a mí caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración apoyo y fortaleza.

Esta mención es especial para Dios, mis padres, mis hermanos. Gracias a ustedes por siempre estar en este proceso.

También a mis amigos, Víctor Tubay, Víctor García, Jean Baidal, Yulissa Pazmiño, Enma Morán, Pablo Ramos y Cristian Macías que me ayudaron y fueron partícipes de este proceso universitario.

Agradezco a Ramón Murillo quien todo este tiempo desde el pre me apoyó para que terminara mi carrera con consejos y mucho apoyo para que siga adelante.

Le agradezco de todo corazón a Emilio Beltrán por todo lo que ha hecho por mí y estar presente en este transcurso universitario.

A la universidad técnica estatal de Quevedo me dio la bienvenida como tal, las oportunidades que me ha brindado, también a mis profesores por la ayuda y enseñanza de conocimientos.

A mi tutor Favio Herrera PhD, por la paciencia y por la enseñanza en este transcurso de la investigación y por los conocimientos requeridos.

DEDICATORIA

Lleno de amor y esperanza, dedico este proyecto a cada uno de mis seres queridos, quienes han sido mis pilares para seguir adelante.

Es para mí una gran satisfacción poder dedicarles a ellos, que, con mucho esfuerzo, esmero lo logre.

Porque ellos son la motivación Especialmente a mis padres Aracely Carvajal y Pedro Varas que cada mañana antes de salir de casa me daba su bendición a diario a lo largo de mi vida.

.

RESUMEN

El cultivo del pimiento *Capsicum annuum* L. se ha convertido en una de las hortalizas de mayor expansión a nivel mundial. Este cultivo se encuentra en el quinto lugar de la producción mundial y es uno de los vegetales más completos en sustancias nutritivas. El manejo de la enfermedad causada por *P. capsici*, ha causado que la mayoría de los productores renuncien a la producción de pimiento. Evaluar el efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de *Phytophthora capsici*, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*). El experimento se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo donde se evaluaron dosis de silicio para determinar aquella que tenga mayor control en la enfermedad. Primero se determinó la eficiencia del programa comparada con la escala visual usando una correlación lineal. Luego, se evaluó la severidad de la enfermedad usando ambos métodos de evaluación. Adicionalmente se evaluó rendimiento y algunas variables agronómicas como altura de planta, número de flores, número de frutos cosechados, frutos sanos, enfermos, peso de frutos sanos y enfermos mediante análisis de variancia (Tukey $p < 0.05$). Se determinó que el R^2 fue de 0.90 y 0.97 en la correlación entre Leaf Doctor y escala visual de evaluación de daños en las hojas y frutos respectivamente. Se determinó que la dosis de 500 kg/ha de silicio permite reducir la presencia de *P. capsici* en el cultivo de pimiento a nivel foliar y en los frutos. Sin embargo, la aplicación de silicio no tiene diferencias significativas con el control. En el análisis económico, se estableció que la aplicación de silicio no es rentable en el cultivo de pimiento, al obtener rendimientos inferiores al testigo (13346.67 kg/ha) y la relación beneficio/costo en el testigo (2.79) superó a los tratamientos establecidos en la investigación.

Palabras claves: silicio, Leaf Doctor, *Phytophthora capsici*.

ABSTRACT

The cultivation of *Capsicum annuum* L. pepper has become one of the fastest growing vegetables worldwide. This crop is in the fifth place in world production and is one of the most complete vegetables in nutritional substances. The management of the disease caused by *Phytophthora capsici*, has caused that most of the producers give up the production of pepper. Evaluate the effect of the edaphic application of silicon in the control of *Phytophthora capsici*, in the cultivation of pepper (*Capsicum annuum*). The experiment was carried out at the Facultad de Ciencias Agropecuarias of Universidad Técnica Estatal de Quevedo, where doses of silicon were evaluated to determine the one with the greatest control in the disease. First, the efficiency of the program compared to the visual scale was determined using a linear correlation. Then, the severity of the disease was evaluated using both evaluation methods. Additionally, yield and some agronomic variables such as plant height, number of flowers, number of harvested fruits, healthy and diseased fruits, weight of healthy and diseased fruits were evaluated through variance analysis (Tukey $p < 0.05$). It was determined that the R^2 was 0.90 and 0.97 in the correlation between Leaf Doctor and visual scale of evaluation of damage in pepper leaves and fruits respectively. It was determined that the dose of 500 kg / ha of silicon allows to reduce the presence of *P. capsici* in the pepper crop at the foliar level and in the fruits. However, the application of silicon does not have significant differences with the control. In the economic analysis, it was established that the application of silicon is not profitable in the pepper crop, because the yields were lower than the control (0.91 kg/ plot) and the benefit / cost ratio in the control (1.0) exceeded the treatments established in the investigation

Keywords: silicon, Leaf Doctor, *Phytophthora capsici*.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
CÓDIGO DUBLÍN	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1. Problema de investigación	3
1.1.1. Planteamiento del problema	3
1.1.2. Formulación del problema.....	3
1.1.3. Sistematización del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Justificación	5
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	
2.1. Marco teórico.....	7
2.1.1. Origen y distribución.....	7
2.1.2. Descripción morfológica	7

2.1.3.	<i>Phytophthora capsici</i>	7
2.1.4.	Caracterización morfológica de <i>Phytophthora spp.</i> y de <i>P. capsici</i>	8
2.1.5.	Síntomas de <i>Phytophthora capsici</i> en el pimiento	9
2.1.6.	Escala de evaluación visual de <i>Phytophthora capsici</i>	9
2.1.7.	Ciclo de vida de <i>Phytophthora capsici</i>	10
2.1.8.	El silicio (Si).....	11
2.1.9.	Importancia del silicio en las plantas	12
2.1.10.	LeafDoctor.....	14

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	Localización de la investigación	16
3.2.	Métodos de investigación.....	16
3.3.	Fuentes de recopilación de información.....	16
3.4.	Materiales	16
3.4.1.	Material de campo	16
3.4.2.	Insumos	17
3.4.3.	Material de oficina.....	17
3.4.4.	Material vegetal.....	17
3.5.	Diseño de la investigación	17
3.5.1.	Factores a evaluar.....	17
3.5.2.	Tratamientos evaluados	17
3.5.3.	Diseño experimental.....	18
3.6.	Manejo del experimento.....	19
3.6.1.	Preparación de las fundas	19
3.6.2.	Elaboración del semillero	19
3.6.3.	Trasplante	19
3.6.4.	Riego	19
3.6.5.	Fertilización convencional	19
3.6.6.	Aplicación de tratamientos de silicio	20
3.6.7.	Control de malezas	20
3.6.8.	Control de plagas y enfermedades.....	20
3.6.9.	Cosecha	20
3.6.10.	Evaluación de tratamientos	20

3.7.	Variables evaluadas	21
3.7.4.	Conteo de frutos	21
3.7.5.	Peso del fruto.....	21
3.7.6.	Numero de flores	22
3.7.7.	Numero de frutos sanos.....	22
3.7.8.	Numero de frutos enfermos.....	22
3.7.9.	Rendimiento	22
3.7.10.	Análisis económico	22

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.	Resultados.....	24
4.1.1.	Análisis de correlación entre dos métodos de evaluación de hojas.....	24
4.1.2.	Análisis de correlación entre dos métodos de evaluación de frutos.....	24
4.1.3.	Grado de severidad de <i>Phytophthora capsici</i> frente a diferentes dosis de silicio	25
4.1.4.	Severidad de enfermedad en hojas de diferentes alturas	26
4.1.5.	Severidad de daño en el fruto de pimiento	27
4.1.6.	Variables agronómicas bajo la aplicación de silicio	28
4.1.7.	Análisis de rentabilidad económica.....	29
4.2.	Discusión	31

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	34
5.2.	Recomendaciones	35

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

6.1.	Bibliografía	37
------	--------------------	----

CAPÍTULO VII. ANEXOS

7.1.	Anexos.....	42
------	-------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de vida de <i>Phytophthora capsici</i> (Doñas, 2014).	11
Figura 2: Correlación de la evaluación visual y Leaf Doctor sobre las hojas	24
Figura 3: Correlación de la evaluación visual y Leaf Doctor sobre los frutos	25
Figura 4: Análisis de la severidad <i>Phytophthora capsici</i> a nivel foliar	26
Figura 5: Análisis de la severidad <i>Phytophthora capsici</i> a nivel foliar en diferente altura	27
Figura 6: Análisis de la severidad de <i>Phytophthora capsici</i> en el fruto	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala de severidad de <i>Phytophthora capsici</i> en el cultivo de <i>Capsicum annuum</i>	10
Tabla 2: Tratamientos realizados en la investigación.	18
Tabla 3: Esquema del Análisis de Varianza utilizado en el ensayo.	18
Tabla 4: Variables agronómicas en el cultivo de pimiento para la severidad <i>Phytophthora capsici</i> bajo las diferentes dosis de silicio.	29
Tabla 5: Análisis de rentabilidad y rendimiento del cultivo de pimiento (<i>Capsicum annuum</i>) cosechado durante 16 semanas.	29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Fumigación al cultivo <i>Capsicum annuum</i> para los insectos.....	42
Anexo 2: Peso en gramos por tratamiento del cultivo <i>Capsicum annuum</i>	42
Anexo 3: Riego al cultivo de <i>Capsicum annuum</i> por tratamiento.	43
Anexo 4: Amarrado por planta al cultivo <i>Capsicum annuum</i>	43
Anexo 5: Medición de la altura de cada tratamiento del cultivo <i>Capsicum annuum</i>	44
Anexo 6: Conteo de frutos y flores por tratamiento del cultivo <i>Capsicum annuum</i>	44
Anexo 7: Precio del <i>Capsicum annuum</i> en la zona de Los Ríos.....	45
Anexo 8: Muestra de la enfermedad <i>Phytophthora capsici</i> en el cultivo de <i>Capsicum annuum</i>	45
Anexo 9: Foto tomada con el programa LeafDoctor marcando la enfermedad <i>Phytophthora capsici</i> en la hoja.....	46
Anexo 10: Foto tomada con el programa LeafDoctor marcando el porcentaje de la enfermedad <i>Phytophthora capsici</i> en la hoja.....	47
Anexo 11: Foto tomada con el programa LeafDoctor marcando la enfermedad <i>Phytophthora capsici</i> en el fruto.....	48
Anexo 12: Foto tomada con el programa LeafDoctor marcando el porcentaje de la enfermedad <i>Phytophthora capsici</i> en el fruto.....	49

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de <i>Phytophthora capsici</i> , en el cultivo de pimiento (<i>Capsicum annuum</i>).
Autor:	Ivonne Alexandra Varas Carvajal
Palabras clave:	silicio, Leaf Doctor, <i>Phytophthora capsici</i>
Fecha de publicación:	
Editorial:	Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), 2021.
Resumen: (hasta 300 palabras)	<p>El cultivo del pimiento <i>Capsicum annuum</i> L. se ha convertido en una de las hortalizas de mayor expansión a nivel mundial. Este cultivo se encuentra en el quinto lugar de la producción mundial y es uno de los vegetales más completos en sustancias nutritivas. El manejo de la enfermedad causada por <i>P. capsici</i>, ha causado que la mayoría de los productores renuncien a la producción de pimiento. Evaluar el efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de <i>Phytophthora capsici</i>, en el cultivo de pimiento (<i>Capsicum annuum</i>). El experimento se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo donde se evaluaron dosis de silicio para determinar aquella que tenga mayor control en la enfermedad. Primero se determinó la eficiencia del programa comparada con la escala visual usando una correlación lineal. Luego, se evaluó la severidad de la enfermedad usando ambos métodos de evaluación. Adicionalmente se evaluó rendimiento y algunas variables agronómicas como altura de planta, número de flores, número de frutos cosechados, frutos sanos, enfermos, peso de frutos sanos y enfermos mediante análisis de variancia (Tukey $p < 0.05$). Se determinó que el R^2 fue de 0.90 y 0.97 en la correlación entre Leaf Doctor y escala visual de evaluación de daños en las hojas y frutos respectivamente. Se determinó que la dosis de 500 kg/ha de silicio permite reducir la presencia de <i>P. capsici</i> en el cultivo de pimiento a nivel foliar y en los frutos. Sin embargo, la aplicación de silicio no tiene diferencias significativas con el control. En el análisis económico, se estableció que la aplicación de silicio no es rentable en el cultivo de pimiento, al obtener rendimientos inferiores al testigo (0.91 kg/parcela) y la relación beneficio/costo en el testigo (1.0) superó a los tratamientos establecidos en la investigación.</p>
Descripción:	66 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm
URI:	

INTRODUCCIÓN

El cultivo del pimiento *Capsicum annuum* L. se ha convertido en una de las hortalizas de mayor expansión a nivel mundial junto con el tomate, lo que resalta la importancia del pimiento en la alimentación de millones de personas en el mundo. Ángeles (2010) indica que el pimiento es originario de la zona de Bolivia y Perú, donde además de pimiento. Se cultivaban al menos otras cuatro especies.

Este cultivo se encuentra en el quinto lugar de la producción mundial y de acuerdo a Álvarez y Pino (2016).es uno de los vegetales más completos en sustancias nutritivas, donde se destaca la presencia de vitamina A con 380 mg; las del complejo vitamínico B; la vitamina C con 104-204 mg, la vitamina E con 2.9 mg, los minerales calcio, hierro y fósforo, así como proteínas, fibra dietética y kilocalorías.

De acuerdo a Buñay (2017) en el Ecuador, el pimiento es considerado uno de los alimentos más importantes, tanto para la alimentación humana como animal; este cultivo se ha visto favorecido debido a que el Ecuador posee características geográficas, climáticas y suelos, adecuadas para su desarrollo, sembrándose en la Costa y parte de la Sierra, en especial en las provincias de Guayas, Santa Elena, Manabí, El Oro, Imbabura, Chimborazo y Loja donde el clima, la altitud y el suelo es propicio. Tiene un ciclo vegetativo, según la variedad, entre 4 a 6 meses.

El silicio dentro de la producción agrícola cumple un papel multifuncional en lo que refiere al ciclo de desarrollo de los cultivos, es decir, desde la siembra, hasta la cosecha. Para Onofre (2019) este elemento cumple papeles de desbloqueador de nutrientes en el suelo, mediante sus iones aleja a los elementos que generan toxicidad en las plantas, al adicionar silicatos a las plantas, favorece a la producción de fitoalexinas (sustancias de mucha importancia para la autodefensa de éstas), inhibe la transpiración excesiva de agua y cualquier sustancia mineral que se encuentran en la masa foliar, refuerza las paredes celulares de las hojas, evitando así la penetración e infección de hongos fitopatógenos.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

Los productores de pimiento del cantón Mocache tienen inconvenientes en el manejo de la enfermedad causada por, lo que ha causado que la mayoría de estos, renuncien a la producción de pimiento, ocasionando un menor desarrollo. Una vez que esto ha pasado, la economía desciende y genera falta de empleo y necesidad en las áreas rurales. Una opción para los productores es una identificación temprana de la enfermedad y la aplicación de fertilizantes que puedan proteger a las plantas.

1.1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de *Phytophthora capsici*, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*)?

1.1.3. Sistematización del problema

¿Cuál es la eficiencia del programa Leaf Doctor para la evaluación de *P. capsici*, en comparación a una escala visual?

¿Qué dosis de silicio disminuye la progresión de enfermedad causada por *P. capsici*?

¿Qué tratamiento produce el mayor beneficio económico en el cultivo de pimiento?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Evaluar el efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de *Phytophthora capsici*, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*).

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la dosis de silicio que tenga mayor efecto control sobre *P. capsici*.
- Establecer una comparación entre la evaluación visual (escalas preestablecidas) y la utilización del procesador de imágenes Leaf Doctor para la incidencia de *P. capsici* en pimiento.
- Realizar un análisis de rentabilidad económica basado en los costos de producción y ganancia de los tratamientos.

1.3. Justificación

El pimiento es un cultivo de gran importancia económica, pero se ve afectado por diferentes plagas y enfermedades y controlar este problema a través del uso de silicio es una forma muy sustentable para evitar pérdidas en la producción.

La tristeza del pimiento es una enfermedad causada por el hongo *P. capsici*, esta enfermedad ataca la planta en cualquier estado vegetativo, causa pudriciones a nivel de raíces y cuello de la planta. Presenta una marchitez de evolución rápida, sin que aparezcan manchas o clorosis, dicha enfermedad de no ser controlada a tiempo puede disminuir considerablemente la producción del cultivo.

Las enfermedades que afectan los cultivos generalmente reducen su rendimiento y calidad, los patógenos crean resistencia ante los agroquímicos y los cultivos se vuelven susceptibles. Es necesario encontrar sistemas de producción que puedan contrarrestar la presencia de las enfermedades, por lo cual, incorporar silicio en el manejo integrado del cultivo se presenta como una alternativa de solución muy acertada para mantener y mejorar la producción del cultivo ya que este actúa como un bioestimulante que permite que la planta mejore su capacidad de respuesta ante patógenos que causan daño a su estructura.

Además, con la aplicación de tecnologías móviles se permitirá la identificación en campo del avance de la enfermedad y así llevar un control más riguroso de su presencia y la aplicación de medidas que contrarresten su avance. Ante lo anteriormente planteado surge este proyecto de investigación, cuyos resultados estarán disponibles para los productores de pimiento e investigadores.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco teórico

2.1.1. Origen y distribución

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es un cultivo hortícola originario de América, de gran importancia nacional y mundial por su amplia difusión y gran importancia económica, siendo el quinto cultivo hortícola en cuanto a superficie cultivada se refiere y el octavo según la producción total, en todo el planeta. El pimiento es una hortaliza de gran consumo mundial que en los últimos años ha experimentado un incremento considerable en la producción y su nivel de exportación (Castillo, 2011).

2.1.2. Descripción morfológica

Es una planta herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0.5 m y más de 2 m. Posee raíz pivotante y numerosas raíces adventicias que pueden alcanzar hasta 1 m de longitud. El tallo es erecto y de crecimiento limitado con varias ramificaciones. El sistema foliar está compuesto por hojas enteras, lanceoladas, con ápice acuminado y peciolo largo, la inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad. Las flores son pequeñas y constan de una corola blanca. El fruto es una baya hueca y deprimida, de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco). Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central. Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 mm (INFOAGRO, 2020) .

2.1.3. *Phytophthora capsici*

Es un patógeno de los vegetales altamente dinámico y destructivo. Ataca todas las cucurbitáceas, pimiento, tomate y berenjena. La incidencia y gravedad de la enfermedad ha aumentado significativamente en las últimas décadas, presenta el peor de los casos de oomicetos para los cultivadores, ya que tiene una amplia gama de huéspedes, a menudo produce esporas sexuales latentes de larga vida, tiene una amplia diversidad genotípica y un ciclo explosivo de enfermedades asexuales. *P. capsici* es fácil de cultivar, aparear y manipular en el laboratorio e infecta a muchas especies de plantas (Lamour *et al.*, 2012).

2.1.4. Caracterización morfológica de *Phytophthora spp.* y de *P. capsici*

Dentro de las estructuras vegetativas que caracterizan a las especies de *Phytophthora*, el micelio según los casos, puede ser hialino, cenocítico, de grosor variable, con gotas oleosas y con ramificaciones. En algunas especies el micelio se presenta toruloso en todos los medios, con protuberancias y vesículas características, por ejemplo, en *P. cinnamomi*. En otras, se caracteriza por ser muy ramificado, con aspecto arborescente (*P. nicotianae*), o más bien liso y poco ramificado. A partir de ramificaciones hifales, denominadas zoosporangióforos, se forman los zoosporangios, la forma esporangial (limoniforme, elipsoidal, ovoide, obpiriforme, irregular, globosa, etc.), el tamaño, razón de long/diám. y el estrechamiento de la base son características importantes para la identificación (Martin *et al.*, 2012).

En el extremo distal de la estructura se forma un poro taponado por un material similar al de las paredes, el que adquiere la forma de una papila más o menos prominente. Según su espesor, los zoosporangios se clasifican como: papilados ($\geq 3.5 \mu\text{m}$), semipapilados ($< 3.5 \mu\text{m}$), o no papilados (con un leve engrosamiento apical) (Iribarren, 2015)

En el interior de los zoosporangios se forman las zoosporas, esporas móviles, que luego son expulsadas a través del poro apical. No poseen pared celular, son reniformes, uninucleadas, con una hendidura longitudinal central donde se insertan dos flagelos de diferente longitud. El flagelo anterior es más corto y el flagelo posterior es más largo, liso, tipo látigo. Estos flagelos permiten la movilidad en medios líquidos por varias horas, mediante desplazamientos helicoidales y cambios de dirección frecuentes (Dick, 2001).

Los zoosporangios y las zoosporas constituyen el estado asexual de las especies de *Phytophthora*. Aunque algunas especies producen también estructuras de persistencia rodeadas íntegramente con una pared gruesa, denominadas clamidosporas, las que aportan una característica de valor sistemático. El estado sexual de *Phytophthora* es la segunda característica más importante e involucra la producción de dos gametangios morfológicamente diferenciados: el oogonio, estructura femenina y el anteridio, estructura masculina (Martin *et al.*, 2012).

La reproducción sexual puede ocurrir mediante dos modalidades: a partir del micelio de un solo aislamiento (homotalismo) o por el contacto de dos aislamientos con los tipos de apareamiento opuestos, designados A1 y A2 (heterotalismo) (Erwin *et al.*, 1983).

La fecundación del oogonio resulta en una única oospora, con una gran capacidad de supervivencia porque está rodeada por paredes gruesas. Para la mayoría de las especies, con algunas excepciones, la morfología de los oogonios y las oosporas per se no difiere suficientemente entre las especies como para tener valor taxonómico (Martin *et al.*, 2012).

Algunas características diferenciales de los oogonios y las oosporas son: lisa u ornamentada, con un estrechamiento basal, plerótica o aplerótica (Se denomina aplerótica cuando existe un espacio entre la pared de la oospora y el oogonio o plerótica cuando el espacio es ocupado por el oogonio (Iribarren, 2015)).

2.1.5. Síntomas de *Phytophthora capsici* en el pimiento

Los síntomas en la base del tallo de las plantas adultas afectadas se manifiestan inicialmente en forma de canchales o bandas alargadas de color verde oscuro y apariencia húmeda. Luego estas lesiones cambian a color café oscuro y rodean completamente la base del tallo principal. Las ramas pueden presentar marchitez a partir del punto de infección, en las hojas se observan manchas grandes e irregulares color café. Las plantas severamente afectadas se secan y mueren rápidamente, en algunas ocasiones, el hongo produce un micelio blanco de apariencia algodonosa en los órganos afectados; el hábitat de este hongo es el suelo, donde puede sobrevivir por varios años. Temperaturas cálidas, demasiada humedad en el suelo y suelos con pobre drenaje favorecen el desarrollo de la enfermedad; este hongo puede ser transmitido por la semilla y se puede diseminar por el sistema de riego por surcos (Rosas, 2015).

2.1.6. Escala de evaluación visual de *Phytophthora capsici*

Al momento de evaluar el nivel de daño de la enfermedad por efecto de diferentes tratamientos, se requiere del uso de escalas de severidad o virulencia del fitopatógeno en la especie vegetal, así como en las condiciones experimentales específicas donde se lleva a.

cabo el ensayo. A continuación, en la tabla 1 se indica la escala desarrollada por Reyes *et al.* (2015).

Tabla 1: Escala de severidad de *Phytophthora capsici* en el cultivo de *Capsicum annuum*.

NIVEL	DESCRIPCIÓN
0	Planta sana: hojas turgentes y de color verde intenso, tallo erguido. Sistema radical sano y abundante, no se observa necrosis en haces vasculares.
1	Marchitez leve: planta con hojas encorvadas, y poco turgentes. Tallo con necrosis en la zona basal, visible únicamente realizando un corte longitudinal. Necrosis en la zona basal del tallo.
2	Marchitez moderada: planta con hojas encorvadas y poco turgentes, hasta un 20% de hojas desprendidas. Tallo con necrosis avanzada hasta un 20%. Necrosis en la zona basal, las raíces secundarias y haces vasculares.
3	Marchitez avanzada: planta con hojas encorvadas y poco turgentes coma hasta un 50% de hojas desprendidas. Tallo con necrosis en hasta un 40%. Necrosis en raíces secundarias y haces vasculares hasta en un 40% de su longitud (pérdida del 30% del sistema radical). La planta puede desprenderse del sustrato con facilidad. El crecimiento se detiene.
4	Marchitez muy avanzada: planta con hojas muy encorvadas, poco turgente y con más de 50% desprendidas. Necrosis del tallo mayor al 50% de su longitud. Sistema radical con necrosis casi en su totalidad (pérdida del 50% de volumen radical). La epidermis de las raíces se desprende con facilidad. Se observa tejido degradado en los haces vasculares.
5	Marchitez severa: planta muerta. Hojas secas con 90 al 100% desprendida. Tallo con necrosis casi en su totalidad, rígido. Sistema radical necrótico, raíces con epidermis desprendida (pérdida del 70% del volumen radical). Se observa tejido degradado en los haces vasculares.

Fuente: (Reyes *et al.*,2015).

2.1.7. Ciclo de vida de *Phytophthora capsici*

Phytophthora produce esporas asexuales en condiciones favorables, y exhiben una transición de un crecimiento vegetativo rápido a temperaturas óptimas y en medios

relativamente ricos, para reducir su crecimiento bajo condiciones de nutrientes limitadas. En la Figura 1 se observan las fases sexual y asexual (Doñas, 2014).

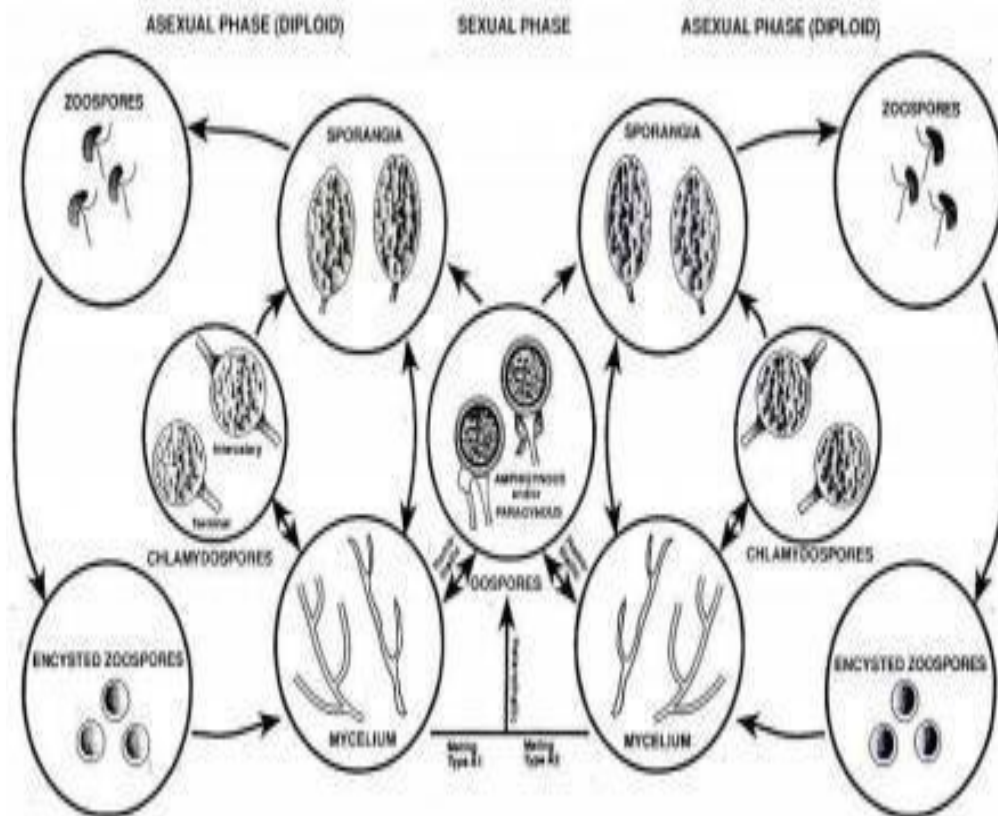


Figura 1: Ciclo de vida de *Phytophthora capsici* (Doñas, 2014).

2.1.8. El silicio (Si)

Es el segundo elemento más abundante en la litósfera. Presente en casi todos los minerales en forma no biodisponible. Los suelos ácidos suelen contener concentraciones bajas de Si en la solución del suelo. Este elemento no existe de forma natural en estado libre, generalmente se encuentra en forma de dióxido de silicio y en silicatos complejos. Se ha demostrado que sí es un elemento benéfico para los cultivos.

El silicio es absorbido por las plantas como ácido monosilico $\text{Si}(\text{OH})_4$, es transportado por el xilema y su distribución dentro de la planta depende de la velocidad de transpiración de sus diferentes partes. Se han encontrado que las aplicaciones de silicio aumentan los rendimientos de arroz desde el 1 hasta el 30 %, en caña del 7 al 45 %. La adición de silicio se encuentra en el límite ente la nutrición, la bioestimulación y la protección vegetal; en

contraposición de la creencia general de que el silicio no es un elemento esencial (INTAGRI, 2020).

En la corteza terrestre ocupa el 28%, precedido por el oxígeno (47%). Los elementos C, H, O, N, P y S son considerados mayoritarios en los seres vivos, mientras que el Si se considera elemento traza. No obstante, en algunas especies de algas verde-amarillas y diatomeas, se considera al silicio como elemento esencial para la formación de las paredes celulares conocidas como frústulas (Quiroga, 2016).

El silicio no se encuentra libre en la naturaleza y debido a su fuerte afinidad con el oxígeno produce varias formas de SiO_2 (vidrio de sílica, sílica amorfa, cristobalita y cuarzo) u otros silicatos, los cuales están combinados con varios metales (Al, Fe, Mn, Mg, entre otros). Se considera al silicio como el elemento más importante del siglo XXI, ya que es fundamental en la fabricación industrial. Debido a su alta composición en la corteza terrestre, se ha considerado como el elemento más renovable o sostenible (Álvarez y Osorio, 2014).

Investigaciones recientes señalan al silicio como un elemento benéfico en la agricultura, puesto que en cultivos como arroz, caña de azúcar y demás gramíneas, han alcanzado buenos resultados (SEPHU, 2009).

Para que los organismos fotosintéticos como bacterias, algas y plantas asimilen silicio, este deberá estar en su forma soluble como ácido monosilícico (H_4SiO_4). A través del proceso de biosilificación, se formarían compuestos sólidos, creando intracelular y extracelular, cuerpos de sílice amorfos, algunas veces descritos como fitolitos y ópalo. Estos cuerpos están inextricablemente unidos y/o son esenciales para el crecimiento, fuerza mecánica, rigidez, defensa de predadores y hongos, elasticidad, regulación metabólica y térmica, permitiendo un crecimiento confortable de las células, órganos y tejidos de las plantas (Quero, 2009)

2.1.9. Importancia del silicio en las plantas

El Si constituye entre el 0.1 y el 10% del peso seco de las plantas superiores. En comparación, el Ca está presente en valores que van de 0.1 a 0.6% y el S de 0.1 a 1.5%. El arroz acumula hasta 10% de Si y, en general, las monocotiledóneas acumulan más Si que las dicotiledóneas, aunque las diferencias pueden darse incluso a nivel de variedad (Huerta *et al.*, 2015). Los fisiólogos vegetales no consideran al Si como un elemento esencial para

las plantas; sin embargo, se ha reportado que la presencia de Si beneficia los cultivos, por inducción de resistencia y protección contra diversos factores ambientales bióticos y abióticos (Eptein, 1999).

En el caso de incrementar la resistencia al ataque de patógenos e insectos, el papel del Si ha sido atribuido en parte a su acumulación y polimerización en las paredes celulares, lo cual constituye una barrera mecánica contra el ataque; sin embargo, se ha demostrado que el tratamiento de las plantas con Si trae como consecuencia la acumulación de compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas. En plantas tales como calabacita (*Cucurbita* sp.), avena (*Avena sativa*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) se ha observado que la fertilización con Si trae como consecuencia un aumento en la síntesis de peroxidasa, polifenoloxidasa, glucanasas y quitinasas; estas enzimas están relacionadas con un incremento en la producción de quinonas y especies reactivas de O₂ que tienen propiedades antibióticas, favorecen la mayor lignificación de los tejidos, la disminución en la calidad nutricional y la digestibilidad, todo lo cual genera, consecuentemente, un decremento en la preferencia de los insectos por las plantas (Castellanos *et al.*, 2015).

También se ha demostrado que el Si disminuye la toxicidad de distintos elementos. En plantas de cebada (*Hordeum vulgare*) cultivadas in vitro se evaluó el efecto de la adición de Si en la toxicidad del manganeso. Las plantas cuyo medio fue adicionado con 9.1 μM de Mn presentaron manchas necróticas que fueron prevenidas por la adición de Si 357 μM (10 ppm). Las hojas presentaron un contenido similar de Mn, pero al parecer el Si favoreció su distribución a través de toda la hoja y evitó la aparición de las manchas. Actualmente, la aplicación de fertilizantes con Si es común en Corea y Japón, con un consumo anual de 400,000 y 1,000,000 de toneladas, respectivamente, con lo que se logra un incremento y/o sostenimiento en la producción de arroz, la fertilización con Si también se ha documentado en Brasil, Australia, Sudáfrica e India para incrementar la producción de caña de azúcar (Eptein, 1999).

El silicio tiene acción sinérgica con el calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn) y molibdeno (Mo). Los seis elementos presentan una acción sinérgica, optimizando el desarrollo del cultivo y producción de cosecha, también mejorando la vida media de las cosechas percederas (Quiroga, 2016). De igual modo, se reduce la captación de Manganeso (Mn), Hierro (Fe), y otros metales pesados a través de la precipitación de

compuestos formados por el silicio (Si-Mn), mejorando la tolerancia a la toxicidad por elementos del suelo o una mejor distribución (Pinzón *et al.*, 2017).

2.1.10. LeafDoctor

La aplicación Leaf Doctor realiza evaluaciones cuantitativas de enfermedades de plantas en órganos de plantas como las hojas. Los usuarios recopilan o envían fotografías de órganos de plantas enfermos y calculan el porcentaje de tejido enfermo. Al tocar la pantalla del dispositivo por parte del usuario, el algoritmo emplea valores especificados por el usuario para hasta ocho colores de tejidos sanos en la fotografía. El color de cada píxel se evalúa luego por su distancia de los colores saludables y se le asigna un estado de saludable o enfermo. Los usuarios pueden deslizar una barra de umbral hasta que estén satisfechos de que los tejidos enfermos estén representados con precisión antes del cálculo del porcentaje. Los datos de la evaluación y las fotografías pueden enviarse por correo electrónico a cualquier destinatario (ECHOcommunity, 2020).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización de la investigación

La investigación se realizó en las instalaciones del Campus Experimental “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicada en el Km 7 vía Quevedo – El Empalme, cuyas coordenadas geográficas son las siguientes: 79° 27” de longitud Oeste y 01° 06” de latitud Sur a una altitud de 67 msnm.

3.2. Métodos de investigación

Se empleó el método deductivo partiendo de información procedente de literatura y trabajos realizados con anterioridad sobre la aplicación de silicio en el manejo fitosanitario y agronómico del cultivo de pimiento.

3.3. Fuentes de recopilación de información

Las fuentes bibliográficas que se utilizaron en la presente investigación procedieron de revistas científicas, libros, boletines y fuentes de internet.

3.4. Materiales

3.4.1. Material de campo

- Machete
- Estacas
- Balanza
- Saquillos
- Carretilla
- Pala
- Guantes
- Mascarilla
- Fundas
- regadera

3.4.2. Insumos

- Insecticida
- Urea (46-0-0)
- DAP (18-46-0)
- Muriato de Potasio (0-0-60)
- Silicio granular comercial (15 % SiO₂ / 50 kg)

3.4.3. Material de oficina

- Cuaderno
- Lapicero
- Computadora
- Calculadora
- Memoria (USB)

3.4.4. Material vegetal

- Semilla de pimiento híbrido Martha.

3.5. Diseño de la investigación

3.5.1. Factores a evaluar

En el presente trabajo de investigación se utilizó como factor en estudio el fertilizante silicio granular comercial (15 % SiO₂ / 50 kg), en el cultivo de pimiento, con tres aplicaciones las cuales se hicieron a los 15, 30 y 45 días después del trasplante.

3.5.2. Tratamientos evaluados

En la tabla 2 se indican los tratamientos que se realizaron en este trabajo de investigación. La dosis de silicio se basa en los trabajos realizados por Lee *et al.* (2004) y French *et al.* (2010).

Tabla 2: Tratamientos realizados en la investigación.

Tratamiento	Descripción
T ₁	Sin aplicación (Testigo)
T ₂	Silicio (400 kg/ha)
T ₃	Silicio 50% (200 kg/ha)
T ₄	Silicio 75% (300 kg/ha)
T ₅	Silicio 125% (500 kg/ha)
T ₆	Silicio 150% (600 kg/ha)

Elaborado por: Autora.

3.5.3. Diseño experimental

Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), con seis tratamientos y tres repeticiones para cada tratamiento, cada una de las variables fueron sometidas a una prueba de varianza para definir las diferencias estadísticas y significancia a través de la prueba de Tukey al 0.05% mediante el software Infostat. En la tabla 3 se muestra el esquema de análisis de varianza (ANOVA) que se utilizó en la investigación

Tabla 3: Esquema del Análisis de Varianza utilizado en el ensayo.

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	5
Error	12
Total	17

Elaborado por: Autora.

3.5.4. Regresiones y correlaciones

Se realizaron regresiones y correlaciones entre el factor en estudio y las variables a evaluar.

Entre ellas tenemos la dosis del fertilizante y silicio por la cantidad de frutos cosechados completamente sanos.

3.5.5. Relación Beneficio-Costo

Se realizó la relación del beneficio – costo referente a los tratamientos utilizados, así como el análisis de rendimiento.

3.6. Manejo del experimento

3.6.1. Preparación de las fundas

Se realizó primero la preparación del suelo para el llenado de fundas usando tamaño 14*16 pulgadas para las plántulas, estas se llevaron al invernadero.

3.6.2. Elaboración del semillero

Las plántulas de pimiento variedad “Martha” fueron adquiridas en Ibarra

3.6.3. Trasplante

Después de obtener las plántulas de pimiento variedad “Martha”. Se llevaron al invernadero, donde se realizaron los hoyos de acuerdo al marco de plantación. Posteriormente se regó el suelo para permitir la absorción de humedad.

3.6.4. Riego

El riego se realizó dos veces a la semana mediante un sistema de microaspersión durante las primeras etapas de crecimiento de las planas, posteriormente, el riego se redujo a una vez semanal manualmente con una regadera de 120 litros para cada repetición.

3.6.5. Fertilización convencional

Se realizó fertilizaciones a base de N-P-K, las dosis fueron de 294 kg/ha de N, 73 kg/ha de P y 491 kg/ha de K, estas dosis fueron determinadas en el manual del cultivo de Berríos *et al.* (2007).

3.6.6. Aplicación de tratamientos de silicio

La aplicación del silicio se efectuó a los 15, 30 y 45 días después del trasplante, se realizó un agujero a 5 cm de distancia del tallo y el silicio fue colocado dentro del agujero y posteriormente cubierto con una capa delgada de tierra.

3.6.7. Control de malezas

Se efectuó manualmente cada 15 días.

3.6.8. Control de plagas y enfermedades

Se aplicó insecticida (Clorpirifos) para el control de Hormigas arrieras (*Atta* sp.) en dosis de 300 mL/ha una semana después de trasplante.

3.6.9. Cosecha

Se realizó cuando los frutos alcanzaron la madurez, entre 110 a 130 días después del trasplante.

3.6.10. Evaluación de tratamientos

Se eligieron todas las plantas de cada repetición (20) y se les realizó las evaluaciones; la incidencia de *P. capsici*, mediante el uso de la aplicación Leaf Doctor fue cada 10 días, de igual forma se utilizó paralelamente la escala visual de Reyes *et al.* (2015).

Al ser un experimento en condiciones de invernadero n, no se consideró un efecto borde para la evaluación de las variables del ensayo. *P. capsici* es un patógeno que ataca el sistema radicular, pero genera síntomas a nivel foliar por lo cual, las evaluaciones de incidencia fueron a las hojas de las plantas altas medias y bajas. Los datos de las demás variables fueron evaluados una vez finalice el ciclo productivo del cultivo para determinar cuál resultado mejor con las dosis aplicadas.

3.7. Variables evaluadas

3.7.1. Porcentaje de la incidencia de *Phytophthora capsici*

Se evaluó cada tratamiento, mediante la aplicación de la siguiente fórmula, el valor obtenido fue representado en porcentaje (%):

$$\% \text{ de incidencia} = \frac{PE}{N} \times 100$$

PE = Planta Enferma y N = Total de plantas

3.7.2. Severidad de daño ocasionado por *Phytophthora capsici* (escala visual)

Se procedió a evaluar visualmente la severidad mediante la aplicación de la escala desarrollada por Reyes *et al.* (2015) (ver Tabla 1). Se obtuvo un valor representado en porcentaje (%).

3.7.3. Severidad de daño ocasionado por *Phytophthora capsici* (LeafDoctor)

Se procedió a tomar fotografía de las hojas a través de la aplicación Leaf Doctor para evaluar el nivel de daño que ha sido ocasionado por el patógeno. Se obtuvo un valor representado en porcentaje (%).

3.7.4. Conteo de frutos

Se contabilizaron los frutos sanos y enfermos producidos por cada planta al momento de la cosecha de cada uno de los tratamientos.

3.7.5. Peso del fruto

Se procedió a pesar el fruto separado de cada tratamiento, se usó como medida el kg.

3.7.6. Numero de flores

Se realizó el conteo de flores por planta cada semana por tratamiento.

3.7.7. Numero de frutos sanos

Se realizó el número de frutos sanos por planta cada semana por tratamiento. Se pesó en una balanza electrónica y el peso se expresó en kg.

3.7.8. Numero de frutos enfermos

Se realizó el número de frutos enfermos por planta cada semana por tratamiento, Se pesó en una balanza electrónica y el peso se expresó en kg.

3.7.9. Rendimiento

Se evaluó el rendimiento de número de flores número de frutos, frutos sanos, frutos enfermos, peso sano, peso enfermo del cultivo a través del conteo de frutos totales por repetición y se representó en kilogramos por hectárea (kg/ha). El rendimiento estuvo constituido por los frutos sanos cosechados (una o dos veces) en la parcela útil de cada unidad experimental y transformados a Kg/ha previo el ajuste requerido para la transformación.

R= Rendimiento en kg/ha

PFP= Peso de los frutos por planta

NP= Número de plantas por hectárea

3.7.10. Análisis económico

Se valoraron los costos de cada tratamiento, se determinó el costo variable y total. Se determinó el Ingreso bruto (rendimiento por precio de venta) para luego calcular el beneficio neto y la rentabilidad por tratamiento.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados

4.1.1. Análisis de correlación entre dos métodos de evaluación de hojas

Para determinar el nivel de daño de *P. capsici* en las hojas del cultivo se realizó una correlación entre el nivel de daño evaluado de forma visual y mediante el uso del programa informático de Leaf Doctor, las escalas a utilizar fueron las planteadas por Reyes *et al.* (2015). En la Figura 2; se puede observar que existe una correlación positiva y alta entre la evaluación visual frente a la arrojada por el programa Leaf Doctor, el factor R o factor de Pearson fue de 0.90.

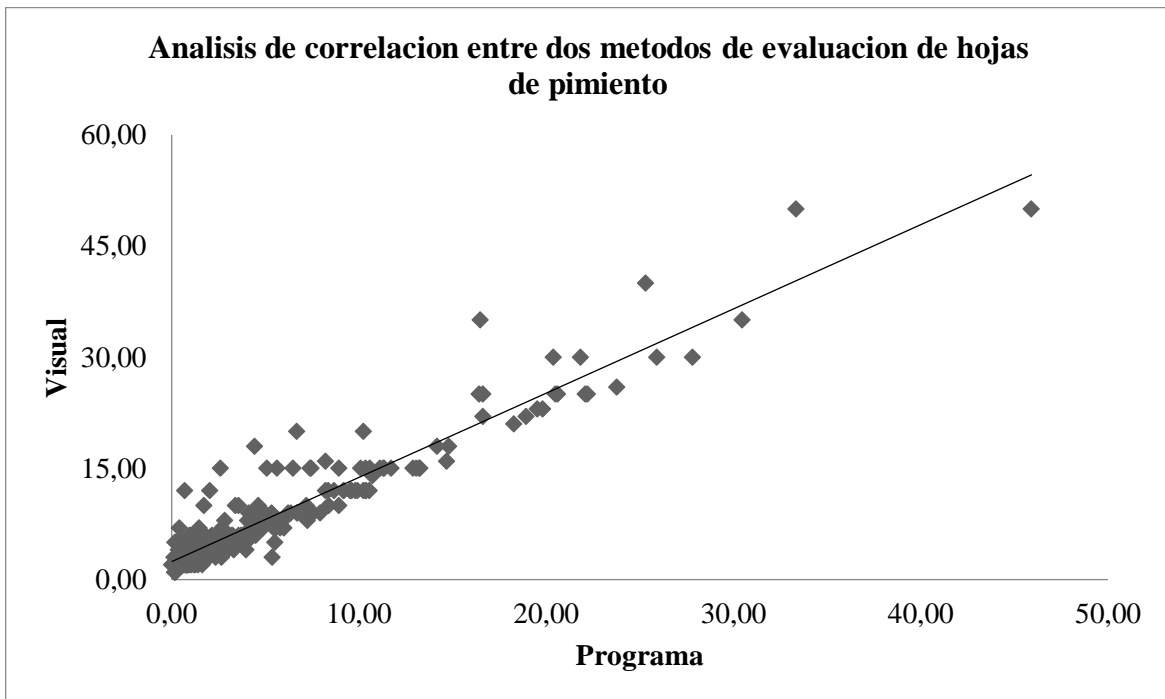


Figura 2: Correlación de la evaluación visual y Leaf Doctor sobre las hojas

Análisis de correlación entre dos métodos de evaluación de hojas de pimiento (*Capsicum annuum*), utilizando escalas de evaluación de daño visual y el programa Leaf Doctor para la enfermedad *Phytophthora capsici*. $R^2=0.90$.

4.1.2. Análisis de correlación entre dos métodos de evaluación de frutos

La evaluación de los frutos de pimiento con síntomas de infección de *P. capsici* se realizó al terminar el ciclo productivo. Los daños evaluados mediante una correlación lineal. En la

figura 3 se observa el análisis de los frutos, existiendo una correlación positiva alta entre los distintos tipos de evaluaciones realizadas (visual y LeafDoctor), en la correlación se determinó que el factor R o factor de Pearson fue de 0.97.

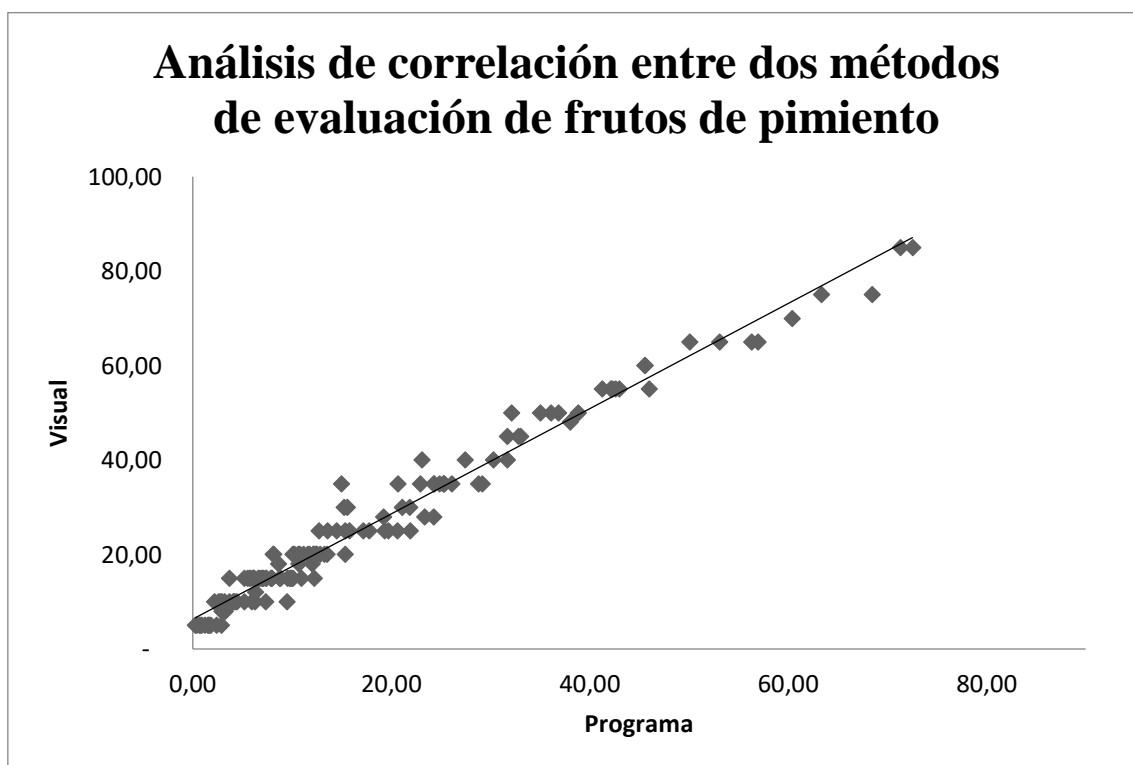


Figura 3: Correlación de la evaluación visual y Leaf Doctor sobre los frutos

Análisis de correlación entre dos métodos de evaluación de frutos del cultivo pimiento (*Capsicum annuum*), utilizando escalas de evaluación de daño visual y el programa Leaf Doctor para la enfermedad *Phytophthora capsici*. $R^2=0.97$

4.1.3. Grado de severidad de *Phytophthora capsici* frente a diferentes dosis de silicio

La evaluación para determinar la severidad de *P. capsici* bajo diferentes dosis de silicio se realizó tras la aplicación de la misma a los 45 días después del trasplante. De acuerdo a los análisis evaluados visualmente y por el programa Leaf Doctor, no existe diferencias estadísticas, en la severidad de la enfermedad en ninguno de los tratamientos como se muestra en la Figura 4.

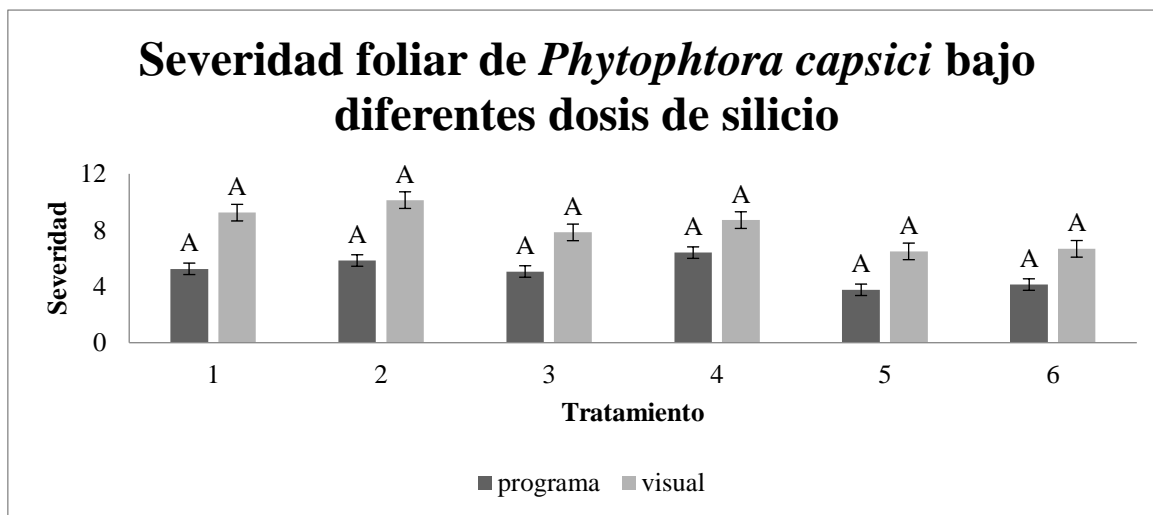


Figura 4: Análisis de la severidad *Phytophthora capsici* a nivel foliar

Aplicación de diferentes dosis de silicio para el control *Phytophthora capsici* a nivel foliar en pimiento (*Capsicum annuum*). Las hojas fueron evaluadas mediante escalas de evaluación visual y un software para procesamiento de imágenes Leaf Doctor. Las barras de error indican \pm ES; diferentes letras indican diferencias significativas en cada tratamiento (Tukey $p < 0.05$).

4.1.4. Severidad de enfermedad en hojas de diferentes alturas

Se determinó en la figura 5; que hubo diferencias estadísticas en hojas de diferente altura de la planta. Las hojas bajas tienen mayor severidad usando ambos métodos de evaluación, en comparación a las altas y medias donde no hubo diferencias significativas en ninguno de los dos métodos.

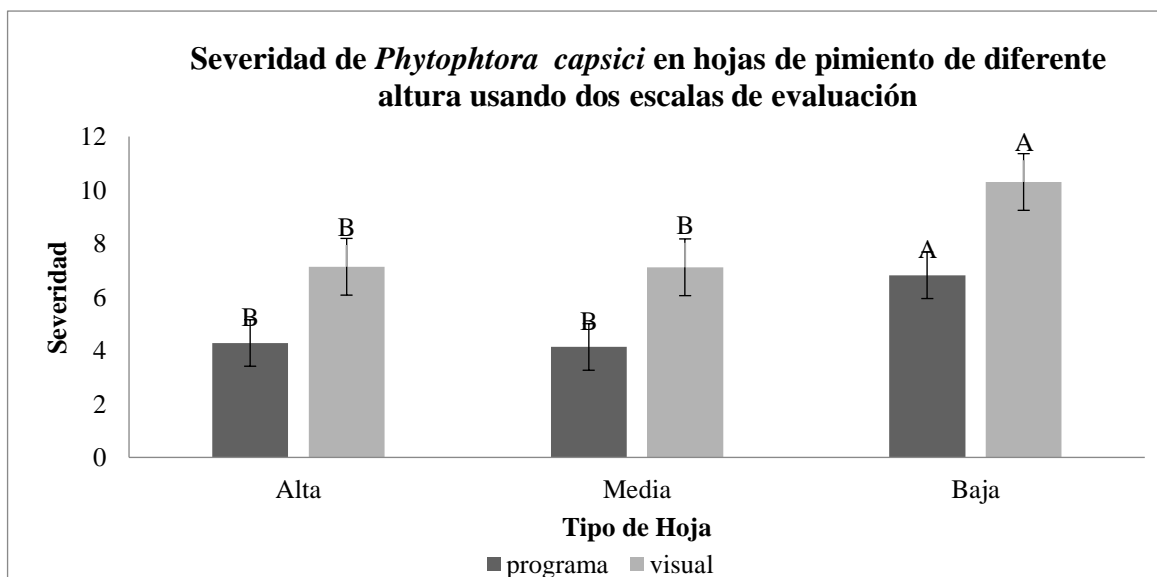


Figura 5: Análisis de la severidad *Phytophthora capsici* a nivel foliar en diferente altura.

Aplicación de diferentes dosis de silicio para el control *Phytophthora capsici* a nivel foliar en diferente altura del pimiento (*Capsicum annuum*). Las hojas fueron evaluadas mediante escalas de evaluación visual y un software para procesamiento de imágenes Leaf Doctor. Las barras de error indican \pm ES; diferentes letras indican diferencias significativas en cada tratamiento (Tukey $p < 0.05$).

4.1.5. Severidad de daño en el fruto de pimiento

Se determinó la severidad de *P. capsici* en el fruto de pimiento cosechando después de las 3 aplicaciones de silicio mediante dosis por tratamiento. El análisis de varianza nos muestra que no hubo diferencias estadísticas en ningún tratamiento siendo evaluado en Forma visual o con el programa Leaf Doctor (Figura 6).

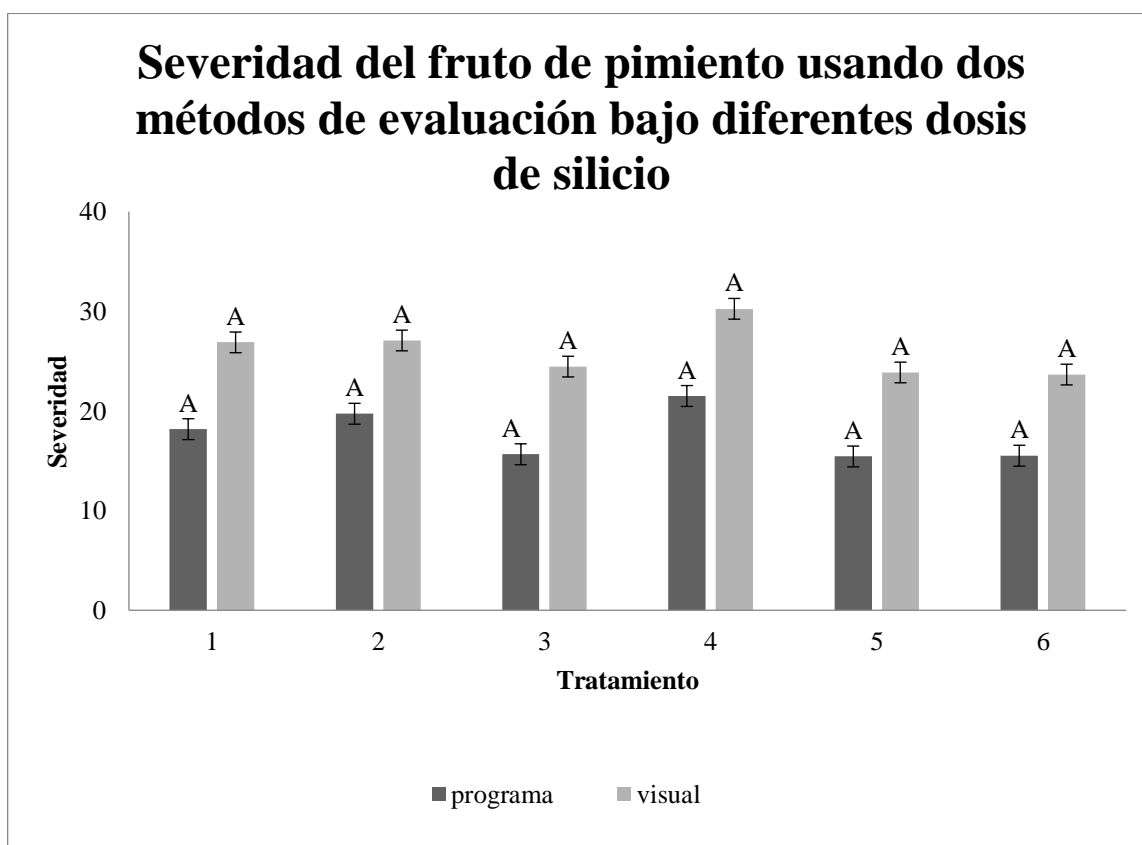


Figura 6: Análisis de la severidad de *Phytophthora capsici* en el fruto

Severidad del fruto de pimiento (*Capsicum annuum*) bajo el ataque de *Phytophthora capsici*. los frutos fueron evaluados mediante escalas de evaluación visual y un software

para procesamiento de imágenes. Las barras de error indican \pm ES; diferentes letras indican diferencias significativas en cada tratamiento (Tukey $p < 0.05$).

4.1.6. Variables agronómicas bajo la aplicación de silicio

Altura de planta: Realizada la prueba de Tukey, la tabla 4 indica que la mayor altura de planta fue 63.92 cm, se alcanzó con la aplicación de silicio 500kg/ha (T5) sin diferir estadísticamente de los demás tratamientos excepto la aplicación de 300kg/ha (T2) que presento el menor valor de mediante el análisis de varianza.

Numero de flores: El mayor número de flores por planta se obtuvo por la aplicación de 600 kg/ha con 3.42 flores en igualdad estadística de los demás tratamientos que alcanzaron promedios entre 2.8 y 3.2 estadísticamente superior a la aplicación de 300kg/ha de silicio en promedio

N° de frutos cosechados: El mayor número de frutos cosechados por planta se obtuvo por la aplicación de 200 kg/ha con 5,00 frutos cosechados en igualdad estadística de los demás Tratamientos que alcanzaron promedios entre 2.35 y 3.80 estadísticamente superior a la aplicación de 200kg/ha de silicio en promedio.

Fruto enfermo: Realizada la prueba de Tukey en la tabla 4 se muestra que en ningún tratamiento hubo diferencias estadísticas en fruto enfermo.

Fruto sano: Realizada la prueba de Tukey, la tabla 4 el mayor tratamiento con número de frutos sanos que alcanzó 2.97 con la aplicación de silicio 600kg/ha (T6) sin diferir estadísticamente de los demás tratamientos excepto la aplicación de 300kg/ha (T4) que presento el menor valor de mediante el análisis de varianza.

Peso de fruto sano: Realizada la prueba de Tukey se muestra en la tabla 4; que en ningún tratamiento hubo diferencias estadísticas en peso de fruto sano.

Peso de fruto enfermo: Realizada la prueba de Tukey muestra en la tabla 4; que en ningún tratamiento hubo diferencias estadísticas en peso de fruto enfermo.

Tabla 4: Variables agronómicas en el cultivo de pimiento para la severidad *Phytophthora capsici* bajo las diferentes dosis de silicio.

Variables/ Descripción	T1 Testigo	T2 Si 100% (400 kg/ha)	T3 Si 50% (200 kg/ha)	T4 Si 75% (300 kg/ha)	T5 Si 125% (500 kg/ha)	T6 Si 150% (600 kg/ha)
Altura de planta	63.74a	57.99b	59.36b	61.20a	63.92a	61.39a
Numero de flores	2.81b	3.25a	2.88b	2.66b	2.91b	3.42a
Número de frutos cosechados	3.80b	2.46b	2.35b	5.00a	2.56b	3.19b
Fruto enfermo	2.10a	2.33a	1.50a	2.20a	1.86a	2.14a
Fruto sano	2.85a	2.51b	2.65b	2.12b	2.52b	2.97a
Peso de fruto sano	182.13a	113.31a	137.06a	160.22a	135.19a	123.31a
Peso de fruto enfermo	56.90a	71.56a	41.50a	57.30a	63.79a	58.00a

4.1.7. Análisis de rentabilidad económica

El análisis económico se muestra en la tabla 5, el mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento 13346.67 se obtuvo con la aplicación del NPK (testigo) a un costo total de 3681,20 que genero un beneficio costo de 6595.73 y una rentabilidad 179.17. el tratamiento Silicio 75% (300 kg/ha) obtuvo un rendimiento 12800.00 a un costo total 4471.20, el tratamiento silicio (400kg/ha) obtuvo el menor rendimiento 10170.00. Los demás tratamientos con las aplicaciones de silicio presentaron beneficios económicos entre beneficio neto 2976.48 a 6595.73 se aplicó 600 kg /ha, mostrando una rentabilidad de 88,98%.

Tabla 5: Análisis de rentabilidad y rendimiento del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) cosechado durante 16 semanas.

El precio del pimiento al momento del ensayo fue de 0.77.

Tratamientos	REND Kg/ha	REND 10%	IB	CTR	CV	CT	BN	R B/C	RENT %
Sin aplicación (Testigo)	16683.33	13346.67	10276.93	180.00	1381.20	3681.20	6595.73	2.79	179.17
Silicio (400 kg/ha)	10170.00	8136.00	6264.72	256.00	988.24	3288.24	2976.48	1.91	90.52
Silicio 50% (200 kg/ha)	10528.70	8422.96	6485.68	128.00	886.07	3186.07	3299.61	2.04	103.56
Silicio 75% (300 kg/ha)	12800.00	10240.00	7884.80	192.00	1113.60	3413.60	4471.20	2.31	130.98
Silicio 125% (500 kg/ha)	10950.00	8760.00	6745.20	320.00	1108.40	3408.40	3336.80	1.98	97.90
Silicio 150% (600 kg/ha)	10568.89	8455.11	6510.44	384.00	1144.96	3444.96	3065.48	1.89	88.98

REND= Rendimiento; IB= Ingreso Bruto; CTR= Costo tratamiento; CV= Costo Variable; CT= Costo Total; BN= Beneficio Neto; R B/C0 Relación Beneficio/Costo; RENT= Rentabilidad.

4.2. Discusión

La presente investigación se basó en la aplicación de silicio en el cultivo de pimiento (*C. annuum*) para el control de *P. capsici*. Se evaluaron distintas variables agronómicas y de rendimiento para determinar el beneficio/costo de los tratamientos evaluados.

Para la evaluación de la severidad de *P. capsici* se utilizaron escalas visuales y el software Leaf Doctor en las hojas y frutos del pimiento. Los datos del programa mostraron menor severidad, aunque con similares resultados estadísticos al ser comparados con las escalas visuales (ver figura 3). Reyes *et al.* (2015) indican que el uso de escalas visuales es poco objetivo y preciso, resultando un problema importante en la evaluación de la severidad de los patógenos como *P. capsici*. Este patógeno es altamente dinámico y destructivo, ataca las raíces, tallos, hojas y frutos de una gran variedad de hortalizas por lo que es necesario evaluar diferentes tipos de órganos de una mejor forma (Lamour *et al.*,2011).

El análisis visual y mediante Leaf Doctor (ver anexo 10, 11 y 12) no presentó diferencias significativas para la evaluación del nivel de daño en las hojas del pimiento en los diferentes tratamientos. Esto probablemente se debió a que el cultivo no se llevó a la etapa final y consecuentemente la presencia de la enfermedad no alcanzó su máxima distribución. French *et al.* (2010) realizaron un estudio en el cual se determinó el potencial del silicio para disminuir los síntomas del desarrollo del tizón en el pimiento, causado por *P. capsici*. Las plantas de pimiento se cultivaron inicialmente en macetas de plástico con sustrato compuesto por una mezcla 1:1 de arena fina estéril y una mezcla de turba modificada con silicio. Posteriormente, las plantas fueron infectadas con *P. capsici* a las seis semanas para evaluar el avance de la enfermedad, se llevó a cabo el experimento hasta la fase avanzada del cultivo del pimiento, donde se determinó que el suministro de silicio a las raíces de los pimientos puede reducir potencialmente la gravedad del tizón por *Phytophthora* al tiempo que mejora el desarrollo de la planta. Los resultados del estudio de French *et al.* (2010) coinciden con los determinados en la presente investigación, donde al aplicar 500 kg/ha de silicio, se evidenció menor presencia de *P. capsici* en el pimiento a nivel foliar y en el fruto, evidenciando que el silicio reduce la presencia de la enfermedad.

Respecto a las variables agronómicas evaluadas en esta investigación se determinó que la

mayoría no existían diferencias estadísticas entre los tratamientos y que incluso algunas variables agronómicas fueron superiores en el tratamiento control sin aplicación de silicio. La única variable agronómica que fue superior en dosis de silicio de 600 kg/ha fue el número de flores. Seo *et al.* (2004) evaluaron las enmiendas de una solución nutritiva recirculante con silicato de potasio como un medio para controlar las infecciones por *P. capsici* en la planta de pimiento (*C. annuum* L.). El tratamiento de plantas inoculadas con silicato de potasio aumentó el peso seco de las raíces y el número de frutos generando frutos de alta calidad. lo que sugiere que actúa como un agente supresor de enfermedades y rendimiento mas no como un estimulante agrícola.

El análisis de relación beneficio – costo, sugiere aumentar la dosis de silicio, ya que los rendimientos aumentaron en la dosis más alta, pero aún no justifican el uso del producto por su elevado costo. En el mercado existen diferentes productos a base de silicio que podrían ser aprovechados de mejor manera o tener un costo menor. En otros cultivos como el maíz, Sánchez (2018) manifiesta que el mayor peso de la mazorca la alcanzó la aplicación de silicio con un promedio de 184 gramos. La aplicación de silicio más urea reportó el mayor diámetro de la mazorca con un promedio de 5.7 cm. Sería interesante realizar ensayos de la interacción de silicio con otros fertilizantes agrícolas con el fin de hacer más eficiente el uso del silicio

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó que la dosis de 500 kg/ha de silicio permite reducir la presencia de *P. capsici* en el cultivo de pimiento a nivel foliar y en los frutos.
- Se estableció que el uso de la aplicación Leaf Doctor y escalas visuales no tuvieron diferencias estadísticas, siendo efectivos ambos métodos para determinar el daño ocasionado por *P. capsici* en hojas y frutos de pimiento.
- A nivel económico se determinó que la aplicación de silicio no es rentable en el cultivo de pimiento, cinco de los seis tratamientos tuvieron rendimientos inferiores al tratamiento testigo (13346,67 kg/ha) y relación beneficio/costo en el testigo (179,17kg/ha) superó a los tratamientos establecidos en la investigación.

5.2. Recomendaciones

- Sembrar en época de verano para que el cultivo de pimiento no se marchite por el exceso de agua ya que es muy delicado.
- Mantener el cultivo en estado óptimo para que no evolucione la enfermedad en floración o en proceso de fructificación.
- Evaluar las raíces del cultivo de pimiento para observar si existe el daño que se está investigando y para evaluar de mejor manera la enfermedad.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía

- Álvarez, C., y Osorio, W. (2014). Silicio agronómicamente esencial (No. DC-0483). Colombia: Multisulfatos SAS. Universidad Nacional de Colombia.
- Álvarez, F., y Pino, M. (2016). Aspectos generales del manejo agronómico del pimiento en Chile. Boletín 360. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Ángeles, J. (2010). Producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum*), bajo condiciones de invernadero en hidroponía. Buenavista, Saltillo, México: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Navarro".
- Berrios, M., Arredondo, C., y Tjalling, H. (2007). Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad Pimiento. México: SQM S.A.
- Buñay, C. (2017). Etapa fenológicas del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*. L) Var. Verde, bajo las condiciones climáticas del cantón General Antonio Elizalde (Bucay) Provincia del Guayas . Ambato, Tungurahua, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Castellanos, L., De Mello, R., y Silva, C. (2015). El Silicio en la resistencia de los cultivos. Cultivos Tropicales, 36(Supl. 1), 16-24.
- Castillo, M. (2011). Evaluación de tres abonos orgánicos (estiércol de bovino, gallinaza y humus) con dos dosis de aplicación en la producción de pimiento (*Capsicum annum* L.) en el recinto San Pablo de Maldonado, Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi. Tesis de grado. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- CIPA. (2021). *precios*. Obtenido de Sisitema de Informacion PublicaAgropecuaria: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/precios-mayoristas>
- Dick, M. (2001). Straminipilous Fungi. Systematics of the Peronosporomycetes Including Accounts of the Marine Straminipilous Protists, the Plasmodiophorids and Similar Organisms. Netherlands: Springer.

- Doñas, U. (2014). Búsqueda de resistencia de *Phytophthora capsici* y *Phytophthora Parasitica*. (Proyecto de investigación de Pregrado). Universidad de Almería, Almería.
- ECHOcommunity. (31 de Septiembre de 2020). ECHOcommunity. Recuperado el 31 de Septiembre de 2020, de <https://www.echocommunity.org/es/resources/8cbb2aad-d606-43ba-87c8-047a7b2d8230>
- Eptein, F. (1999). Silicon. *Plant Molecular*, 1(2), 641- 664.
- Erwin, D., Bartnicki, S., y Tsao, P. (1983). *Phytophthora: Its Biology, Taxonomy, Ecology, and Pathology*. St. Paul, Minnesota, United State: APS PRESS.
- French, M., Rodríguez, F., Korndörfer, G., y Datnoff, L. (2010). Silicon Suppresses *Phytophthora* Blight Development on Bell Pepper. *Journal Phytopathology*, 158, 554–560.
- Huerta, E., Cruz, J., Aguirre, L., Caballero, R., y Pérez, L. (2015). Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada con bioensayo de germinación de lechuga. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 179-185.
- INFOAGRO. (2020). Cultivo de pimiento. Recuperado el 11 de Julio de 2020, de Infoagro: <https://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>
- INTAGRI. (2020). Pimiento. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/silicio-para-la-nutricion-y-proteccion-vegetal>
- Iribarren, M. (2015). Caracterización de *Phytophthora Capsici* como patógeno de especies horticolas presentes en la zona noreste de la provincia de Buenos Aires. (Trabajo de investigación para obtener el grado de Doctor). Universidad Nacional de la Plata, La Plata.
- Lamour, K., Stam, R., Jupe, J., y Huitema, E. (2011). The oomycete broad-host-range pathogen *Phytophthora capsici*. *Molecular Plant Pathology*, 13(4), 329–337. doi:10.1111/j.1364-3703.2011.00754.x
- Lee, J., Seo, S., Wang, T., Jang, H., Pae, D., y Engle, L. (2004). Effect of potassium silicate amendment in nutrient solutions to suppress *Phytophthora* blight (*Phytophthora capsici*) in pepper (*Capsicum annuum*). *Plant Pathology Journal*, 20(4), 277-282.

- Martin, F., Abad, G., Balci, Y., y Ivors, K. (2012). Identification and Detection of *Phytophthora* : Reviewing Our Progress, Identifying Our Needs. *Plant Disease*, 96(8), 1080-1103. doi:10.1094/PDIS-12-11-1036-FE
- Onofre, S. (2019). El Silicio (Si) como mineral multifuncional en la agricultura. (Tesis de pregrado). Universidad Tecnica de Babahoyo, Babahoyo.
- Pinzón, E., Quintana, W., y Cely, G. (2017). Effect of magnesium silicate in cv. 'ICA Cerinza' common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under field conditions. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 70(3), 8285-8293.
- Quero, E. (Octubre de 2009). Nutrición con silicio y sus aplicaciones a cultivos a cielo abierto y en agricultura protegida: Un pequeño recorrido por la naturaleza. Simposio Internacional de Nutrición Vegetal. Guadalajara,, México.
- Quiroga, A. (2016). Respuesta a las aplicaciones de silicio en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L) Variedad MODAN, en condiciones de estrés hídrico bajo cubierta en Culiacán, Sinaloa. Bogotá, Colombia: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Reyes, A., Rincón, G., Fernández, S., Luis, L., y Evangelina, Q. (2015). Desarrollo de una escala de severidad de la marchitez causada por *Phytophthora capsici* L. en plantas de chile poblano. 5to Congreso Internacional de Biología, Química y Agronomía. México.
- Rosas, E. (2015). Enfermedades. (Catedra Conjunto Tecnológico para la Producción de Pimiento). Estacion experimental agricola, Puerto Rico.
- Sánchez, D. (2018). Efecto de la aplicación de silicio y fertilización sobre el comportamiento agronómico del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Seo, S., Jang, H., Pae, D., y Lee , J. (2004). Effect of Potassium Silicate Amendments in Hydroponic Nutrient Solution on the Suppressing of Phytophthora Blight (*Phytophthora capsici*) in Pepper. *The Plant Pathology Journal*, 20(4), 277–282. doi:https://doi.org/10.5423/PPJ.2004.20.4.277

SEPHU. (14 de Mayo de 2009). El Silicio (Si) como elemento fertilizante y protector de enfermedades y plagas. Boletín N° 28. Zaragoza, España: Sociedad Española de Productos Húmicos S.A.

CAPÍTULO VII
ANEXOS

7.1. Anexos

Anexo 1: Fumigación al cultivo *Capsicum annuum* para los insectos.



Anexo 2: Peso en gramos por tratamiento del cultivo *Capsicum annuum*.



Anexo 3: Riego al cultivo de *Capsicum annuum* por tratamiento.



Anexo 4: Amarrado por planta al cultivo *Capsicum annuum*.



Anexo 5: Medición de la altura de cada tratamiento del cultivo *Capsicum annuum*.



Anexo 6: Conteo de frutos y flores por tratamiento del cultivo *Capsicum annuum*.



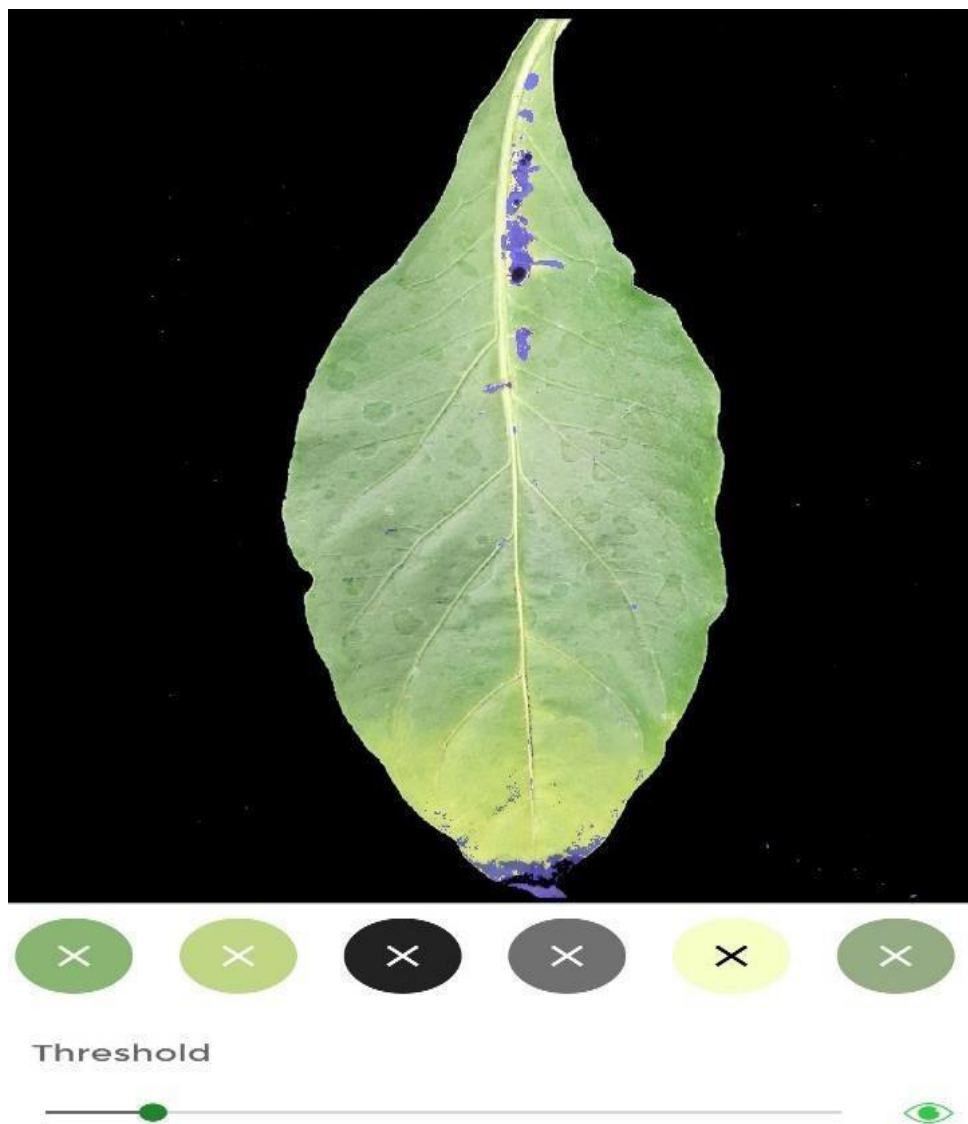
Anexo 7: Precio del *Capsicum annum* en la zona de Los Ríos.

Pimiento							
Registro de los precios obtenidos en los últimos 10 días, si desea puede cambiar dicho rango y luego debe presionar el botón que dice BUSCAR.				Desde: 28/06/2021		Buscar	
				Hasta: 08/07/2021			
Mercado	Precio Mínimo	Precio Promedio	Precio Máximo	Penúltimo Precio	Último Precio	Tendencia	% Variación
Ambato EP-EMA	0.42	0.46	0.50	0.42 05/07/2021	0.50 07/07/2021	SUBIÓ	16.00
Babahoyo - 4 de Mayo	0.77	1.02	1.32	1.14 01/07/2021	0.77 08/07/2021	BAJÓ	-48.05
Cuenca - El Arenal	0.58	0.58	0.58	0.58 03/07/2021	0.58 07/07/2021	SE MANTIENE	0.00
Guaranda - 24 de Mayo	0.99	1.05	1.10	0.99 01/07/2021	1.10 08/07/2021	SUBIÓ	10.00
Guayaquil - TTV	0.71	0.73	0.77	0.71 06/07/2021	0.71 08/07/2021	SE MANTIENE	0.00
Iberra - COMERCIBARRA	0.30	0.41	0.48	0.42 05/07/2021	0.48 08/07/2021	SUBIÓ	12.50
La Libertad - ASOPROCOMPRA	0.68	0.75	0.82	0.82 01/07/2021	0.68 08/07/2021	BAJÓ	-20.59
Machala - Mercado Mayorista	0.79	0.79	0.79		0.79 01/07/2021		
Manta - El Madrugador	1.32	1.32	1.32	1.32 02/07/2021	1.32 06/07/2021	SE MANTIENE	0.00
Milagro - Mercado de Transferencia	0.49	0.49	0.49		0.49 02/07/2021		
Portoviejo	1.10	1.17	1.32	1.10 02/07/2021	1.10 05/07/2021	SE MANTIENE	0.00
Quito MMQ-EP	0.52	0.56	0.63	0.54 03/07/2021	0.63 06/07/2021	SUBIÓ	14.29
Riobamba - EP-	0.67	0.75	0.80	0.67	0.80	SUBIÓ	16.25

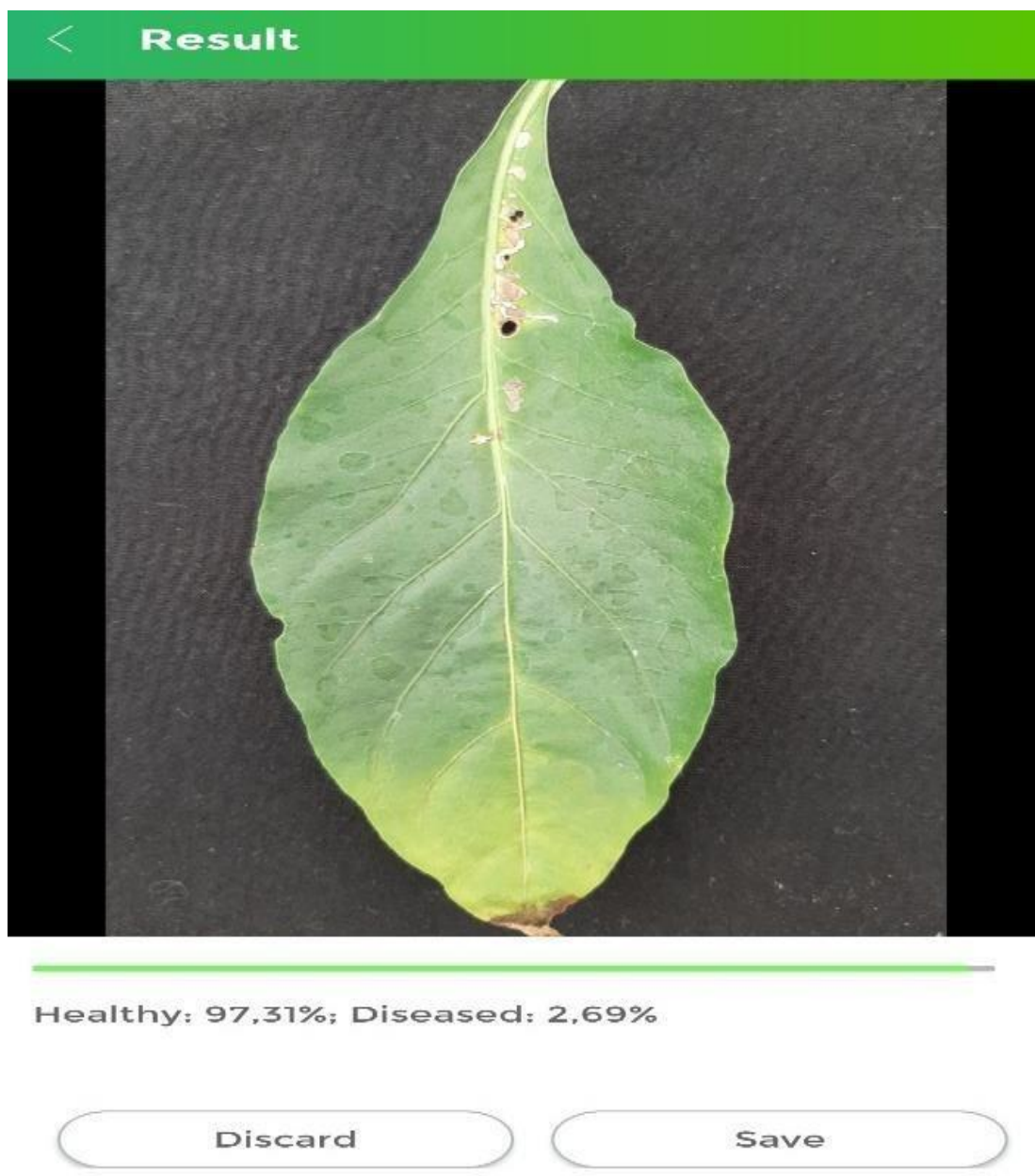
Anexo 8: Muestra de la enfermedad *Phytophthora capsici* en el cultivo de *Capsicum annum*.



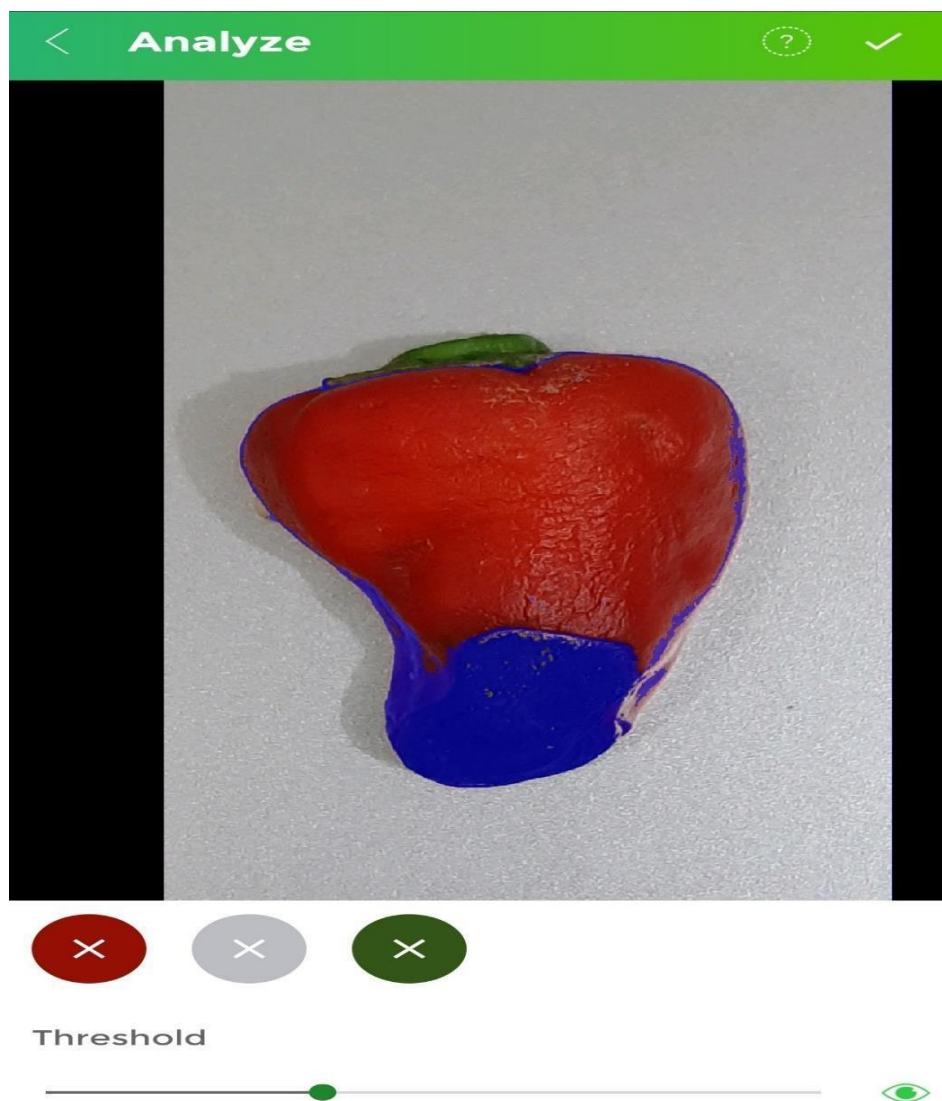
Anexo 9: Foto tomada con el programa LeafDoctor marcando la enfermedad *Phytophthora capsici* en la hoja.



Anexo 10: Foto tomada con el programa LeafDoctor marcando el porcentaje de la enfermedad *Phytophthora capsici* en la hoja.



Anexo 11: Foto tomada con el programa LeafDoctor marcando la enfermedad *Phytophthora capsici* en el fruto.



Anexo 12: Foto tomada con el programa LeafDoctor marcando el porcentaje de la enfermedad *Phytophthora capsici* en el fruto.

