



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TEMA:**

**“EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE SILICIO EN EL CONTROL DE  
*Bactericera cockerelli* (Sulc) EN EL CULTIVO DE PIMIENTO (*Capsicum annum* L.)  
EN SAN VICENTE DE PUSIR, CARCHI”**

**Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario**

**AUTOR:**

Jimmy Javier Calderon Revelo

**DIRECTORA:**

Ing. Julia Karina Prado Beltrán PhD.

**Ibarra, 2022**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**“EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE SILICIO EN EL CONTROL DE  
*Bactericera cockerelli* (Sulc) EN EL CULTIVO DE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.)  
EN SAN VICENTE DE PUSIR, CARCHI”**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su  
presentación como requisito parcial para obtener Título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

APROBADO:

Ing. Julia Karina Prado Beltrán PhD.

**DIRECTOR**

FIRMA

Ing. Lucía Vásquez PhD.

**MIEMBRO TRIBUNAL**

FIRMA

Ing. Magali Cañarejo, PhD.

**MIEMBRO TRIBUNAL**

FIRMA

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO           |  |                        |            |
|-----------------------------|--|------------------------|------------|
| <b>Cédula de identidad:</b> | 10040330131  |                        |            |
| <b>Apellidos y nombres:</b> | Calderon Revelo Jimmy Javier                                       |                        |            |
| <b>Dirección:</b>           | Ibarra-Caranqui-Avenida Eugenio Espejo                             |                        |            |
| <b>Email:</b>               | <a href="mailto:jjcalderonr@utn.edu.ec">jjcalderonr@utn.edu.ec</a> |                        |            |
| <b>Teléfono fijo:</b>       | 2511-359   | <b>Teléfono móvil:</b> | 0981496426 |

| DATOS DE LA OBRA                   |   |
|------------------------------------|---|
| <b>Título:</b>                     | “EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE SILICIO EN EL CONTROL DE <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc) EN EL CULTIVO DE PIMIENTO ( <i>Capsicum annuum</i> L.) EN SAN VICENTE DE PUSIR, CARCHI” |
| <b>Autor:</b>                      | Jimmy Javier Calderon Revelo  |
| <b>Fecha:</b>                      | 24 de mayo del 2022   |
| <b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b> |   |
| <b>Programa</b>                    | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO  |
| <b>Título por el que opta</b>      | Ingeniero Agropecuario  |
| <b>Director</b>                    | Ing. Julia Karina Prado Beltrán PhD.  |

## 2.CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin los derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes de mayo del 2022.

AUTOR



Jimmy Javier Calderon Revelo

C.I.: 100403301-3

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Jimmy Javier Calderon Revelo con cédula de ciudadanía N° 100403301-3, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 24 días del mes de mayo del 2022.



---

Ing. Julia Karina Prado Beltrán PhD.

DIRECTORA DE TESIS

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía: FICAYA-UTN**

**Fecha:** Ibarra, a los 24 días del mes de mayo del 2022.

Jimmy Javier Calderon Revelo: **“EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE SILICIO EN EL CONTROL DE *Bactericera cockerelli* (Sulc) EN EL CULTIVO DE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.) EN SAN VICENTE DE PUSIR, CARCHI”** /Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 24 días del mes de mayo del 2022.

**Directora: Ing. Julia Karina Prado Beltrán PhD.:**

- El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar la aplicación de silicio en el control de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en San Vicente de Pusir, Carchi.
- Entre los objetivos específicos se encuentran: Determinar la dinámica poblacional de *B. cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento. Establecer el efecto del silicio en la incidencia del daño de *B. cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento. Comparar la productividad del cultivo de pimiento bajo los tratamientos de diatomitas silíceas.

Ing. Julia Karina Prado Beltrán PhD.

**Directora de Trabajo de Grado**

Jimmy Javier Calderon Revelo

**Autor**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar mi camino, a mis padres y a mi familia por brindarme: el apoyo necesario en el transcurso de mi carrera, la confianza y la motivación para siempre salir adelante luchando por mis sueños y culminar un logro más en mi vida.

A la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte, especialmente a la carrera Ingeniería Agropecuaria quienes, durante mi estancia, aportaron con conocimientos tanto en la formación profesional y en el desarrollo personal de la cual me llevo gratos recuerdos de mis docentes y compañeros.

Mi eterna gratitud y mi más sincero agradecimiento **Ing. Julia Prado PhD.** por compartir su amplio conocimiento, guiarme y brindarme la oportunidad de adquirir nuevas experiencias. De igual manera quiero agradecer a la **Ing. Lucía Vásquez PhD. e Ing. Magali Cañarejo PhD. y Ing. Franklin Sánchez MSc.** por brindarme su apoyo, guíarme con su conocimiento para que esta investigación se desarrolle con éxito.

Mi agradecimiento a la Empresa Agrotecnología la Colina y al Ing. Gonzalo Benavides técnico de campo quien direccionó esta investigación, brindándome su apoyo durante el transcurso de la fase de campo.

## ÍNDICE DE GENERAL

|  |     |
|--|-----|
| ÍNDICE DE GENERAL .....  | ii  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....   | iii |
| ÍNDICE DE TABLAS.....  | iv  |
| ÍNDICE DE ANEXOS.....  | v   |
| RESUMEN .....  | xiv |
| ABSTRACT.....  | xv  |
| CAPÍTULO I .....   | 1   |
| INTRODUCCIÓN .....   | 1   |
| 1.1 Antecedentes .....   | 1   |
| 1.2 Problema de investigación .....                                | 2   |
| 1.3 Justificación .....  | 3   |
| 1.4 Objetivos .....  | 4   |
| 1.4.1 Objetivo general.....  | 4   |
| 1.4.2 Objetivos específicos .....                                  | 4   |
| 1.5 Hipótesis .....  | 4   |
| 1.5.1 Hipótesis nula: .....  | 4   |
| 1.5.2 Hipótesis alterna: .....                                     | 4   |
| CAPÍTULO II.....   | 5   |
| MARCO TEÓRICO.....   | 5   |
| 2.1 Generalidades del cultivo de pimiento.....                     | 5   |
| 2.1.1 Origen del pimiento .....                                    | 5   |
| 2.1.2 Clasificación taxonómica del pimiento.....                   | 6   |
| 2.1.3 Descripción morfológica.....                                 | 6   |
| 2.1.4 Etapas fenológicas del cultivo .....                         | 8   |
| 2.1.5 Requerimientos del cultivo .....                             | 9   |
| 2.2 Generalidades del insecto plaga.....                           | 10  |
| 2.2.1 Taxonomía de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc) .....      | 10  |
| 2.2.2 Origen y distribución del insecto .....                      | 11  |
| 2.2.3 Ciclo biológico de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc)..... | 11  |
| 2.3 Hospederos.....  | 14  |
| 2.4 Síntomas ocasionados por <i>B. cockerelli</i> (Sulc).....      | 14  |
| 2.4.1 Daños ocasionados por <i>B. cockerelli</i> (Sulc). .....     | 15  |

|  |    |
|--|----|
| 2.5 Sistemas de monitoreo .....  | 15 |
| 2.6 Manejo integrado de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc) .....                         | 16 |
| 2.6.1 Control químico .....  | 16 |
| 2.6.2 Control cultural .....   | 16 |
| 2.6.3 Control con extractos vegetales .....  | 16 |
| 2.6.4 Control biológico .....  | 17 |
| 2.7 Silicio .....  | 17 |
| 2.8 Aplicación con silicio soluble ácido silícico (H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> ) ..... | 18 |
| 2.8.1 Mecanismo de acción .....  | 19 |
| 2.8.2 Disponibilidad, toma y traslocación del silicio (Si) .....                           | 19 |
| 2.8.3 Implicaciones del silicio en la fisiología de las plantas .....                      | 19 |
| 2.8.4 Beneficios del Silicio (Si) en las plantas .....                                     | 20 |
| 2.9 MARCO LEGAL .....  | 21 |
| CAPÍTULO III .....   | 22 |
| 3. MARCO METODOLÓGICO .....  | 22 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....  | 22 |
| 3.2 MATERIALES Y MÉTODOS .....   | 23 |
| 3.3 MÉTODOS .....  | 23 |
| 3.3.1 Factores en estudio .....  | 24 |
| 3.3.2 Diseño experimental .....  | 24 |
| 3.3.4. Características del experimento .....   | 24 |
| 3.3.3 Análisis estadístico .....   | 26 |
| 3.3.4 Variables evaluadas .....  | 26 |
| 3.3.4.1 Número de oviposturas .....  | 26 |
| 3.3.4.2 Número de ninfas .....   | 27 |
| 3.3.4.3 Número de adultos .....  | 27 |
| 3.3.4.4 Porcentaje de Incidencia .....   | 28 |
| 3.3.4.5 Severidad de <i>B. cockerelli</i> (Sulc) .....                                     | 28 |
| 3.3.4.6 Días a la floración .....  | 29 |
| 3.3.4.7 Número de frutos por planta .....  | 29 |
| 3.3.4.8 Longitud de fruto .....  | 30 |
| 3.3.4.9 Rendimiento total .....  | 30 |
| 3.4 MANEJO DEL EXPERIMENTO .....   | 31 |

|   |    |
|---|----|
| 3.4.1 Análisis de suelos.....   | 31 |
| 3.4.2 Preparación del suelo.....  | 32 |
| 3.4.3 Toma de muestra foliar.....   | 33 |
| 3.4.4 Prueba de fitotoxicidad.....  | 33 |
| 3.4.5 Implementación de niveles de silicio.....                           | 34 |
| 3.4.6 Sistemas de monitoreo.....  | 34 |
| 3.4.7 Labores culturales.....   | 35 |
| 3.4.8 Controles fitosanitarios.....                                       | 35 |
| 3.4.9 Riego.....  | 36 |
| CAPÍTULO IV.....  | 37 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 37 |
| 4.1 Número de huevos de <i>B. cockerelli</i> (Sulc).....                  | 37 |
| 4.2 Número de ninfas.....   | 40 |
| 4.3 Número de adultos por trampa.....                                     | 43 |
| 4.4 Porcentaje de incidencia de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc)..... | 46 |
| 4.5 Porcentaje de severidad de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc).....  | 48 |
| 4.6 Número de días a la Floración en el cultivo de pimiento.....          | 50 |
| 4.7 Número de frutos por planta.....                                      | 51 |
| 4.8 Longitud del fruto.....   | 53 |
| 4.9 Rendimiento total en promedio.....                                    | 54 |
| 4.10 Beneficio/Costo.....   | 56 |
| CAPÍTULO V.....   | 59 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                                    | 59 |
| 5.1 CONCLUSIONES.....   | 59 |
| 5.2 RECOMENDACIONES.....  | 60 |
| CAPÍTULO VI.....  | 61 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 61 |
| CAPÍTULO VII.....   | 71 |
| 7. ANEXOS.....  | 71 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> <i>Ciclo biológico de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc)</i> .....                        | 12 |
| <b>Figura 2</b> <i>Ubicación geográfica de la parroquia San Vicente de Pusir</i> .....                      | 22 |
| <b>Figura 3</b> <i>Esquema del diseño experimental utilizado en la investigación</i> .....                  | 24 |
| <b>Figura 4</b> <i>Diseño de la unidad experimental</i> .....   | 25 |
| <b>Figura 5</b> <i>Conteo de número de huevos de <i>B. cockerelli</i> (Sulc) en el envés de la hoja</i> ... | 26 |
| <b>Figura 6</b> <i>Forma de S muestreo de oviposturas en el lote</i> .....                                  | 27 |
| <b>Figura 7</b> <i>Instar de desarrollo de ninfas de <i>B. cockerelli</i> (Sulc)</i> .....                  | 27 |
| <b>Figura 8</b> <i>Conteo del número de adultos en las trampas</i> .....                                    | 28 |
| <b>Figura 9</b> <i>Número de folíolos afectados por <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc)</i> .....          | 28 |
| <b>Figura 10</b> <i>Síntomas de psílido <i>B. cockerelli</i> (Sulc) en las hojas</i> .....                  | 29 |
| <b>Figura 11</b> <i>Número de flores abiertas</i> .....   | 29 |
| <b>Figura 12</b> <i>Número de frutos por planta</i> .....   | 30 |
| <b>Figura 13</b> <i>Longitud de fruto</i> .....   | 30 |
| <b>Figura 14</b> <i>Rendimiento de la cosecha</i> .....   | 31 |
| <b>Figura 15</b> <i>Toma de la muestra de suelo</i> .....   | 32 |
| <b>Figura 16</b> <i>Preparación de suelo para la siembra del pimiento</i> .....                             | 32 |
| <b>Figura 17</b> <i>Toma de muestra foliar para análisis en Agarproject</i> .....                           | 33 |
| <b>Figura 18</b> <i>Dosis de óxido de silicio a una concentración del 98% (<math>SiO_2</math>)</i> .....    | 34 |
| <b>Figura 19</b> <i>Monitoreo de insectos adultos</i> .....   | 34 |
| <b>Figura 20</b> <i>Control manual de malezas</i> .....   | 35 |
| <b>Figura 21</b> <i>Aplicación foliar de silicio con bomba</i> .....  | 35 |
| <b>Figura 22</b> <i>Riego por inundación</i> .....  | 36 |
| <b>Figura 23</b> <i>Promedio de número de huevos de <i>B. cockerelli</i> (Sulc)</i> .....                   | 38 |
| <b>Figura 24</b> <i>Promedio del número de ninfas de <i>B. cockerelli</i> (Sulc)</i> .....                  | 41 |
| <b>Figura 25</b> <i>Promedio del número de adultos de <i>B. cockerelli</i> (Sulc)</i> .....                 | 44 |
| <b>Figura 26</b> <i>Porcentaje de incidencia de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc)</i> .....              | 47 |
| <b>Figura 27</b> <i>Porcentaje promedio de severidad de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc)</i> .....      | 50 |
| <b>Figura 28</b> <i>Promedio de número de frutos por planta</i> .....                                       | 52 |
| <b>Figura 29</b> <i>Interacción de la longitud del fruto bajo la aplicación de silicio</i> .....            | 54 |
| <b>Figura 30</b> <i>Rendimiento en T/ha con respecto a días después de la siembra</i> .....                 | 55 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Clasificación taxonómica del pimiento</i> .....                                   | 6  |
| <b>Tabla 2</b> <i>Temperaturas críticas en el ciclo del pimiento</i> .....                          | 9  |
| <b>Tabla 3</b> <i>Requerimientos nutricionales promedio para el cultivo de pimiento</i> .....       | 10 |
| <b>Tabla 4</b> <i>Propiedades físico-químicas del silicio</i> .....                                 | 17 |
| <b>Tabla 5</b> <i>Propiedades de carga mineral del Silicio</i> .....                                | 18 |
| <b>Tabla 6</b> <i>Características del área de estudio</i> .....                                     | 23 |
| <b>Tabla 7</b> <i>Materiales equipos, insumos y herramientas</i> .....                              | 23 |
| <b>Tabla 8</b> <i>Niveles de aplicación foliar de silicio</i> .....                                 | 24 |
| <b>Tabla 9</b> <i>Características de la unidad experimental</i> .....                               | 25 |
| <b>Tabla 10</b> <i>Análisis de varianza para el conteo del número de huevos</i> .....               | 37 |
| <b>Tabla 11</b> <i>Análisis de varianza para la variable número de ninfas</i> .....                 | 40 |
| <b>Tabla 12</b> <i>Análisis de varianza para la variable número de adultos</i> .....                | 43 |
| <b>Tabla 13</b> <i>Análisis de varianza Porcentaje de incidencia de B. cockerelli</i> .....         | 46 |
| <b>Tabla 14</b> <i>Análisis de varianza porcentaje de severidad de Bactericera cockerelli</i> ..... | 48 |
| <b>Tabla 15</b> <i>Número de días a la Floración del pimiento o</i> .....                           | 50 |
| <b>Tabla 16</b> <i>Análisis de varianza para la variable número de frutos por planta</i> .....      | 51 |
| <b>Tabla 17</b> <i>Análisis de varianza para la longitud de fruto</i> .....                         | 53 |
| <b>Tabla 18</b> <i>Análisis de varianza para la variable rendimiento (t/ha)</i> .....               | 54 |
| <b>Tabla 19</b> <i>Costos de producción por ha</i> .....  | 56 |
| <b>Tabla 20</b> <i>Costo de variables</i> .....   | 57 |
| <b>Tabla 21</b> <i>Análisis económico de cada tratamiento</i> .....                                 | 58 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| <b>Anexo 1</b> <i>Elección del terreno</i> .....  | 71 |
| <b>Anexo 2</b> <i>Muestreo del suelo</i> .....  | 71 |
| <b>Anexo 3</b> <i>Preparación del suelo</i> .....   | 72 |
| <b>Anexo 4</b> <i>Delimitación de las parcelas</i> .....  | 72 |
| <b>Anexo 5</b> <i>Aplicación de enmiendas</i> .....   | 73 |
| <b>Anexo 6</b> <i>Surcada con tracción animal</i> .....   | 73 |
| <b>Anexo 7</b> <i>Siembra de plántulas de pimiento</i> .....  | 74 |
| <b>Anexo 8</b> <i>Fertilización química</i> .....   | 74 |
| <b>Anexo 9</b> <i>Resultados de análisis de suelo</i> .....   | 75 |
| <b>Anexo 10</b> <i>Análisis foliar</i> .....  | 76 |
| <b>Anexo 11</b> <i>Plantilla de datos del monitoreo de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc)</i> ..... | 76 |
| <b>Anexo 12</b> <i>Datos del monitoreo de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc)</i> .....              | 78 |
| <b>Anexo 13</b> <i>Riego</i> .....  | 79 |
| <b>Anexo 14</b> <i>Colocación de trampas amarillas</i> .....  | 79 |
| <b>Anexo 15</b> <i>Aplicación de silicio</i> .....  | 80 |
| <b>Anexo 16</b> <i>Conteo de <i>B. cockerelli</i></i> .....   | 80 |
| <b>Anexo 17</b> <i>Instares de <i>B. cockerelli</i></i> .....   | 81 |
| <b>Anexo 18</b> <i>Cosecha</i> .....  | 81 |

# **EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE SILICIO EN EL CONTROL DE *Bactericera cockerelli* (Sulc) EN EL CULTIVO DE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.) EN SAN VICENTE DE PUSIR, CARCHI.**

Autor: Jimmy Javier Calderón Revelo

Universidad Técnica del Norte

Correo: jjcalderonr@utn.edu.ec

## **RESUMEN**

En la actualidad el cultivo de pimiento es manejado como monocultivo, una de las plagas transmisoras de enfermedades en la familia de las Solanáceas, *Bactericera cockerelli* (Sulc) causa más del 45% de pérdidas en la producción. Por tal motivo, una alternativa de mitigación y control es el uso de silicio (SiO<sub>2</sub>) al 98% como componente de un manejo integrado de plagas. La investigación se enfocó en evaluar el efecto de la aplicación foliar de silicio sobre el control de *B. cockerelli* (Sulc) en pimiento variedad Nathalie en San Vicente de Pusir, Carchi. Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar, con 4 dosis (0, 2.5, 5 y 10 g/L) y 3 bloques. El muestreo se realizó en 20 plantas al azar en forma de S cada 15 días, donde se contabilizó huevos, ninfas cuarto y quinto instar, adultos y el porcentaje de incidencia y severidad. Además, se evaluó los días a la floración, frutos por planta, longitud de fruto y rendimiento. Los resultados señalan que el tratamiento de 10 g/L mostró una reducción considerable de ninfas en un 50%, en adultos 79%, la incidencia se redujo un 37% y la severidad a 53%, igualmente incrementó la longitud de fruto a 13.7 cm y el rendimiento a 43%. Esta investigación sugiere que el silicio genera resistencia al ataque de insectos y mejora el sistema inmune en la planta.

**Palabras claves:** vector, oviposturas, Paratrioza, óxido de silicio, psílido

**EVALUATION OF THE APPLICATION OF SILICON IN THE CONTROL OF *Bactericera cockerelli* (Sulc) IN THE CROP OF PEPPER (*Capsicum annuum* L.) IN SAN VICENTE DE PUSIR, CARCHI.**

Author: Jimmy Javier Calderón Revelo

Universidad Técnica del Norte

Email: jjcalderonr@utn.edu.ec

**ABSTRACT**

Currently, pepper cultivation is managed as a monoculture, one of the disease-transmitting pests in the Solanaceae family, *Bactericera cockerelli* (Sulc), causes more than 45% of production losses. For this reason, a mitigation and control alternative is the use of 98% silicon (SiO<sub>2</sub>) as a component of integrated pest management. The research focused on evaluating the effect of the foliar application of silicon in the control of *B. cockerelli* (Sulc) in the Nathalie variety pepper in San Vicente de Pusir, Carchi, a Randomized Complete Block Design was used, with 4 doses (0, 2.5, 5 and 10 g/l) and 3 blocks. Sampling was carried out on 20 random S-shaped plants every 15 days, where eggs, fourth and fifth instar nymphs, adults and the percentage of incidence and severity were counted, in addition, the days to flowering, fruits per plant, fruit length and yield. The results indicate that the 10 g/l treatment showed a considerable reduction of nymphs by 50%, in adults 79%, the incidence was reduced by 37% and the severity by 53%, it also increased the length of the fruit by 13.7 cm. and the yield at 43%. This research suggests that silicon generates resistance to insect attack and improves the immune system in the plant.

**Keywords:** vector, ovilays, Paratrioza, silicon oxide, psyllid

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El pimiento (*Capsicum annuum* L.), pertenece a la familia de las solanáceas, es originario de México, Bolivia y Perú (Navarrete, 2019). En el Ecuador, el área de pimiento cultivado alcanza una superficie total de 2232 hectáreas (Instituto Nacional Ecuatoriano de Estadísticas y Censos, INEC, 2021), encontrándose distribuidas en los valles interandinos y en el litoral ecuatoriano gracias a sus condiciones climáticas favorables para su desarrollo, entre las principales provincias productoras están: Chimborazo, Imbabura, Carchi, Loja y Santa Elena. Este producto hortícola posee un alto valor nutricional en cuanto a vitamina A y C, también forma parte de la dieta diaria por lo que existe gran demanda por parte de los consumidores e incorporando en su dieta alimenticia (Sanchez, 2021).

La provincia del Carchi es una zona que posee excelentes condiciones meteorológicas y edafoclimáticas óptimas para el desarrollo del cultivo de pimiento teniendo así una superficie cultivada en promedio de 640 hectáreas (INEC, 2021), tanto en invernadero como en campo abierto, de tal manera este cultivo genera un rubro económico importante para los pequeños y medianos productores de esta zona.

El cultivo de pimiento a nivel nacional y mundial es un rubro económicamente rentable, por tal motivo los agricultores han modificado su sistema de manejo de producción de menor escala a un monocultivo de mayor escala. Sin embargo, el sistema de monocultivo permite la presencia de la plaga como *Bactericera cockerelli* (Sulc), la cual genera resistencia a los insecticidas químicos que han sido aplicados para su control (Hidalgo, 2015; Espín, 2020).

Para el monitoreo de los huevos y ninfas se recomienda un muestreo quincenal directamente en el haz y el envés de las hojas con ayuda de una lupa, mientras que el uso de trampas de color amarillo permite revisar minuciosamente la presencia de la población adulta de la plaga en los tercios alto, medio y bajo de la planta y se ubican en el centro y en los bordes del lote (Cuesta et al., 2018).

El monitoreo es una estrategia para el manejo integrado de plagas (MIP) que permite revisar periódicamente el cultivo para determinar la dinámica poblacional, los estadios que causan mayor daño, la posible acción benéfica de sus enemigos naturales y el umbral económico que causan tanto las plagas como las enfermedades, por lo tanto el manejo preventivo del insecto es crucial en el desarrollo y la reproducción el cual nos permite minimizar los daños del insecto en el campo (Sumner et al., 2020)

El silicio es un mineral que sirve como alternativa en control de plagas, se ha informado que este elemento aumenta el sistema inmune de la planta, refuerza el tejido epidérmico formando una doble capa cuticular protectora de las células epidérmicas de las hojas (Matichenkov y Calvert., 2002). De la misma manera el efecto bioestimulante del silicio tiene como acción mejorar el balance y disponibilidad de nutrientes ya que la planta bien nutrida disminuye el ataque de plagas de tal forma que reduce la aplicación de agroquímicos y se tiene una planta más sana. Por otro lado se conseguirán mejores rendimientos, aumenta la eficiencia de los fertilizantes (especialmente fosfatados), incrementa la resistencia a factores ambientales bióticos y abióticos (Alhousari y Greger, 2018).

Algunos estudios han informado la eficacia del uso del silicio en el control de insectos, por ejemplo, Peña (2018) demostró que la aplicación del silicio a una dosis de 80 g L<sup>-1</sup> en plantas de brócoli redujo a 0 pulgones por planta, mientras que el testigo evidenció de 10 a 15 pulgones por planta. En otro estudio reportado por Espinoza (2018) se observó la eficiencia del uso del silicio en el control de plantas anormales en fase de vivero, la cual demostró que la aplicación del silicio a una dosis de 20 y 30 g L<sup>-1</sup> en plantas de palma aceitera se redujo en un 20% de plantas anormales en fase de vivero mientras que el testigo presentó el 90% de plantas anormales en fase de vivero en todas las evaluaciones realizadas en campo.

## **1.2 Problema de investigación**

El psílido *Bactericera cockerelli* (Sulc) ataca principalmente a la familia de las Solanáceas tales como: la papa (*Solanum tuberosum* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), y pimiento (*Capsicum annum* L.) (Crespo et al., 2012). Wallis (1995) citado en Castillo et al., (2019) menciona que el insecto plaga causa daños directos como la clorosis en la planta que son transmitidos por las ninfas, las cuales inyectan una toxina. Por otro lado, los daños indirectos

son producidos por fitoplasmas y bacterias que son transmitidas tanto por ninfas y adultos (Xian y Tong, 2009; Buchman et al., 2011; Swisher et al., 2014; Castillo, 2016; Wenninger et al., 2017; Villegas et al., 2017; Castillo et al., 2019).

En el Ecuador la plaga *Bactericera cockerelli* (Sulc) causa grandes pérdidas en el cultivo de pimiento obligando a los agricultores a tomar medidas extremas realizando de 12 a 20 aplicaciones de insecticidas en altas dosis, los principales grupos químicos más utilizados son: profenofos, carbosulfan y methomyl durante el ciclo del cultivo, de la misma manera los agricultores desconocen el umbral económico de la plaga y la rotación de insecticidas por ingrediente activo la cual genera resistencia de la plaga y un incremento en los costos de producción. (Centro Internacional de la Papa, CIP, 2002), por tal motivo los productores se basan en su experiencia, sin un fundamento técnico intentan mantener la densidad poblacional de *B. cockerelli* (Aguayza, 2020), genera la contaminación al medio ambiente (agua, suelo y aire ) e incrementa los problemas de salud en los trabajadores por sus continuas aplicaciones de insecticidas (CIP, 2002; Rivera et al., 2018).

### **1.3 Justificación**

En la actualidad el insecto plaga *B. cockerelli* (Sulc) reduce el 45% de la producción de pimiento por tal motivo los agricultores buscan alternativas para el control de la plaga, el silicio es un elemento mineral multifuncional usado como complemento nutricional y fitosanitario el cual incrementa el rendimiento ya que no es un elemento primario en las plantas, pero se observa respuestas positivas al aplicar silicio en el desarrollo de las plantas tanto en el incrementó de la productividad como en mejorar la calidad de los productos agrícolas (Borda et al., 2007; Raya y Aguirre, 2012; Castillo y Galecio, 2019).

El óxido de silicio es asimilado por la planta como ácido silícico ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), juega un papel importante en la planta formando una barrera protectora que brinda a la planta resistencia mecánica al ataque de insectos, disminuyendo el uso de insecticidas de tal forma mantiene los enemigos naturales; aumenta la eficiencia agronómica de los fertilizantes (principalmente fosfatados), reduce la necesidad de agua por las plantas, no produce  $\text{CO}_2$  responsable del efecto invernadero. Generando expectativas favorables con miras a llegar a una agricultura ecológica y cada vez más limpia (Raya y Aguirre, 2012).

Para un eficaz manejo integrado del insecto plaga se debe conocer principalmente lo siguiente; la fenología del cultivo, las condiciones climáticas de la zona (temperatura, precipitación y humedad relativa) y lo más importante conocer la dinámica poblacional (incidencia y severidad) de la plaga (Castillo, 2016; Swisher et al., 2014; Wenninger et al., 2017).

La presente investigación tiene como finalidad evaluar el efecto de la aplicación de óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) con una concentración de pureza del 98% en el control de *B. cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento variedad Nathalie, con el fin de brindar a los productores de pimiento una alternativa de control del insecto *B. cockerelli* (Sulc).

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar la aplicación de silicio en el control de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en San Vicente de Pusir, Carchi.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar la dinámica poblacional de *B. cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento.
- Establecer el efecto del silicio en la incidencia del daño de *B. cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento.
- Comparar la productividad del cultivo de pimiento bajo los tratamientos de diatomitas silíceas.

## **1.5 Hipótesis**

**1.5.1 Hipótesis nula: La aplicación de diferentes dosis de silicio no afectará las poblaciones de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento.**

**1.5.2 Hipótesis alterna:** Al menos una aplicación de las dosis de silicio reducirá las poblaciones de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en cultivo de pimiento.

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 Generalidades del cultivo de pimiento

#### 2.1.1 Origen del pimiento

El género *Capsicum*, de la familia de las solanáceas, tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales de América (México, Perú y Bolivia) (Navarrete, 2019). En el siglo XV fue introducido a Europa y luego al resto del mundo, desde entonces en el viejo continente este cultivo ha tenido un avance tecnológico en su manejo de producción llegando a reemplazar a la pimienta negra. Hasta la presente fecha se han identificado aproximadamente 25 especies, aunque las más conocidas se restringen sólo a cinco; *Capsicum annuum* L. (pimiento y ajíes), *Capsicum chinense* L. (ají habanero), *Capsicum frutescens* L. (ají Tabasco), *Capsicum baccatum* L. (ají Andino), y *Capsicum pubescens* L. (Rocoto) (Casilimas et al., 2012).

Este producto hortícola posee un alto valor nutritivo en vitamina A y C, además de ser rico en calcio, fósforo y contiene un alto nivel de fibra por estos principales beneficios se incorpora en la dieta alimenticia, generando así una gran demanda por parte de los consumidores. En nuestro país por lo general el pimiento fresco se lo utiliza en la preparación de ensaladas y aderezos empleados en la gastronomía tradicional del Ecuador (Guato, 2017).

#### **Pimiento híbrido Nathalie F1:**

Este híbrido presentan las condiciones adecuadas para su desarrollo a campo abierto como tolerancia a *Phytophthora*, , pérdidas de flores y frutos asociados a problemas de polinización o tumbados por la lluvia por su alta rusticidad, cuenta con un sistema radicular pivotante muy profundo, el follaje es denso y un crecimiento fluctuante entre los 0.30 y 1.50 m, alto cuajado de las flores aparecen en las axilas de las hojas a la altura de cada nudo, con frutos de excelente color y sabor que llegan hasta los 0.15 m de longitud y un peso de 170 a 220 g, inicia la cosecha a los 90 - 115 días posteriores al trasplante, considerando que en semillero debe estar alrededor de 35 - 40 días , puede llegar a producir de 5-13 frutos / planta y larga vida postcosecha (Rios, 2012; Garay et al., 2013).

### 2.1.2 Clasificación taxonómica del pimiento

Según Arias (2016), menciona que la clasificación taxonómica del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L) se da a conocer en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica del pimiento*

| <b>Categoría</b> | <b>Descripción</b> |
|------------------|--------------------|
| Reino:           | Plantae            |
| División         | Magnoliophyta      |
| Clase:           | Asteridae          |
| Orden:           | Solanales          |
| Familia:         | Solanaceae         |
| Género:          | <i>Capsicum</i>    |
| Especie:         | <i>annuum</i> L.   |

### 2.1.3 Descripción morfológica

#### - Raíz

Es una raíz pivotante y profunda puede alcanzar de 0.10 a 0.12 m de profundidad, además consta de numerosas raíces adventicias con un desarrollo horizontal que oscila entre 0.50 a 0.90 m. El sistema radical supone entre el 5 y el 20% del peso total de la planta el cual varía entre cultivares y formas culturales o condiciones de cultivo (Casilimas et al., 2012).

#### - Tallo

El tallo tiene distintas formas ya sea cilíndrica o prismática, angular y de crecimiento limitado y erecto de color verde, esto depende de cada variedad, su primera ramificación se origina cuando la plántula ha alcanzado una altura 0.15 a 0.20 m donde se produce la primera flor. En el momento en el que se ha formado el vástago floral en la terminación del brote se produce la evolución de nuevos axilares a las hojas que lo culminan, creciendo con marcada dominancia apical de las ramas secundarias (Deker, 2011).

### - **Hojas**

Son enteras, lampiñas y lanceoladas, con un ápice muy pronunciado acuminado y un pecíolo largo y poco aparente, el haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante. El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, del mismo modo que las nerviaciones secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja, la inserción de las hojas al tallo es de forma alterna y su tamaño depende de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto (Villota, 2014).

### - **Flores**

Las flores aparecen de forma solitaria en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas, son pequeñas y constan de una corola blanca o púrpura; son de polinización autógena, aunque suelen presentar cierto porcentaje de alogamia que no supera el 10% (Morales, 2013).

### - **Fruto**

El fruto es una baya semi cartilaginosa y tiene diferente forma, tamaño, color, consistencia y composición cuando está maduro, y se puede insertar pendularmente, de forma y tamaño muy variable. Los frutos se presentan en diferentes formas y tamaños, existiendo variedades que dan frutos de 1 o 2 g, frente a otras que pueden formar bayas de más de 300 g (Navarrete, 2019).

### - **Semilla**

Las semillas son redondeadas y ligeramente reniformes, suelen tener 3-5 mm de longitud, se insertan sobre una placenta cónica de disposición central y poseen diferentes colores, en un gramo pueden concentrarse entre 150 y 200 semillas y su poder germinativo es de 3 a 4 años. Es pequeña de 5 por 4 por 2 mm, estas pueden ser de forma achatada, globular, ovalada, casi redonda ligeramente plana, arriñonada, triangular con la base puntiaguda, en las últimas etapas de desarrollo se encuentran en una sustancia gelatinosa (Aguirre, 2016).

#### **2.1.4 Etapas fenológicas del cultivo**

El cultivo de pimiento tiene el siguiente ciclo fenológico: germinación, crecimiento vegetativo, floración, fructificación y madurez fisiológica.

##### **- Germinación**

La germinación es el proceso que ocurre después de la siembra y da como resultado el apareamiento de raíces primarias y secundarias produciendo su emergencia en la planta. En condiciones normales de temperatura, luz, oxígeno y humedad, la etapa de germinación se da entre 8 a 10 días después de la siembra (dds) (Hidalgo, 2015) .

##### **- Crecimiento vegetativo**

Esta etapa comprende el crecimiento y desarrollo de la planta que va desde la germinación de la semilla hasta el proceso de floración. Adicionalmente, se puede dividir en dos fases la primera fase de semillero que dura entre 30 y 40 días y la segunda fase de crecimiento vegetativo en campo que puede durar entre 130 y 180 días dependiendo de la variedad (Moreno, 2015).

##### **- Floración**

La etapa consiste en la aparición de flores en la planta, lo que indica el inicio de la etapa reproductiva. Esta etapa inicia entre los 130 y 180 después de la germinación (Aguirre, 2016).

##### **- Fructificación**

Este proceso ocurre entre 20 a 40 días después de la fecundación de las flores, cabe recalcar que este tiempo es variable debido a que depende de diferentes factores tales como temperatura, humedad y polinizadores (Deker, 2011).

##### **- Maduración fisiológica**

Casilimas et al, (2012), manifiesta que esta etapa puede variar desde los 180 hasta los 240 días después de la siembra, se debe tomar en cuenta la variación de los días dependiendo de las variedades y en esta etapa se acorta a partir del segundo ciclo de cosecha.

## 2.1.5 Requerimientos del cultivo

### - Temperatura

El pimiento es un cultivo muy sensible a las bajas temperaturas que prefiere los climas subcálidos y cálidos, aunque se adapta a climas templados, con una temperatura óptima entre los 22 °C-25 °C en la germinación y en el desarrollo vegetativo es 26 °C-28 °C en la floración y fructificación. Las bajas temperaturas traen como consecuencia la deformación de frutos y de menor tamaño como muestra la Tabla 2 (Pinto, 2013).

**Tabla 2**

*Temperaturas críticas en el ciclo del pimiento*

| Fases del cultivo          | Temperatura (°C)             |        |        |
|----------------------------|------------------------------|--------|--------|
|                            | Óptima                       | Mínima | Máxima |
| Germinación                | 24                           | 15     | 35     |
| Crecimiento vegetativo     | 20-25 (día)<br>16-18 (noche) | 15     | 40     |
| Floración y fructificación | 26-28 (día)<br>18-20 (noche) | 18     | 35     |

### - Humedad

La humedad relativa ideal para su óptimo crecimiento y fertilidad se encuentra entre 50% y un 70%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación. Las altas temperaturas y baja humedad relativa pueden ocasionar la caída de flores y de frutos recién cuajados (Pinto y Alvarez, 2018).

### - Precipitación

Requiere de una precipitación media de 600 a 1200 mm regularmente bien distribuidas durante todo el periodo vegetativo (Pinto, 2013).

### - Suelo

La planta prefiere suelos con textura franco-arenosos, profundos, fértiles y con un contenido en materia orgánica del 3-4%, bien aireados con buen drenaje interno y capacidad de retener humedad con un pH que oscile entre los 6.5 a 7.5. Tiene moderada tolerancia a la salinidad

tanto del suelo como del agua de riego. No son conveniente los suelos que se inunda con facilidad ya que se produce la asfixia radicular y problemas fitosanitarios (Arias, 2016).

### - Fertilización

Casilimas et al., (2012) manifiestan que los requerimientos nutricionales del cultivo de pimiento por niveles asimilables de cada nutriente son: Nitrógeno (N) 170 kg/ha, Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 50 kg/ha, Potasio (K<sub>2</sub>O) 120 kg/ha, Calcio (Ca) 70 kg/ha, Magnesio (Mg) 60 kg/ha, Azufre (S) 11 kg/ha, Hierro (Fe) 0.6 kg/ha, Manganeso (Mn) 0.4 kg/ha, Cobre (Cu) 0.5 kg/ha, Zinc (Zn) 0.3 kg/ha y Boro (B) 0.2 kg/ha.

**Tabla 1**

*Requerimientos nutricionales promedio para el cultivo de pimiento*

| Contenido en el suelo | Cantidad (kg ha <sup>-1</sup> ) |                               |                  |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------|
|                       | N                               | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Bajo                  | 400-600                         | 150-200                       | 400-750          |
| Medio                 | 250-400                         | 80-150                        | 200-400          |
| Alto                  | 100-250                         | 40-80                         | 60-100           |

## 2.2 Generalidades del insecto plaga

### 2.2.1 Taxonomía de *Bactericera cockerelli* (Sulc)

Según Abdullah (2008) y (Yang y Liu, 2009) el insecto fue clasificado en 1909 por Sulc y nombrado *Trioza cockerelli*, luego asignado al género *Paratrioza*. Sin embargo, el insecto ha sido reasignado en 1997 cuando *Trioza* y *Bactericera* se consideraron sinónimos (García, 2012; Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria OIRSA, 2015). De tal forma, clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Animal

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Hemiptera

Familia: Triozidae

Género: *Bactericera*

Especie: *Bactericera cockerelli* (Sulc)

### **2.2.2 Origen y distribución del insecto**

La primera descripción de *Bactericera cockerelli* (Sulc) se realizó con ejemplares proporcionados por el profesor Cockerell de la Universidad de Colorado. Los ejemplares fueron colectados en plantas de Chile, cuyas semillas habían sido introducidas a Estados Unidos provenientes de Sudamérica (Sulc, 1909). Inicialmente, esta especie fue ubicada dentro del género *Trioza* (Sulc, 1909), pasando posteriormente al género *Paratrioza* (Crawford, 1914) y finalmente Burckhardt y Lauterer (1997) así como Hodkinson (2009), la ubican dentro del género *Bactericera* en la familia *Triozidae*, situación que fue corroborada por (Ouvrard, 2019), en la revisión realizada de la clasificación de *Psylloidea*, razón por la cual este insecto se denominaba comúnmente como psílido.

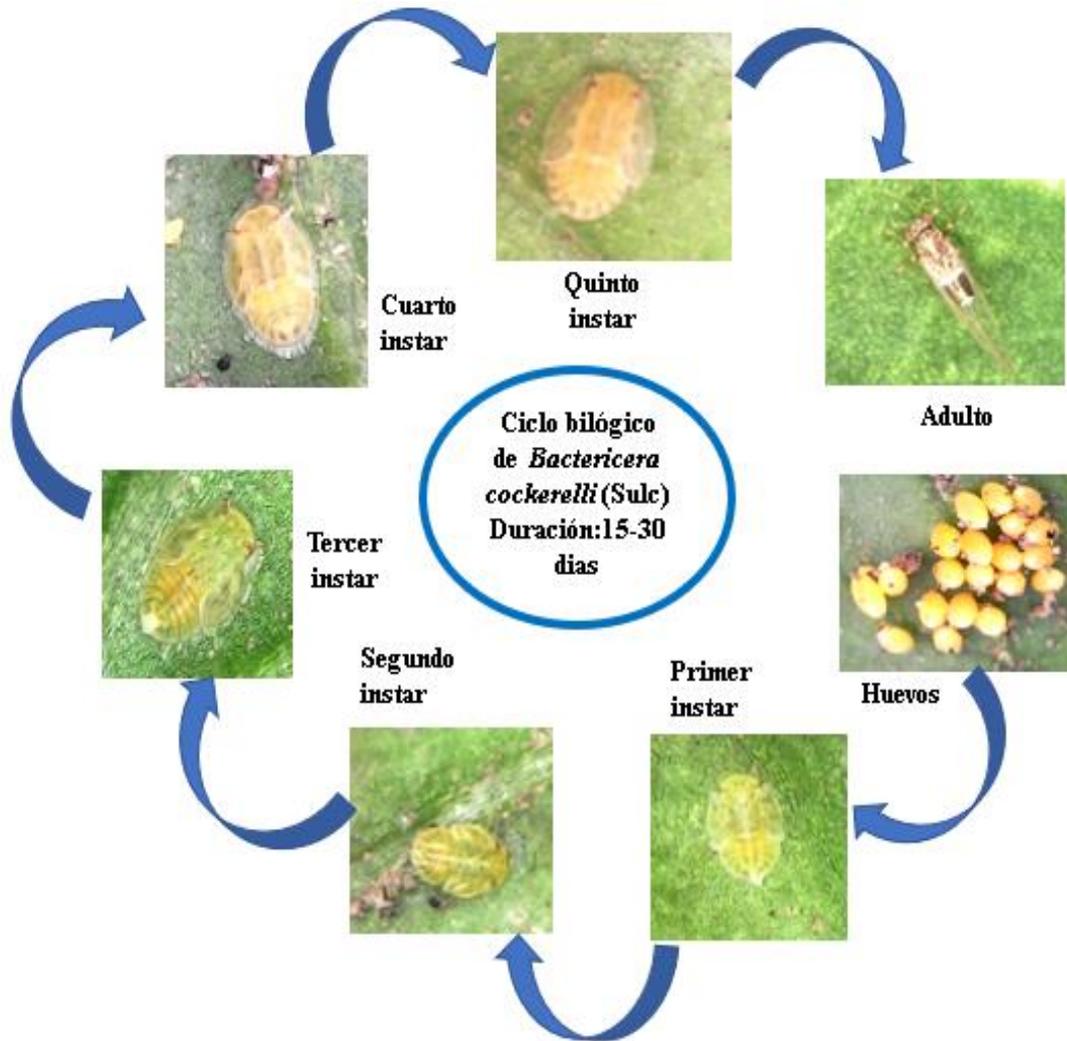
Este insecto plaga ha sido reportado a lo largo del continente americano, Centro y Sudamérica por Swisher et al., (2014) y Castillo et al., (2019). En Ecuador, la presencia de la enfermedad se ha reportado por varios años sin embargo en la última década se ha podido ratificar la presencia del parásito se encuentra distribuido en diferentes zonas del país (Caicedo et al., 2015; Castillo et al., 2019).

### **2.2.3 Ciclo biológico de *Bactericera cockerelli* (Sulc).**

*B. cockerelli* (Sulc) es un insecto plaga que tiene una metamorfosis incompleta ya que carece del estado de pupa y presentan instares ninfales (Abdullah, 2008; Cerna et al., 2012). Una hembra madura puede llegar a ovopositar en promedio 500 huevos en un período de 21 días. El tiempo promedio transcurrido en el desarrollo del huevo a adulto es de 15 a 30 días con una temperatura óptima de 27 °C para el desarrollo del psílido, ya que a temperaturas mayores de 32 °C es perjudicial para *B. cockerelli* (Sulc) reduciendo la puesta de huevos y la eclosión, por lo general existen tres o cuatro generaciones por temporada (Cranshaw, 2002)

**Figura 1**

*Ciclo biológico de Bactericera cockerelli (Sulc)*



## Huevos

Se muestra en la Figura 1 la forma ovoide de los huevos con un color anaranjado-amarillento que están unidos a las hojas de la planta huésped por la presencia de un pequeño filamento llamado corion el cual se adhiere en el envés y el borde de la superficie las hojas donde son depositados por separado. Durante su vida una hembra puede ovopositar en promedio 500 huevos la relación es de 1:1 de machos y hembras, su tiempo de desarrollo es de 3 – 15 días después de la ovoposición (Centro de Biociencia Agrícola Internacional. CABI, 2018).

### **Primer estadio ninfal**

Se puede observar el primer instar ninfal que presenta una coloración anaranjada y poseen en la parte dorsal una forma aplanada y en la parte ventral ovalada, la cabeza y cefalotórax redondeada con ojos notorios en la vista dorsoventral con una tonalidad anaranjada, setas a la periferia del segmento y la división del cuerpo no está bien diferenciado (Yanchatipan, 2020).

### **Segundo instar**

El insecto tiene la forma aplanada dorsoventralmente, se aprecian claramente las divisiones entre cabeza, tórax y abdomen. La cabeza es amarillenta, con antenas gruesas en la base que se estrechan hacia su parte apical, con segmentación no diferenciada, presentan dos setas sensoras. Los ojos son naranja oscuro, tórax verde amarillento con los paquetes alares visibles; la segmentación en las patas es notoria. Presenta abdomen amarillo con un par de espiráculos en cada uno de los primeros segmentos.

### **Tercer instar**

En este instar la segmentación muy notoria entre cabeza, tórax y abdomen, por lo general la cabeza es de color amarillo, las antenas son gruesas en su base y se estrechan hacia su parte apical presentando dos setas sensoras y sus ojos presentan una coloración rojiza mientras que el tórax presenta un tono verde-amarillento y se puede observar con facilidad los paquetes alares en el mesotórax y metatórax y su abdomen es de color amarillo (Bujanos et al., 2015).

### **Cuarto instar**

La cabeza y las antenas presentan las mismas características del estadio anterior. El tórax es verde-amarillento, la segmentación de las patas está bien definida y se aprecia en la parte terminal de las tibias posteriores dos espuelas, así como los segmentos tarsales y un par de uñas; estas características se observan fácilmente en ninfas aclaradas y montadas. Los paquetes alares están bien definidos. El abdomen es amarillo y los cuatro primeros segmentos abdominales presenta un par de espiráculos.

## **Quinto instar**

Se observa la segmentación bien definida de la cabeza, tórax y abdomen, la cabeza y el abdomen presentan una coloración verde claro y el tórax una tonalidad un poco más oscura. En la cabeza, las antenas están seccionadas en dos partes por una hendidura marcada cerca de la parte media; la parte basal es gruesa y la parte apical filiforme presentando seis sencillas placoides visibles en ninfas aclaradas y montadas. Los ojos adquieren un color guinda. El tórax presenta los tres pares de patas con su segmentación bien definida y la parte terminal de las tibias posteriores presentan las características anteriormente señaladas. Los paquetes alares están claramente diferenciados, sobresaliendo del resto del cuerpo. El abdomen es semicircular y presenta un par de espiráculos en cada uno de los cuatro primeros segmentos.

## **Adulto**

El adulto mide aproximadamente 2 mm y se reproduce por copulación entre macho y hembra dando como resultado la ovoposición de los huevos, presenta alas blancas que al paso de 3 o 4 horas se tornan transparentes una coloración verde-amarillento; La coloración del cuerpo pasa de ámbar a café oscuro o negro; este cambio se presenta en los primeros 7 a 10 días en alcanzar este estadio (Raura, 2021; OIRSA, 2015).

## **2.3 Hospederos**

*B. cockerelli* es un insecto plaga que principalmente es hospedera en la familia *Solanaceae* (Crespo et al., 2012; Castillo et al., 2019). Entre los principales cultivos que se han detectado la presencia de este insecto plaga son los siguientes: papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*), chile (*Capsicum annuum*), berenjena (*Solanum melongena*), tabaco (*Nicotiana tabacum*), tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*), hierba mora (*Solanum nigrum*), mala mujer (*Solanum rostratum*), uvilla (*Physalis* spp.), enredadera de campo (*Convolvulus arvensis*), y camote (*Ipomoea batatas*) (European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2013; Lincona, 2009; Yang y Liu, 2009).

## **2.4 Síntomas ocasionados por *B. cockerelli* (Sulc)**

Este insecto plaga posee tres etapas de desarrollo: huevo, ninfa y adulto, el mayor daño que ocasionan lo hacen en sus dos últimas etapas. La ninfa tiene la capacidad de inyectar una toxina

en la planta al momento de alimentarse provocan trastornos fisiológicos que afectan el desarrollo y rendimiento, así como la calidad en la producción. Los síntomas del daño pueden confundir a los expertos pues son similares a los que causan otros organismos patogénicos (Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica, MAG., 2010)

#### **2.4.1 Daños ocasionados por *B. cockerelli* (Sulc).**

*B. cockerelli* causa dos tipos de daños en las plantas hospedantes:

##### **- Daño directo**

Este tipo de daño es causado únicamente por las ninfas, debido a que introducen el estilete hasta el floema, succionan la savia de la planta y a su vez inyectan una toxina que dañan a las células que producen clorofila en las hojas, ocasionando clorosis, amarillamiento y debilitando las plantas, afectando así el rendimiento y la calidad de los tubérculos (Ramírez et al., 2008).

##### **- Daño indirecto ocasionados por *B. cockerelli* (Sulc).**

Trasmite un fitoplasma que el psílido lleva en su cuerpo, causando graves enfermedades conocidas como: “permanente del tomate”, “amarillamiento apical de chile”, “zebra chip” de la papa causada por la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* y punta morada (Villegas et al., 2017).

#### **2.5 Sistemas de monitoreo**

Cuesta et al. (2018) señalan que para detectar la presencia de *B. cockerelli* (Sulc) es recomendable realizar dos tipos de monitoreo que son los siguientes:

##### **- Trampas amarillas**

Para el monitoreo de la presencia de psílidos adultos en lotes de hasta una hectárea, es recomendable el uso de un mínimo de ocho trampas, cuatro en los extremos exteriores y cuatro en el centro de la parcela.

## - **Monitoreo de ninfas y oviposturas en el follaje**

Para estimar la presencia de huevos y ninfas en el follaje de la planta se debe monitorear el cultivo una vez por semana desde la emergencia hasta el aporque. Después del aporque el monitoreo se debe realizar dos veces por semana.

## **2.6 Manejo integrado de *Bactericera cockerelli* (Sulc)**

### **2.6.1 Control químico**

Cerna *et al.* (2012), mencionan que para realizar un manejo integrado de plagas sostenible con control químico y biológico es necesario conocer los riesgos, selectividad y las condiciones de uso de los insecticidas como la rotación, por ello los resultados obtenidos en diferentes estudios recomiendan el uso de abamectina, Spinosad, Imidacloprid y Thiamethoxam y endosulfan para el control de *Bactericera cockerelli* integrando *Chrysoperla carnea* como su depredador. Además, señalan que se puede utilizar menores concentraciones de insecticidas para obtener mayor mortalidad de *B. cockerelli* y menor mortalidad del depredador *C. carnea* y no generar resistencia al insecticida aplicado.

### **2.6.2 Control cultural**

Para evitar daños y pérdidas económicas ocasionadas por el insecto plaga *Bactericera cockerelli* se debe dar un seguimiento continuo en las diferentes etapas fenológicas del cultivo mediante los monitoreos para determinar las poblaciones existentes del insecto, dar un manejo adecuado a las malezas las cuales deben ser controladas manualmente con tres a cuatro deshierbas durante el ciclo del cultivo de pimiento para eliminar de los focos de infestación de *Bactericera cockerelli* (Sulc), rotación de cultivos, la planificación en la fecha de siembra y producción de plántulas libres de plagas y enfermedades (Butler y Trumble, 2012; OIRSA, 2015).

### **2.6.3 Control con extractos vegetales**

Activos naturales producidos por especies vegetales como el neem (*Azadirachta indica* L.), el ajo (*Allium sativa*) y otras liliáceas se destacan como insecticidas vegetales para cambiar el comportamiento alimenticio, de ovoposición y de refugio de los insectos (Raura, 2021).

## 2.6.4 Control biológico

Los principales enemigos naturales en el control biológico de *B. cockerelli* son los hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Verticillium lecanii*, algunos depredadores como *Chrysoperla* spp., *Geocoris* spp. e *Hippodamia convergens* Guérin–Menenville; además de los parasitoides de ninfas *Metaphycus psyllidis*, y *Tamarixia triozae* (Lomeli-Flores y Bueno, 2002; Bujanos et al., 2005).

## 2.7 Silicio

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, y se encuentra casi exclusivamente en forma de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) en asociación con una amplia gama de minerales que contienen Si en fases cristalinas y amorfas. A principios de la década de 1900, el Si fue reconocido como uno de los 15 elementos necesarios para la vida vegetal sin embargo, hasta la fecha la esencialidad del Si solo se conoce para las diatomeas, los juncos y otros miembros de las algas amarillo-marrón o doradas. El Si es un componente inorgánico importante en las plantas superiores y la cantidad significativa que se evidencia y muestra el valor del Si para mejorar la productividad de los cultivos (Matichenkov, Bocharnikova et al, 2008). El óxido de silicio utilizado en la investigación es de malla 400 A.S.T.M., procedente de algas fosilizadas más tratamiento térmico, teniendo las siguientes características:

**Tabla 4**

*Propiedades físico-químicas del silicio*

| PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Granulometría                 | Malla 400 A.S.T.M.             |
| Estado físico                 | Polvo fino                     |
| Color                         | Blanco                         |
| pH                            | 6.73                           |
| Densidad Aparente a 20°C      | 0.396 g/ml                     |
| Conductividad Eléctrica       | 943.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
| Solubilidad en Agua a 20°C    | 50 g/l                         |
| C.I.C.                        | 0.80 meq/100g                  |
| Permeabilidad (Darcy)         | 3.6                            |
| Pérdida al fuego              | 2%                             |
| Densidad Aparente             | 0.39 $\text{g}/\text{cm}^3$    |
| C.I.C.                        | 0.80 meq/100g                  |

Fuente: La Colina Agrotecnología (2020)

Las propiedades de carga mineral que posee el silicio se detallan a continuación:

**Tabla 5**

*Propiedades de carga mineral del Silicio*

| Carga mineral               | Óxido de silicio |
|-----------------------------|------------------|
| Nutriente                   | Concentración    |
| Silicio (SiO <sub>2</sub> ) | 98%              |
| Sodio (Na <sub>2</sub> O)   | 0.3%             |
| Cloro (Cl)                  | 0.1%             |
| Hierro (Fe)                 | 0.03%            |
| Zinc (Zn)                   | 0.01%            |
| Boro (B)                    | 0.01%            |
| Cobre (Cu)                  | 0.01%            |
| Manganeso (Mn)              | 0.01%            |
| Cobalto (Co)                | 0.002%           |
| Molibdeno (Mo)              | 0.001%           |
| Bario (Ba)                  | 0.001%           |
| Titanio (Ti)                | 0.001%           |
| Estroncio (Sr)              | 0.001%           |
| Zirconio (Zr)               | 0.001%           |
| Galio (Ga)                  | 0.001%           |
| Vanadio (V)                 | 0.001%           |

Fuente: La Colina Agrotecnología (2020)

### **2.8 Aplicación con silicio soluble ácido silícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>).**

Según (Furcal-Beriguete, 2012), menciona que la aplicación de silicio puede aumentar la resistencia o tolerancia a varias enfermedades causadas por hongos y otras plagas. La mayor absorción de ese mineral suministra una protección mecánica a la epidermis de la planta siendo capaz de reducir la infección por fitopatógenos y aumentar la tolerancia a la sequía y frío. Entre los beneficios del silicio es elevar las proporciones de calcio y magnesio. Es un mineral natural micro pulverizado, producto de algas microscópicas fosilizadas que aportan de silicio asimilable reforzando las hojas y los tallos, mejorando la fotosíntesis, reduciendo la evaporación de agua y controlando el desarrollo del sistema radicular de forma que las plantas logren sobreponerse a los efectos del estrés biótico y abiótico.

### **2.8.1 Mecanismo de acción**

El mecanismo de acción del silicio es contener partículas en los bordes microscópicamente afilados que desgarran el caparazón exterior y matan al insecto por deshidratación y además su ingestión destroza el aparato digestivo de los insectos, a diferencia de los pesticidas químicos no hay riesgo de desarrollar resistencia al silicio es escaso, dado que su acción es física y no química o metabólica, por lo que pueden ser usadas en aplicaciones periódicas (Castellanos et al., 2015).

El silicio ( $R_2SiO$ , donde R es un grupo orgánico) tiene buenas propiedades humectantes, por lo que se utiliza como adyuvante agrícola es asimilable para la planta en forma de ácido silícico ( $H_4SiO_4$ ) mediante las raíces induciendo el incremento del número de tallos y retoños florales, estimulando el crecimiento de las hojas. El silicio cubre las células de la epidermis con elementos ricos en silicio, como son, los fitolitos (cristales con el 80 % de  $SiO_2$ ) y tricomas, lo cual mejora la formación de biomasa y obtención de las cosechas. Además, los tricomas producen compuestos para repeler y combatir el ataque de agentes bióticos, como insectos, bacterias y hongos. Sus macropartículas poseen nano perforaciones que tienen la capacidad de absorber líquidos hasta en un 120% y gases en un 150%, reteniendo de esta forma el N, que podría perderse (Matichenkov, Bocharnikova et al, 2008).

### **2.8.2 Disponibilidad, toma y traslocación del silicio (Si)**

El silicio en la solución de suelo está presente en la forma de una molécula no cargada monomérica, ácido silícico a pH menor de 9 a pH superior a 9, el ácido silícico se disocia a ión silicato. La solubilidad del ácido silícico en agua es 2 mM (miliMicras) a 25 °C y la polimerización de la capa silícica de gel que ocurre cuando la concentración de este excede 2 mM. La forma de Silicio absorbida por la raíz es el ácido monosilícico, el cual se transporta de hacia los nuevos brotes, concentrándose debido a la pérdida de agua y polimerizándose primero a sílice coloidal y posteriormente a silícica de gel al continuar incrementándose la concentración de ácido silícico (Caicedo y Chavarriaga, 2007).

### **2.8.3 Implicaciones del silicio en la fisiología de las plantas**

Según Marxen et al., (2016) menciona que en la mejora del estrés relacionado con los factores bióticos, el papel del silicio se reconoció por primera vez en la modificación de las propiedades

de la pared celular depositando el silicio específicamente en los vasos del xilema, contrarrestando que se compriman en condiciones de alta transpiración causada por la sequía o estrés térmico. La membrana de silicio-celulosa en el tejido epidérmico de las hojas también protege los tejidos vegetales contra la pérdida excesiva de agua por transpiración debido a una reducción en el diámetro de los poros estomáticos. El silicio es el único elemento que no causa serios problemas en cantidades excesivas, por lo que se deposita como una capa gruesa de 2.5 micras de espesor formando una doble capa de cutícula-Silicio impidiendo el daño por parte de los insectos plaga por esta formación se cree que interviene en el rol de aliviar el estrés bióticos y abióticos.

Sobre la fisiología de las plantas, el Silicio actúa como protector y regulador de la fotosíntesis y otras actividades enzimáticas, mediante el proceso fotosintético de la planta, ésta absorbe CO<sub>2</sub> (gas carbónico) así mejorara ostensiblemente cuando se aplica SiO<sub>4</sub>H<sub>4</sub> (ácido Ortosilicico) permitiendo inducir la concentración de clorofila por unidad de área foliar y producir más enzimas ribulosa, bifosfato, carboxilasa (Rubisco), enzima que captura el CO<sub>2</sub>, mejorando el aprovechamiento de la energía solar (Quero, 2009).

#### **2.8.4 Beneficios del Silicio (Si) en las plantas**

Los principales beneficios del silicio en las plantas que han sido reportados en una amplia gama de cultivos destacando principalmente la fertilización con Si para mantener la productividad de las plantas bajo condiciones de estrés, mejorando los mecanismos de resistencia bióticos y abióticos (Li et al., 2007). Al depositar el silicio en las células epidérmicas de las hojas es inmóvil y no se puede trasladar a nuevas hojas en crecimiento, activa los mecanismos de defensa actuando como barrera mecánica, mejorando la resistencia mecánica y la capa protectora de la planta, promueve la resistencia a la planta de los patógenos , reduce el daño causado por la alimentación de insectos, mejora la tolerancia de las plantas al estrés por falta de humedad mediante la reducción de la pérdida de agua a través de la transpiración, mejora la resistencia de las raíces a los suelos secos, aumenta tasas fotosintéticas y reducir la tasa de alojamiento (Rodrigues et al., 2015).

## **2.9 MARCO LEGAL**

La presente investigación se encuentra inmersa en las leyes y artículos que rigen al Estado Ecuatoriano. Así por ejemplo en el Art. 14 de la Constitución de la república del Ecuador se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Además, en el inciso 2 del Art. 400 menciona que se declara de interés público la conservación de la biodiversidad y todos sus componentes, en particular la biodiversidad agrícola y silvestre y el patrimonio genético del país ( Asamblea Nacional Constituyente, 2008).

Lo mencionado en el artículo 21 de la Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria del 3 de julio del 2017, el control fitosanitario es responsabilidad de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (AGROCALIDAD), tiene por finalidad prevenir y controlar el ingreso, establecimiento y la diseminación de plagas que afecten a los vegetales, productos vegetales y artículos reglamentados que representen riesgo fitosanitario.

# CAPÍTULO III

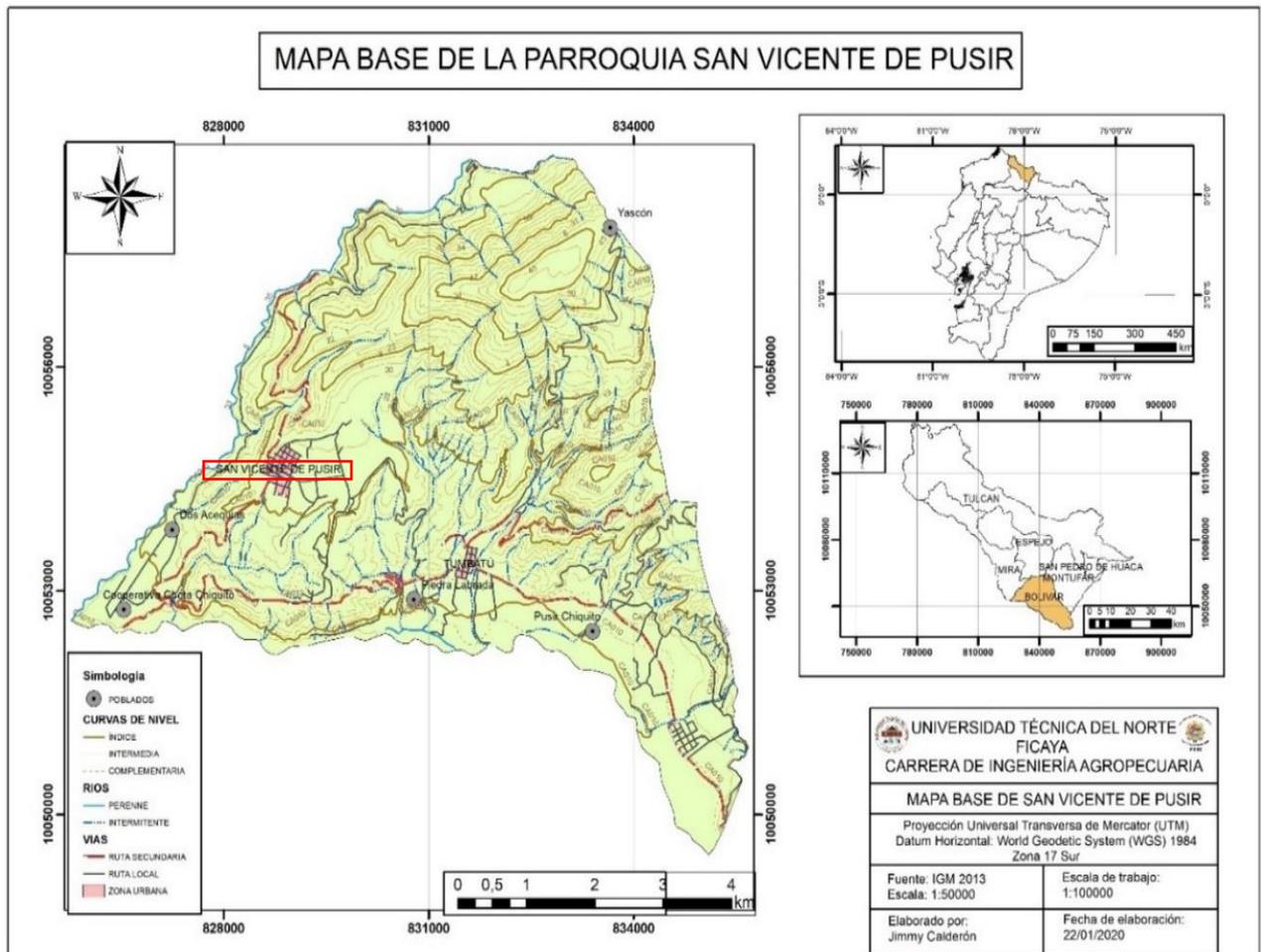
## 3. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en la provincia del Carchi, Cantón Bolívar específicamente en la parroquia San Vicente de Pusir, se encuentra localizado en la Cuenca del Rio Chota, entre los ramales Occidental y Central de la cordillera de los Andes, tiene una extensión de 43.14 Km<sup>2</sup> (Figura 2).

Figura 2

Ubicación geográfica de la parroquia San Vicente de Pusir



Las características del área de estudio se detallan en la (Tabla 6).

**Tabla 6**

*Características del área de estudio*

| Ubicación Geográfica y características climáticas |                |
|---|----------------|
| Longitud Oeste                                    | 78°2'16.387"   |
| Latitud Norte                                     | 0°29'12.471"   |
| Altitud   | 1 700 m.s.n.m. |
| Temperatura                                       | 21°C           |
| Humedad relativa promedio                         | 55%            |
| Precipitación medio anual                         | 330.6 mm/año   |

### 3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados en la presente investigación se describen en la (Tabla 7).

**Tabla 7**

*Materiales equipos, insumos y herramientas*

| Materiales            | Equipos                | Insumos                         | Herramientas |
|-----------------------|------------------------|---------------------------------|--------------|
| Libreta de campo      | Computadora            | Pimiento                        | Pala         |
| Registro de monitoreo | Balanza de laboratorio | Silicio 98% (SiO <sub>2</sub> ) | Azadón       |
| Trampas de insectos   | Cámara fotográfica     | Abono 10-30-10                  | Rastrillo    |
| Lupa                  | Microscopio portátil   | Abono 10-30-10                  |              |
| Piola                 |                        | Enmienda                        |              |
| Palos                 |                        | Bioestimulantes                 |              |
| Mangueras             |                        | Fertilizantes                   |              |
| Tanque plástico       |                        | Insecticidas                    |              |

### 3.3 MÉTODOS

El objetivo de la investigación fue conocer la dinámica poblacional de *B. cockerelli* (*Sulc*) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en San Vicente de Pusir. Esta investigación es de tipo experimental en el campo, lo que se buscó fue evaluar la dinámica poblacional de *B. cockerelli* (*Sulc*) mediante la aplicación la aplicación de silicio en diferentes dosis en las etapas fenológicas del cultivo (crecimiento vegetativo, floración, fructificación y cosecha).

### 3.3.1 Factores en estudio

Las dosis que se utilizaron en la presente investigación de ( $2,5 \text{ g l}^{-1}$ ,  $5 \text{ g l}^{-1}$  y  $10 \text{ g l}^{-1}$ ) con una concentración del 98% ( $\text{SiO}_2$ ) por aplicación foliar con una frecuencia de cada 15 días (Tabla 8).

**Tabla 8**

*Niveles de aplicación foliar de silicio*

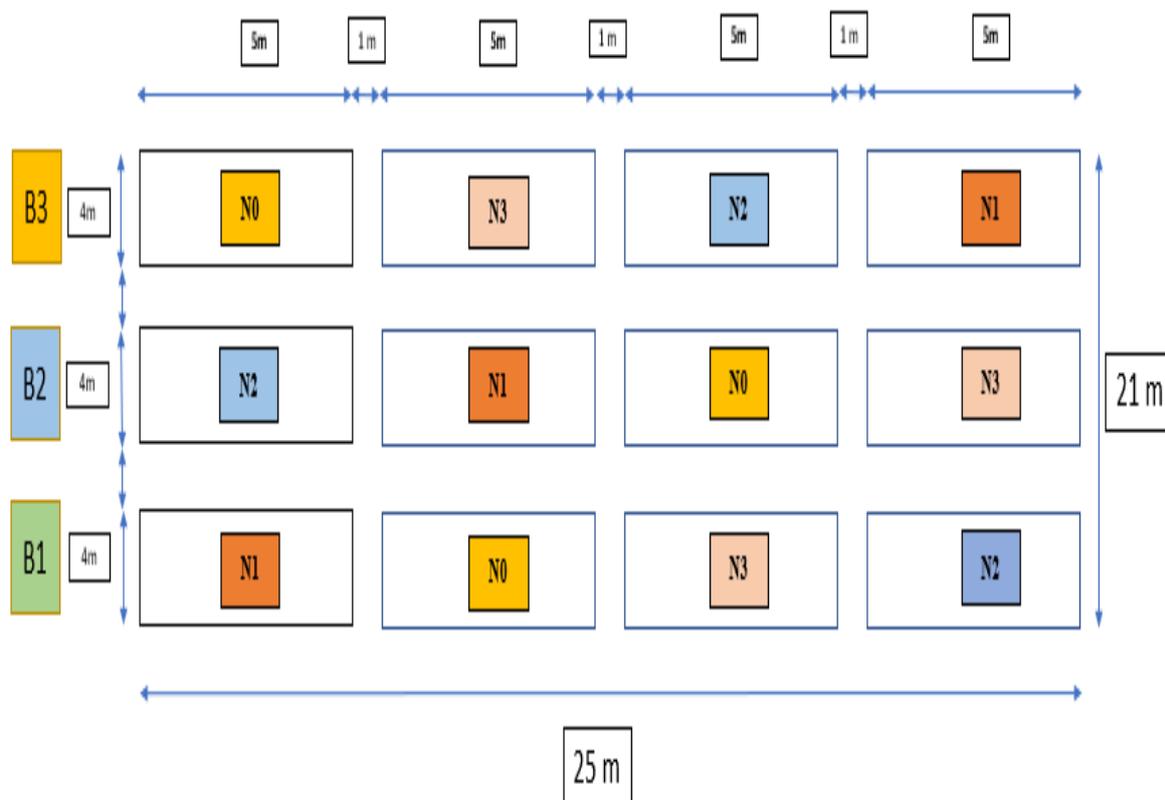
| Nivel | Descripción aplicación foliar 98% ( $\text{SiO}_2$ ) |
|-------|--|
| N0    | Testigo  |
| N1    | $2.5 \text{ g l}^{-1}$                               |
| N2    | $5 \text{ g l}^{-1}$                                 |
| N3    | $10 \text{ g l}^{-1}$                                |

### 3.3.2 Diseño experimental

En esta investigación se utilizó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA)

**Figura 3**

*Esquema del diseño experimental utilizado en la investigación*



El área de estudio estará conformada de la siguiente manera:

Factor en estudio: 3 niveles de aplicación foliar de silicio y un testigo

- Bloques/repeticiones: 3
- Número de unidades experimentales: 12
- Ancho del área: 21 m
- Largo del área: 25 m
- Área total del ensayo: 525 m<sup>2</sup>

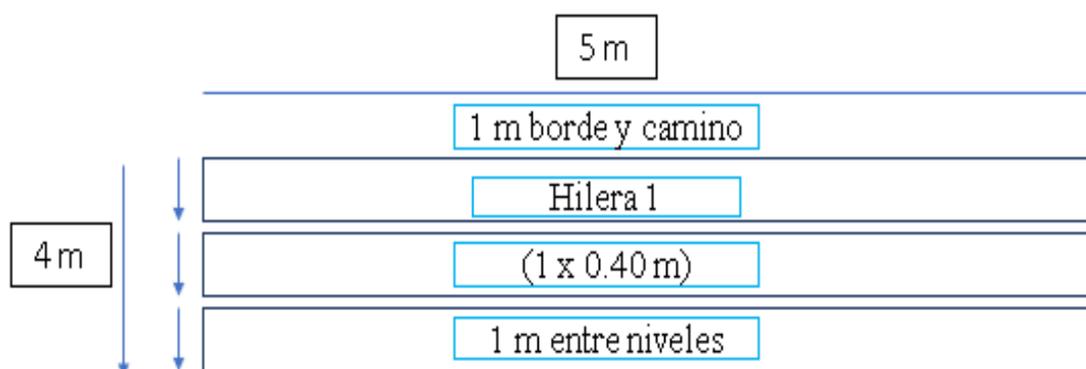
**Tabla 9**

*Características de la unidad experimental*

| Datos                                    | Medidas           |
|--|-------------------|
| Forma:                                   | Rectángulo        |
| Largo:                                   | 5 m               |
| Ancho:                                   | 4 m               |
| Área parcela total:                      | 20 m <sup>2</sup> |
| Área parcela neta:                       | 4 m <sup>2</sup>  |
| Densidad de plantas:                     | (1 x 0.40 m)      |
| Número de plantas por parcela:           | 50                |
| Número de plantas parcela neta:          | 20                |
| Número de plantas por ensayo:            | 600               |
| Separación de caminos en las subparcelas | 1 m               |

**Figura 4**

*Diseño de la unidad experimental*



### 3.3.3 Análisis estadístico

Para el análisis se utilizó el paquete estadístico de InfoStat® versión 2018 para determinar las medidas de resumen media, coeficiente de variación y error estándar, gráficos y análisis de la varianza para todas las variables antes mencionadas que resultaron datos paramétricos por lo cual se utilizó la prueba LSD Fisher con un nivel de confianza 5%. Los datos de incidencia no son paramétricos ya que no cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza por lo que se utilizó la prueba de Friedman's test.

### 3.3.4 Variables evaluadas

Para la evaluación de dinámica poblacional de *B. cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento se evaluaron las siguientes variables.

#### 3.3.4.1 Número de oviposturas

Para la evaluación de oviposturas se seleccionaron 20 plantas al azar de cada unidad experimental en forma de S (Figura 13) iniciando desde los 30 días después de la siembra del cultivo hasta finalizar su ciclo. A cada planta se le observará durante 5 minutos, iniciando desde la parte apical hacia la basal en el haz y envés de las hojas, en horario de nueve a tres de la tarde. Se contabilizó el número de huevos por planta (huevos/planta) cada 15 días y se registró en los formatos establecidos (Anexo 1).

#### Figura 5

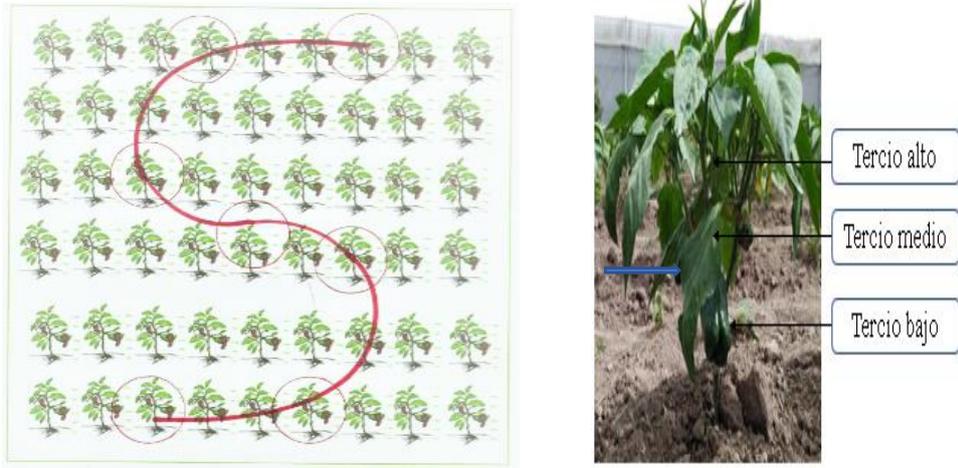
Conteo de numero de huevos de *B. cockerelli* (Sulc) en el envés de la hoja



El muestreo en forma de S se realizó para estimar la densidad y distribución de la plaga. Se muestrearon 20 plantas al azar partiendo desde una esquina hacia el centro del lote de pimiento, los datos se tomaron cada 15 días y se registraron en el libro de campo (Figura 13).

**Figura 6**

*Forma de S muestreo de oviposturas en el lote*



### 3.3.4.2 Número de ninfas

En las 20 plantas al azar mencionadas anteriormente, se realizó el conteo de número ninfas por planta. El conteo se realizó en tres hojas bajas y tres hojas del tercio medio de la planta. Se contabilizó insectos que se encontraban en el 4 – 5 instar de desarrollo (Figura 14). Se registraron los datos en formatos establecidos (Anexo 1) cada 15 días.

**Figura 7**

*Instar de desarrollo de ninfas de B. cockerelli (Sulc)*



### 3.3.4.3 Número de adultos

El conteo del número de adultos se realizó cada 15 días en las trampas adhesivas amarillas Horiver de doble cara las cuales permiten la adherencia de los insectos. El número de trampas

dependerá del tamaño del lote, se utilizará como referencia 8 trampas por hectárea (Cuesta et al., 2018).

#### Figura 8

*Conteo del número de adultos en las trampas*



#### 3.3.4.4 Porcentaje de Incidencia

Se escogerá al azar 10 plantas dentro de la unidad experimental neta y se evaluará el número de folíolos infectados por *Bactericera cockerelli* (Sulc), al mes después del transplante y de ahí el monitoreo cada 15 días.

#### Figura 9

*Número de folíolos afectados por Bactericera cockerelli (Sulc)*



#### 3.3.4.5 Severidad de *B. cockerelli* (Sulc)

Las plantas seleccionadas para el monitoreo de oviposturas y ninfas serán observadas detenidamente cada 15 días para detectar los síntomas de psílido del pimiento en el lote

evaluado. El conteo se realizará en tres hojas compuestas bajas y tres hojas de la parte media de la planta para lo cual se aplicó la siguiente fórmula: **Porcentaje de Incidencia** = (Nº de folíolos afectados / Nº de folíolos sanos) \* 100

**Figura 10**

*Síntomas de psílido B. cockerelli (Sulc) en las hojas de pimiento pimienta*



**3.3.4.6 Días a la floración**

Este valor se registrará cuando el 50% de las plantas de cada una de las parcelas presentaran flores abiertas.

**Figura 11**

*Número de flores abiertas*



**3.3.4.7 Número de frutos por planta**

Se considerará todas las plantas dentro de la parcela neta (20), de las cuales se registró el número de frutos/planta. Este dato se obtuvo de las primeras dos cosechas que se realizaron cada 15 días.

## Figura 12

*Número de frutos por planta*



### 3.3.4.8 Longitud de fruto

Esta variable se evaluará en cada parcela. Se medirá el largo de todos los frutos cosechados, desde el cuello hasta su base expresándolo en cm.

## Figura 13

*Longitud de fruto*



### 3.3.4.9 Rendimiento total

Para determinar el rendimiento del cultivo se tomará la parcela neta de cada unidad experimental, finalmente con los resultados de la producción obtenida se realizará una proyección orientada a una hectárea, se lo realizará cuando la época de cosecha haya culminado. Para obtener el rendimiento se procederá a pesar el pimiento cosechado, de esta manera se obtendrá el peso en kg y se transformará a  $\text{kg ha}^{-1}$ .

**Figura 14**

*Rendimiento de la cosecha*



### **3.4 MANEJO DEL EXPERIMENTO**

#### **Establecimiento del experimento.**

La investigación se realizó en el Cantón Bolívar parroquia San Vicente Pusir provincia del Carchi, en plantas de pimiento variedad Nathalie. El manejo técnico se realizará de acuerdo con los monitoreos planteados en la investigación con el objetivo determinar la dinámica poblacional, medir la incidencia y severidad de *Bactericera cockerelli* (Sulc) y evaluar el efecto de las diferentes dosis de silicio aplicadas en el control *Bactericera cockerelli* (Sulc).

#### **3.4.1 Análisis de suelos**

Se tomaron 10 sub-muestras de suelo con un barreno a 25 cm de profundidad, siguiendo el procedimiento en forma de zig-zag, se mezclará y se sacará una muestra de un kilogramo y se lo enviará al laboratorio de suelos AGRARPROJEKT S.A. para su respectivo análisis fisicoquímico completo tanto macro y micronutrientes, para determinar la fertilización en el suelo.

**Figura 15**

*Toma de la muestra de suelo*



**INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS**

Ciente: Ing Gonzalo Benavides  
Cultivo: Pimiento

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

|  |   |
|--|---|
| Materia Orgánica [%] 4,7 ✓   | → Ópt: 3 - 12%                          |
| Textura franca   | → Ópt: Arena franca hasta franca limosa |
| % Saturación de Bases : 56% (clasific.: moderado en bases)B ↓                | → Ópt: >65%                             |
| Distribución de las bases en el % Sat Bases : Ca: 35%, Mg: 15%, K:4%, Na: 2% |   |
| Capacidad Intercambio Catiónico [meq/100ml] 13,2B ↓                          | → Ópt: >15 meq/100g                     |
| Acidez Intercambiable AH+H [meq/100ml] : 0,19 ✓                              | → Ópt.: <0.5 meq/100g                   |
| Aluminio Intercambiable Al [meq/100ml] : <0,05 ✓                             | → Ópt.: <0.3 meq/100g                   |
| Conductividad Eléctrica [mS/cm] : 0,05 ✓                                     | → Ópt: 0.2 - 0.5 mS/cm                  |
| pH en KCl : 6,9  | → Ópt.: 5.4 - 6,8 en KCl                |

| Parámetro                          | N              | P      | K       | Ca       | Mg     | S     | Zn        | Cu      | Fe      | Mn      | B         | Si   | Cj   | Na   |
|------------------------------------|----------------|--------|---------|----------|--------|-------|-----------|---------|---------|---------|-----------|------|------|------|
| Rango Ópt. Suelo <sup>1</sup>      | [ppm] 30-50    | 20-40  | 120-260 | 400-1000 | 40-120 | 10-15 | 1,2-6     | 1-4     | 20-50   | 6-30    | 0,15-0,60 |      |      | <210 |
|                                    | [kg/ha] 72-120 | 48-96  | 288-624 | 960-2400 | 96-288 | 24-36 | 0,88-14,4 | 2,4-9,6 | 48-120  | 14,4-72 | 0,4-1,44  |      |      | <504 |
| Nutrientes en el suelo             | [ppm] 30,0B ↓  | 67 ✓   | 187 ✓   | 377 ✓    | 178A ↑ | 8B ↓  | 6,8A ↑    | 5,3A ↑  | 51,5 ✓  | 26,4 ✓  | 0,6 ✓     | 19,2 | 29 ✓ | 37 ✓ |
|                                    | [kg/ha] 72B ↓  | 161 ✓  | 467,5 ✓ | 905 ✓    | 427A ↑ | 19B ↓ | 17A ↑     | 13A ↑   | 123,6 ✓ | 63,36 ✓ | 1,3 ✓     | 48   | 70 ✓ | 89 ✓ |
| Requerimiento [kg/ha] <sup>2</sup> | 140            | 20     | 100     | 65       | 39     | 18    | 0         | 0       | 1       | 0       | 1         |      |      |      |
| Req. + Rango ópt. [kg/ha]          | 215            | 70     | 413     | 1065     | 152    | 43    | 7         | 3       | 51      | 10      | 1,0       |      |      |      |
| Por aplicar [kg/ha/año]            | 143            | -91,28 | -55     | 160,2    | -275,7 | 23,8  | -9,91     | -9,37   | -72,6   | -53,16  | -0,345    |      |      |      |

<sup>1</sup> Fuente: Soil Science Society of America Inc. (Ed.). 2001. Methods of Soil Analysis. 1390 pp.  
<sup>2</sup> Fuente: INIAP. ECAA

**3.4.2 Preparación del suelo.**

Se realizó labores de arado, rastrado, nivelado y surcado, hasta obtener un suelo suelto y apto para el transplante de las plántulas de pimiento.

**Figura 16**

*Preparación de suelo para la siembra del pimiento*



*Nota: A) Elaboración de surcos con tracción animal. B) Siembra de plántulas de pimiento*

### 3.4.3 Toma de muestra foliar.

En cada unidad experimental se muestreó tres hojas en el tercio alto, tercio medio y tercio bajo de la planta, con un total de 10 puntos, tomando en cuenta el efecto borde. Las muestras se tomaron al final cosecha conforme al cronograma.

Figura 17

Toma de muestra foliar para análisis en Agrarprojekt



Agrarprojekt S.A.  
Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito  
Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148  
info@agrarprojekt.com  
www.agrarprojekt.com

#### INFORME: ANÁLISIS FOLIAR (Silicio)

PT0901.REV01 Pág 1/2

|                      |            |                      |          |
|----------------------|------------|----------------------|----------|
| Código Agrarprojekt: | IND-220421 | Informe de Ensayo N° | 569      |
| Fecha de recepción:  | 22-04-21   | Fecha de Informe:    | 28-04-21 |

| DATOS DEL CLIENTE |   |
|-------------------|---|
| Cliente:          | Industrias de Minerales La Colina Inducolina Cia. Ltda.       |
| Solicitado por:   | Ing. Gonzalo Benvides / Ing. Karina Suin                      |
| Ubicación:        | Cuenca <span style="float: right;">Teléfono: 072889072</span> |

#### RESULTADOS

Código Agrarprojekt: IND-220421 Pág 2/2

| INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS               |  |                        |                          |                         |
|---|--|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Información Adicional:                    | Tesis Est. Agropecuario Jimmy Calderón |                        |                          |                         |
| Tipo de Muestra:                          | Hojas                                  |                        |                          |                         |
| Cultivo:                                  | Pimiento                               |                        |                          |                         |
| Número de Muestra:                        | # 1                                    | # 2                    | # 3                      | # 4                     |
| Información Proporcionada por el Cliente: | Testigo Sin Aplicación                 | Dosis Baja, 500 gramos | Dosis Media, 1000 gramos | Dosis Alta, 2000 gramos |

Contenido de macro- y microelementos en Materia Seca (macroelementos en %, microelementos en ppm equivalente a mg/kg o µm/g)

| Análisis     | Unidades | Resultado | Resultado | Resultado | Resultado |
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Silicio (Si) | %        | 0,11      | 0,07      | 0,07      | 0,16      |

- = No Aplica

Nota: - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.  
- La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.  
- El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.  
- Prohibida la reproducción total o parcial de Los resultados. No procede copia.

### 3.4.4 Prueba de fitotoxicidad

La aplicación por vía foliar de óxido de silicio se monitoreó en plantas de los bordes de las parcelas para luego observar si existen en ellas los desórdenes fisiológicos causados por estas diferentes dosis planteadas en la investigación.

### 3.4.5 Implementación de niveles de silicio.

Se usaron tres dosis de óxido de silicio a una concentración del 98% ( $\text{SiO}_2$ ), 2.5 g l<sup>-1</sup>, 5 g l<sup>-1</sup>, y 10 g l<sup>-1</sup>, con una frecuencia de aplicación foliar cada 15 días.

**Figura 18**

*Dosis de óxido de silicio a una concentración del 98% ( $\text{SiO}_2$ )*



*Nota: Dosis de óxido de silicio a una concentración del 98% ( $\text{SiO}_2$ )*

### 3.4.6 Sistemas de monitoreo

Cuesta et al. (2018) señalan que para detectar la presencia de *B. cockerelli* es recomendable realizar dos tipos de monitoreo.

- **Trampas amarillas**

Para el monitoreo de psílidos adultos se usaron trampas Horiver amarillas una trampa por cada unidad experimental ubicadas en el centro de cada parcela.

**Figura 19**

*Monitoreo de insectos adultos*



*Nota: A) Colocación de trampas Horiver amarillas. B) Trampa Horiver amarillas*

- **Monitoreo de ninfas y oviposturas en el follaje**

Para estimar la presencia de huevos y ninfas en el follaje de la planta se debe monitorear el cultivo cada 15 días desde el primer mes después del trasplante hasta terminar su ciclo de cultivo.

### **3.4.7 Labores culturales**

Se realizará controles manuales de malezas.

**Figura 20**

*Control manual de malezas*



### **3.4.8 Controles fitosanitarios.**

Los controles fitosanitarios se realizarán cuando el ensayo presentara daños causados por plagas o enfermedades. La aplicación se realizará con una bomba de mochila.

**Figura 21**

*Aplicación foliar de silicio con bomba*



### 3.4.9 Riego

Considerando las condiciones climáticas presentes en el lugar se utilizará un tensiómetro para medir la humedad presente en el suelo mediante este se calculará los riegos de acuerdo con la edad de la planta y etapa vegetativa que se encuentre la planta. (Arias, 2016).

**Figura 22**

*Riego por inundación*



## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se describen los resultados de cada una de las variables obtenidas en la investigación llevada en campo en San Vicente de Pusir provincia del Carchi.

#### 4.1 Número de huevos de *B. cockerelli* (Sulc).

La Tabla 10 muestra el análisis de varianza para el número de huevos indica que no existe interacción entre los días después de la siembra y con la aplicación foliar de silicio ( $F= 0.40$ ;  $Gl=12,1778$ ;  $p=0.9655$ ). Mientras que de forma independiente existe diferencias significativas entre las dosis de silicio aplicadas ( $F= 12.55$ ;  $Gl=3,1778$ ;  $p<0.0001$ ) y los días después de la siembra ( $F= 7.97$ ;  $Gl=4,1778$ ;  $p<0.0001$ ) en el ciclo de la producción del pimiento.

**Tabla 10**

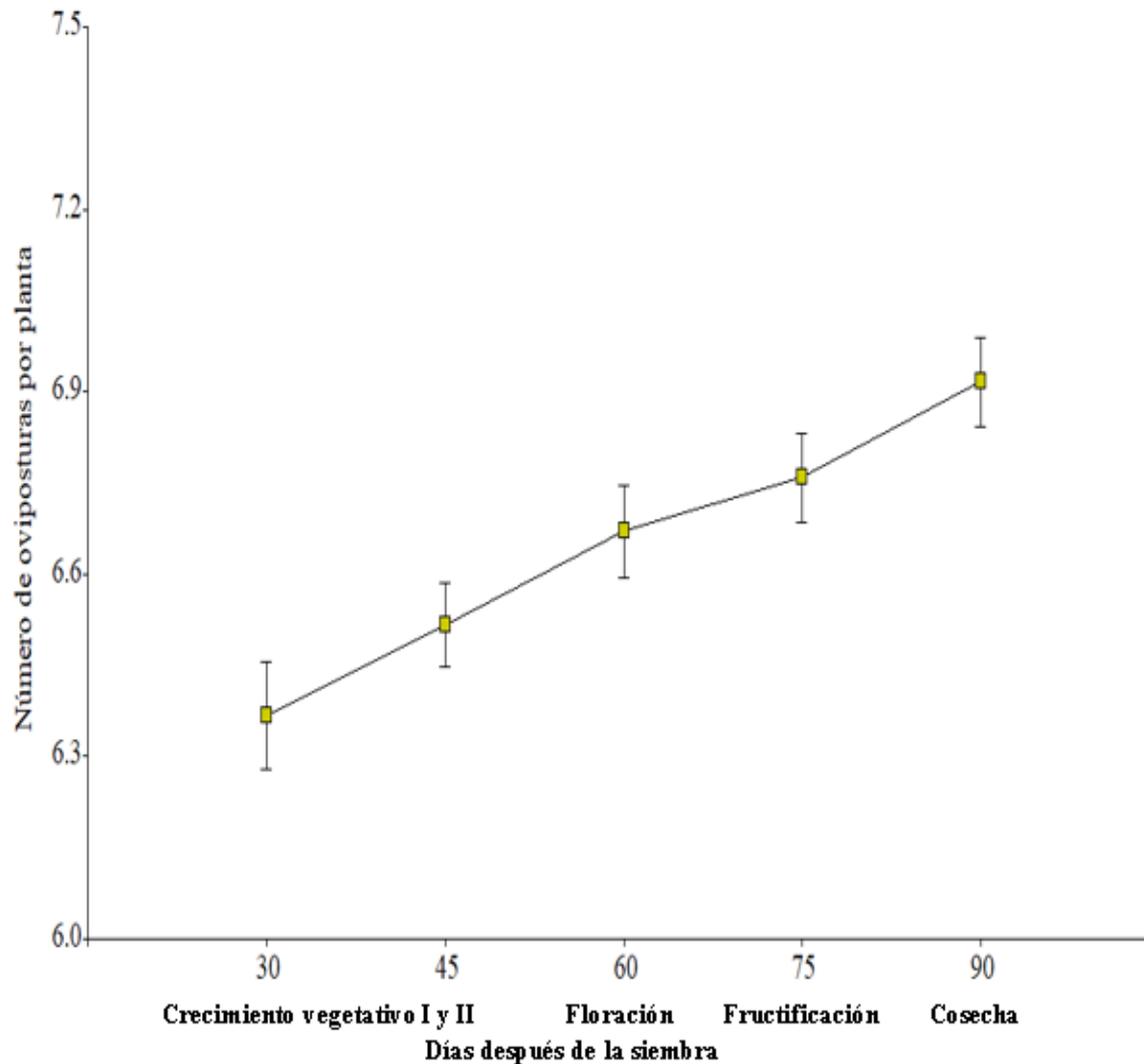
*Análisis de varianza para el conteo del número de huevos con respecto a los días después de la siembra y las dosis de silicio aplicadas*

| Fuente Variación                  | Grados Libertad<br>Fv | Grados Libertad Error | Valor F | Valor P |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|---------|
| Días después de la siembra        | 4                     | 1178                  | 7.97    | <0.0001 |
| Dosis                             | 3                     | 1178                  | 12.55   | <0.0001 |
| Días después de la siembra: Dosis | 12                    | 1178                  | 0.40    | 0.9655  |

Como se muestra en la Figura 23 al establecer la prueba de Fisher al 5 %, se puede apreciar que a los 30 y 45 días después de la siembra en la etapa de crecimiento vegetativo I y II presentó el valor máximo de 1913 huevos en cada lote lo que representa 6.37 huevos/huevo/planta siendo estadísticamente similar entre estas dos etapas posteriormente a los 60 días en la etapa de floración presentó 1963 huevos en cada lote lo que representa 6.67 huevos/huevo/planta teniendo un incremento del 4.7%, de la misma forma a los 75 días en la etapa de fructificación presentó 2020 huevos en cada lote lo que representa 6.76 huevos/huevo/planta incrementando en un 6.1% y finalmente a los 90 días en la etapa de cosecha se observó 7 huevos/huevo/planta marcando un crecimiento del 9%.

**Figura 23**

Promedio de número de huevos de *B. cockerelli* (Sulc) contabilizados en el ciclo cultivo de pimiento.



Algo similar ocurrió en la investigación realizada por Vinueza (2021) quien evaluó la dinámica poblacional de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en plantaciones de pimiento en el Valle del Chota donde se registró la presencia 1048 y 8872 huevos por lote en la etapa de cosecha. En la presente investigación encontró 2079 huevos por lote lo que representa en promedio 7 huevos/planta en la etapa antes mencionada (90 dds) esto se debe al efecto de la aplicación del silicio en la hoja es de crear una doble capa cuticular enriquecida con Si y afecta mecánicamente a los insectos, impidiendo su movimiento, asentamiento y posiblemente afectando negativamente su preferencia de oviposición y tasa de alimentación (Freeman y Beattie, 2008).

A los 90 días después de la siembra, el testigo presentó el mayor número oviposturas 422 en la etapa de cosecha. Mientras que, el número de ninfas en la misma etapa fue de 322 ninfas, es decir hubo una mortalidad del 27% de oviposturas de esta manera se podría atribuir que las oviposturas están distribuidas en las yemas apicales y en los bordes de la superficie de la hoja. La exposición de las oviposturas a radiaciones solares sufriendo una rápida deshidratación y reduciendo la viabilidad de los huevos (Cerna-Chávez et al., 2018).

La dinámica de la postura de huevos mostró una tendencia progresiva en las etapas de floración, fructificación y cosecha (60, 75 y 90 dds) mostrando un incremento del 109% en el número de huevos con respecto a la etapa de crecimiento vegetativo I y II (30 y 45 dds), por lo tanto en estas etapas fenológicas son las que presentan un incremento en la formación de brotes jóvenes de mayor área foliar y son más atractivas para el psílido *Bactericera cockerelli* (Sulc). En la investigación realizada por Pacheco-Cobarrubias et al., (2014) ocurrió algo similar donde presentaron mayor cantidad de adultos del psílido en las etapas de floración y fructificación, teniendo un ambiente propicio para ovopositar sus huevos teniendo una mayor cantidad de oviposturas en dos variedades de *C. annuum*. Por lo tanto, podría existir la posibilidad de un incremento en el número de oviposturas ya sea en floración, fructificación y cosecha de manera simultánea.

Además, cabe mencionar en esta investigación que el cultivo de pimiento se encontraba colindado con otro cultivo de pimiento ya infestado de *B. cockerelli* Sulc. por lo que se atribuye el mayor porcentaje postura siendo un factor que probablemente determine la presencia de los insectos adultos y la postura de huevos de *B. cockerelli* Sulc. durante los monitoreos de la población del insecto en el cultivo pues según Cranshaw (2002) menciona que el insecto es altamente migratorio por lo que oviposita sus huevos en las plantas que inician con su desarrollo vegetativo. Además, Yang y Liu (2009) y Yang et al. (2010) menciona que las plantas hospedantes donde crecen y se alimenta los insectos de *B. cockerelli* S. influyen significativamente en los parámetros de vida de los insectos.

El factor temperatura posiblemente habría influenciado en el incremento de los huevos de *B. cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento. Cerna-Chávez et al., (2018), mencionan que de 16 a 21 °C es la temperatura la óptima para el desarrollo del insecto (oviposición, eclosión y supervivencia) logrando la multiplicar exponencial la población del insecto mientras que a

temperaturas superiores a 32 °C se reducen la población del insecto. En contraste, en San Vicente de Pusir se puede observar que la temperatura oscila entre 19 a 21°C siendo constante en todo el ciclo y óptima para el desarrollo del insecto, por esta razón la temperatura sería un factor determinante en el incremento del número de oviposturas.

#### 4.2 Número de ninfas

En el análisis de varianza como muestra la Tabla 11 para la variable número de ninfas se encontraron diferencias significativas por lo tanto existe interacción entre el factor días después de la siembra y la aplicación foliar de silicio ( $F = 3.32$ ;  $GL = 12, 1178$ ;  $p < 0.0001$ ).

**Tabla 11**

*Análisis de varianza para la variable número de ninfas con respecto a los días después de la siembra*

| Fuente Variación                  | Grados de Libertad<br>F. V | Grados de Libertad<br>Error | Valor F | Valor P |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------|---------|
| Días después de la siembra        | 4                          | 1178                        | 6.55    | <0.0001 |
| Dosis                             | 3                          | 1178                        | 251.11  | <0.0001 |
| Días después de la siembra: Dosis | 12                         | 1178                        | 3.32    | <0.0001 |

Los resultados de las pruebas de medias de Fisher al 5% indican que a los 30 días después de la siembra en la etapa de crecimiento vegetativo I el testigo presentó el valor más alto 4.9 ninfas por planta mientras que en la etapa de crecimiento vegetativo II, a los 45 días después de la siembra presentó un incremento del 0.08 ninfas por planta. De la misma forma en las etapas de floración y fructificación a los 60 y 75 días después de la siembra presentó un incremento 0.22 ninfas por planta. Finalmente presenta un incremento del 110% con respecto a la etapa de crecimiento vegetativo I siendo el valor más alto estadísticamente con 5.4 ninfas por planta en la etapa de cosecha correspondiente a los 90 días después de la siembra.

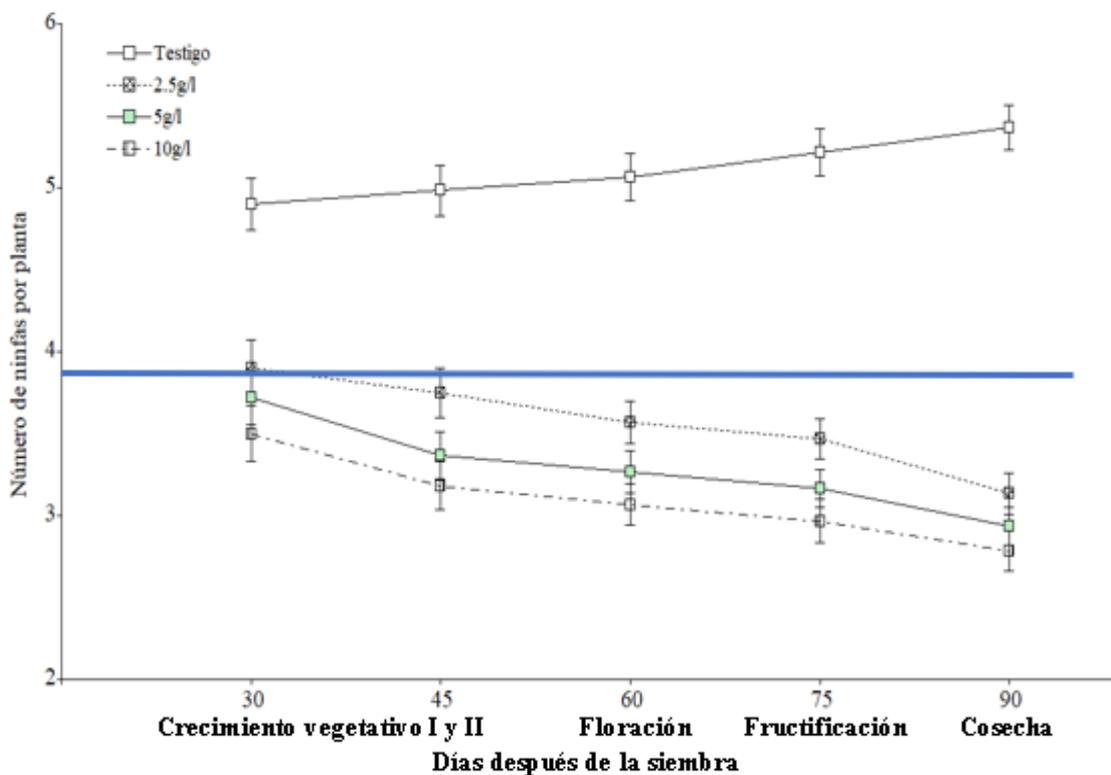
De la misma manera se puede observar que con la aplicación foliar de silicio con de las dosis d1(2.5 g/l), d2(5 g/l) y d3(10 g/l) muestra que a los 30 días después de la siembra en la etapa de crecimiento vegetativo I presentaron valores estadísticamente similares entre sí con 3.9, 3.7 y 3.5 ninfas por planta. Por otro lado, en la etapa de crecimiento vegetativo II para la dosis

d1(2.5 g/l), a los 45 dds presentó una reducción del 0.25 ninfas por planta. De la misma forma en las etapas de floración y fructificación a los 60 y 75 días después de la siembra presentó una reducción del 8.5% lo que representa 3.4 ninfas por planta.

Mientras que en la etapa de crecimiento vegetativo II con la aplicación foliar de las dosis de silicio para las dosis d2(5 g/l) y d3(10 g/l) a los 45 días después de la siembra presentó una reducción del 0.1 y 0.4 ninfas por planta siendo valores estadísticamente similares entre sí. De igual manera en las etapas de floración y fructificación a los 60 y 75 días después de la siembra presentó una reducción del 0.4 y 0.6 ninfas por planta. Finalmente, a los 90 días después de la siembra en la etapa de cosecha con la aplicación foliar de las dosis de silicio d1(2.5 g/l), d2(5 g/l) y d3(10 g/l) presentaron una reducción del 43%, 46% y 50% siendo valores estadísticamente similares entre sí con 3.1, 2.9 y 2.7 ninfas por planta respectivamente (Figura 24).

**Figura 24**

*Promedio del número de ninfas de B. cockerelli (Sulc) contabilizados en el cultivo de pimiento mediante la aplicación foliar de silicio*



La mayor población de ninfas se encontró en el testigo con 5 ninfas por planta de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en esta investigación, las cuales son suficiente para causar daños en el cultivo de pimiento como lo señalan Rubio et al., (2006) que al tener de 1 a 25 ninfas por planta ya causa síntomas en la planta.

Estudio realizado por Lewis et al., (2014) encontraron que se desarrollan a temperaturas entre 11 y 30°C de tal manera que mortalidad de ninfas es tres veces mayor que la de los huevos mientras que al desarrollarse a temperaturas de 10°C la mortalidad de los instares ninfales es dos veces mayor que la de huevos. Demostrado así que las ninfas tienen una alta tasa de mortalidad a diferencia de los huevos (Yang et al., 2010; Tran et al., 2012).

Los resultados obtenidos con la aplicación foliar de silicio con de las dosis d1(2.5 g/l), d2(5 g/l) y d3(10 g/l) se obtuvo 2 y 3 ninfas por planta respectivamente, con estos datos se podría inferir que hubo una tasa de mortalidad muy alta del 60% en los primeros instares ninfales ya que el silicio daña el aparato bucal del insecto reduciendo su alimentación y su supervivencia. Estos resultados se asemejan a lo encontrado por Ramírez et al. (2008) en el estudio realizado en el Ejido de Bermejillo, Municipio de Mapimi, Durango en el cual evaluó la eficacia de insecticidas alternativos en el control de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) donde se observó aproximadamente 4 ninfas de *B. cockerelli* (Sulc) por planta.

De manera similar en una investigación realizada por Costa et al., (2007) con la aplicación de silicio en las plantas de sorgo después de la emergencia, reduce en 89.3% la población del pulgón verde de los cereales *S. graminum*. De la misma manera Gomes et al., (2005) en el cultivo de trigo con la aplicación de silicio disminuye hasta en 80% el número de ninfas del pulgón verde de los cereales *S. graminum*.

Una vez identificado la fase más débil de la cadena de reproducción de *B. cockerelli* (huevos), se pudo realizar un manejo integrado de plagas con controles fitosanitarios efectivos y el uso del silicio con el fin de mitigar y eliminar la mayor parte de huevos presentes, por ende, el número de ninfas se redujo considerablemente en el presente ensayo.

### 4.3 Número de adultos por trampa

La Tabla 12 muestra el análisis de varianza para la variable número de insectos adultos por trampa en los conteos quincenales del psílido se encontró que existe interacción ( $p < 0.0001$ ) entre el factor días después de la siembra y las aplicaciones foliares de silicio en el ciclo de producción del pimiento.

**Tabla 12**

*Análisis de varianza para la variable número de adultos con respecto a días después de la siembra*

| Fuente Variación                  | Grados<br>Libertad<br>F.V | Grados<br>Libertad<br>Error | Valor F  | Valor P |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------|---------|
| Días después de la siembra        | 4                         | 38                          | 18687.12 | <0.0001 |
| Dosis                             | 3                         | 38                          | 1246.11  | <0.0001 |
| Días después de la siembra: Dosis | 12                        | 38                          | 116.16   | <0.0001 |

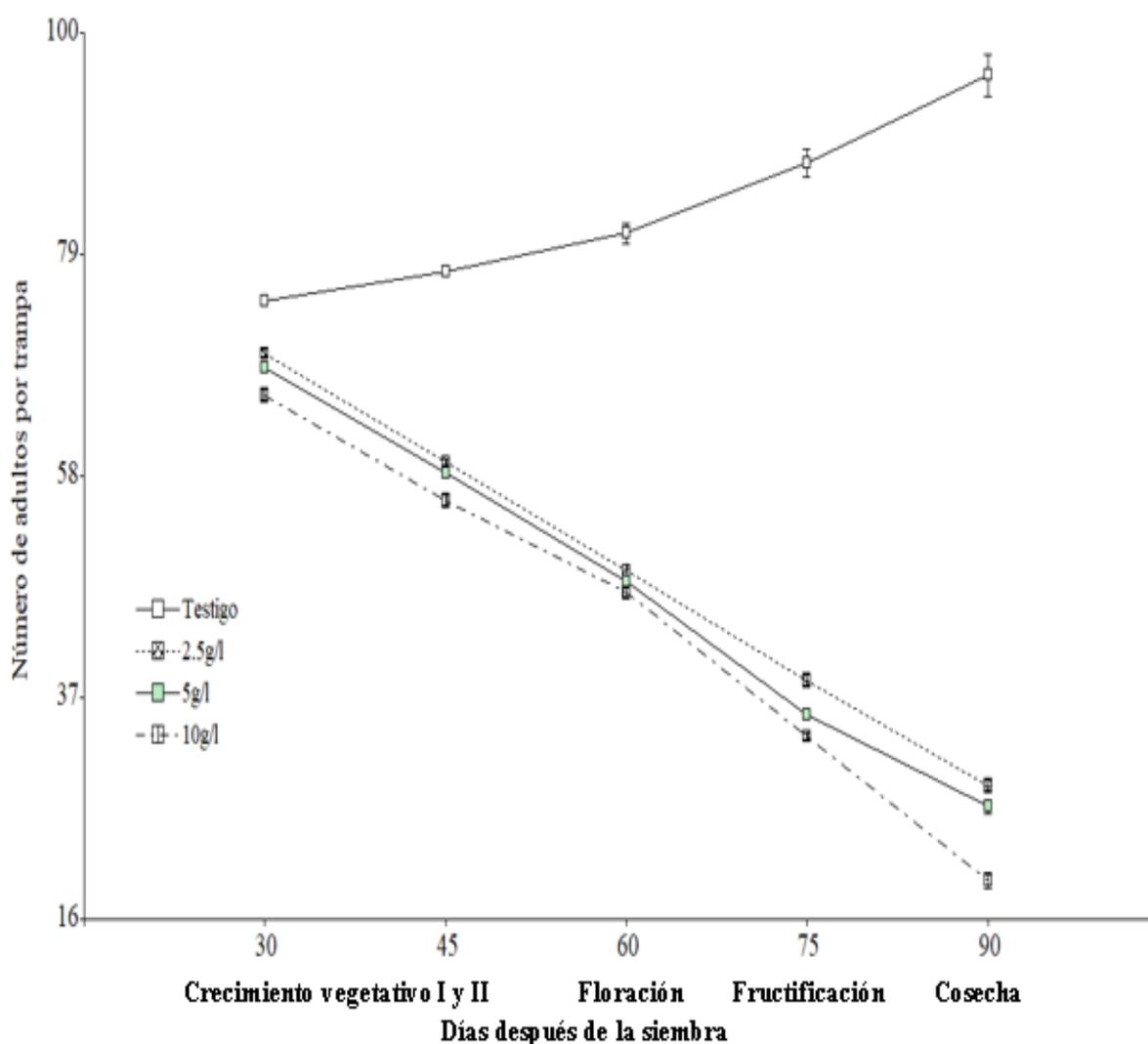
Como se muestra en la Figura 25 al establecer la prueba de Fisher al 5 %, se puede apreciar que el testigo presentó 74 insectos adultos por trampa a los 30 días después de la siembra en la etapa de crecimiento vegetativo I, a los 45 días después de la siembra para la etapa de crecimiento vegetativo II se incrementó 3 insectos adultos, posteriormente se incrementó 4 insectos a los 60 días después de la siembra en la etapa de floración, de la misma forma se incrementó 6 adultos a los 75 días después de la siembra en la etapa de fructificación y finalmente a los 90 días después de la siembra en la etapa de cosecha se tuvo 96 adultos por trampa marcando un crecimiento del 129% con respecto al crecimiento vegetativo I.

Mientras que con las aplicaciones foliares de silicio d3(10 g/l), d2(5 g/l) y d1(2.5 g/l) a los 30 días después de la siembra en la etapa de crecimiento vegetativo I presentaron 65, 68 y 69 insectos adultos por trampa, posteriormente se observó una reducción 10 insectos adultos por trampa a los 45, 60 y 75 días después de la siembra en las etapas de crecimiento vegetativo II, floración y fructificación y finalmente a los 90 días después de la siembra en la etapa de cosecha mostró una reducción considerable del 79, 72 y 70% lo que representa 19, 26 y 28 adultos por trampa con respecto al testigo. Con estos resultados se corrobora que si se cumple la hipótesis

alterna que con la aplicación del silicio se reduce las poblaciones de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.).

**Figura 25**

Promedio del número de adultos de *B. cockerelli* (Sulc) contabilizados en el cultivo de pimiento mediante la aplicación foliar de silicio



Según los resultados obtenidos el testigo (sin aplicación de silicio) muestra un incremento del 110 al 129% en la población de insectos adultos en las últimas etapas en fructificación y cosecha este aumento puede estar relacionada en la sincronización del insecto *B. cockerelli* S. con la fenología del cultivo ya que tiene preferencia por las plantas más desarrolladas

presentando coloraciones amarillentas de tal forma que atraen al insecto a movilizarse para conseguir la alimentación (Henne et al., 2012).

En la investigación realizada por Vinueza (2021) donde evaluó la dinámica poblacional de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en plantaciones de pimiento para lo cual utilizaron trampas amarillas adhesivas que fueron colocadas en el borde y centro del cultivo, los datos fueron tomados cada 15 días donde se registró la mayor cantidad de insectos adultos en la etapa de fructificación y cosecha (75 y 90 dds) con un promedio de 602 a 2064 adultos/trampa, esta fluctuación difiere con los datos registrados en la presente investigación siendo inferiores, ya que se encontró 87 a 96 insectos adultos por trampa en las etapas antes mencionada. Por otro lado, un estudio realizado por Walker et al., (2011) mencionan que en la etapa de cosecha en el cultivo de papa se registran valores que varían entre 40 a 150 adultos por trampa, siendo estos resultados superiores en un 64% a los resultados obtenidos en el presente estudio.

Los resultados obtenidos en la presente investigación con cuanto a la población de insectos adultos de *B. cockerelli* (Sulc) mostraron que con la aplicación foliar de silicio con las dosis d3(10 g/l), d2(5 g/l) y d1(2.5 g/l) alcanzaron el mayor porcentaje de mortalidad del 79, 72 y 70% en las etapas finales del cultivo de pimiento a diferencia del testigo (sin aplicación de silicio). Según Alhousari y Greger (2018) mencionan que la alta mortalidad de insectos adultos de *B. cockerelli* (Sulc) está directamente relacionada al modo de acción del silicio (Si) ya sea mecánico o físico generando así mecanismos de resistencia en las plantas en respuesta al ataque de los insectos plaga como *B. cockerelli* (Sulc) ya que tiene un aparato bucal chupador en forma de estilete que al momento de alimentarse introduce en el tejido vegetal hasta alcanzar el floema de la planta por un lado inyecta la saliva tóxica y succiona la savia de la misma.

La acumulación de silicio según Matichenkov y Calvert (2002) menciona que aumenta el sistema inmune de la planta formando una doble capa cuticular protectora de las células epidérmicas de las hojas dando rigidez estructural a las paredes celulares y provocando daños mecánicos en los insectos masticadores-chupadores impidiendo la penetración y la masticación generando un mayor desgaste irreversible en el aparato bucal afectando negativamente en el comportamiento de alimentación y la tasa de aumento de la población de *B. cockerelli* (Sulc), por lo tanto el silicio podría ser una alternativa ecológica a los pesticidas convencionales en el manejo integrado de plagas en la agricultura (Dos Santos, 2012).

Por lo tanto, se reafirma que la etapa de madurez fisiológica del cultivo es la preferida por el insecto adulto para su alimentación. El pimiento es un cultivo de ciclo corto teniendo varios ciclos de producción en un corto tiempo, lo que permite una población variable del insecto plaga. Por lo tanto, el control basado en la etiología del insecto y comportamiento alimenticio es complicado y requiere medidas adicionales (Tsagkarakis et al., 2012).

#### 4.4 Porcentaje de incidencia de *Bactericera cockerelli* (Sulc)

Los resultados del análisis de varianza de datos no paramétricos de la prueba de Friedman´s test en el porcentaje (%) de incidencia de *B. cockerelli* (Sulc) indican que si existe interacción entre los días después de la siembra y las aplicaciones foliares de silicio ( $P < 0.0001$ ), se monitoreó en cada unidad experimental cada 15 días durante el ciclo del cultivo del pimiento (Tabla 13).

**Tabla 13**

*Análisis de varianza para datos no paramétricos de la prueba de Friedman's test para el Porcentaje de incidencia de B. cockerelli (Sulc) en el cultivo de pimiento*

| T <sup>2</sup> | Valor P |
|----------------|---------|
| 7.37           | <0.0001 |

Como se muestra en la Figura 26 al establecer la prueba de Friedman al 5 %, se observó que a los 30 días después de la siembra en la etapa de crecimiento vegetativo con la aplicación foliar de silicio d3(10 g/l) presentó una incidencia de *B. cockerelli* (Sulc) del 93%, mientras que el testigo, la dosis d1(2.5 g/l) y la d2(5 g/l) no presentaron diferencias significativas con el 100% de incidencia de *B. cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento.

Mientras que a los 45 y 60 días después de la siembra en la etapa de crecimiento vegetativo II y floración respectivamente el testigo y la aplicación foliar de silicio d3(10 g/l), d2(5 g/l) y d1(2.5 g/l) no mostraron diferencias significativas mantenido el 100% de incidencia de *B. cockerelli* (Sulc).

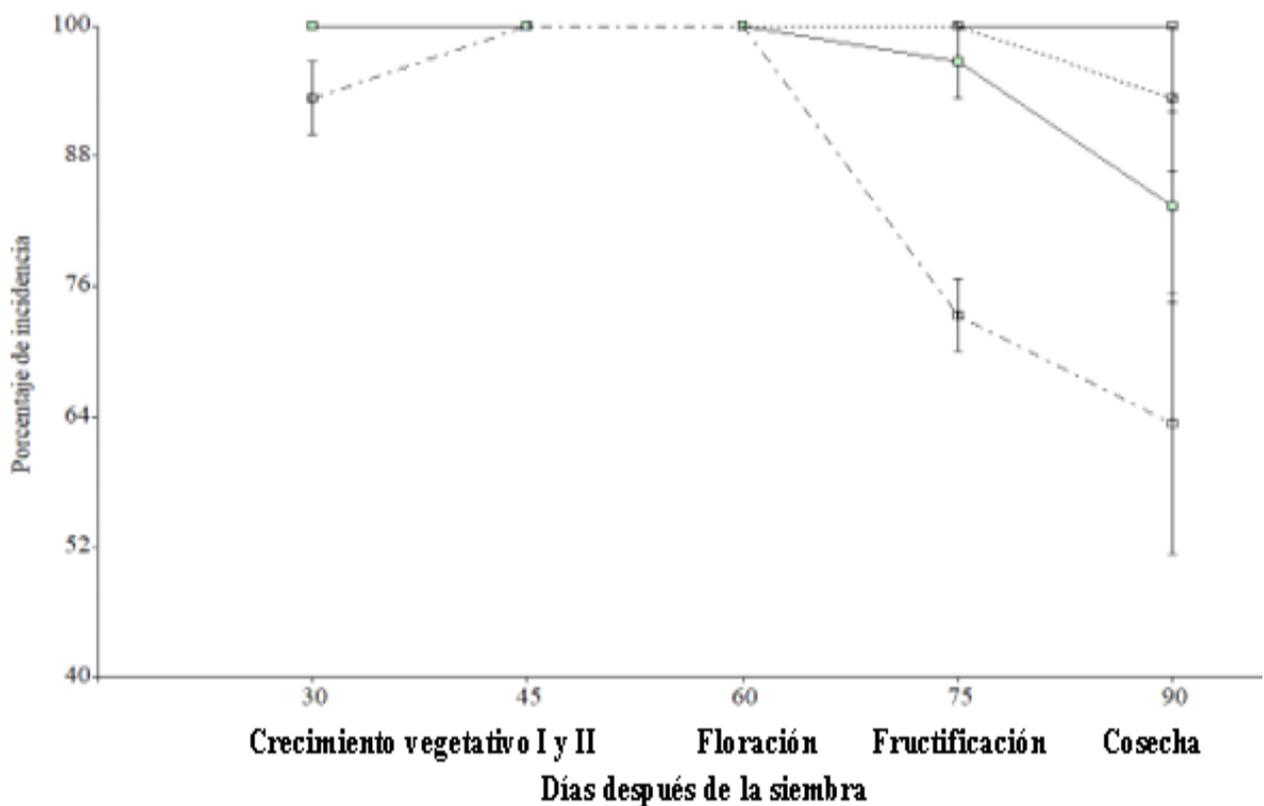
Por otro lado a los 75 días después de la siembra en la etapa de fructificación mediante la aplicación foliar de silicio con las dosis d3(10 g/l), d2(5 g/l) presentó una reducción 27 y 4% en la incidencia de *B. cockerelli* (Sulc) mientras que el testigo y la dosis d1(2.5 g/l) no

presentaron diferencias significativas mantenido el 100% de incidencia de *B. cockerelli* (Sulc).

Finalmente, se evidenció que el testigo (sin aplicación de silicio) presentó un 100% de incidencia *B. cockerelli* (Sulc) en todos los monitoreos desde los 30 días después de la siembra hasta la etapa de cosecha a los 90 días, por lo tanto en la etapa de cosecha mediante la aplicación foliar de silicio cada 15 días con la dosis d3(10 g/l) presentó una reducción del 37% siendo la más eficiente, seguido por la dosis d2(5 g/l) con 17% y por último se tiene la dosis d1(2.5 g/l) con el 7%, siendo una alternativa para el control de la incidencia de *B. cockerelli* (Sulc).

**Figura 26**

*Porcentaje de incidencia de Bactericera cockerelli (Sulc) mediante la aplicación de diferentes dosis de silicio*



El estudio realizado por (Tocagón, 2021) reportó una incidencia del 65 al 100% en las etapas de maduración y cosecha del cultivo de papa donde se evidenció la reducción en el crecimiento, enrollamiento de los bordes de las hojas apicales y amarillamiento, siendo similar con el

presente estudio donde se observó que el testigo durante el ciclo de cultivo de pimiento presentó el 100% incidencia de *B. cockerelli* (Sulc) asociándole con la transmisión de la enfermedad conocida como psílido del pimiento.

Puede explicarse según Gunes et al., (2008), que el silicio depositado en la pared celular de la epidermis foliar forma una doble capa de sílice-cutícula y sílice-celulosa que mejora el fortalecimiento y rigidez de la pared celular, aumentando la resistencia al ataque de plagas dañando su aparato bucal por ingestión, logrando disminuir la incidencia a un 37% en la presente investigación. ya que el silicio induce reacciones de defensa en la planta actuando como barrera protectora en contra del aparato bucal de la plaga.

#### 4.5 Porcentaje de severidad de *Bactericera cockerelli* (Sulc)

Los resultados del análisis de varianza se muestran en la Tabla 14 para la variable severidad de *B. cockerelli* (Sulc) indican que si existe interacción entre los días después de la siembra y las aplicaciones foliares de silicio ( $F = 12.75$ ;  $GL = 12,578$ ;  $p < 0.0001$ ) en todo el ciclo de la producción del pimiento.

**Tabla 14**

*Análisis de varianza para la variable porcentaje de severidad de Bactericera cockerelli con respecto a días después de la siembra*

| Fuente Variación                  | Grados<br>Libertad<br>F.V | Grados<br>Libertad<br>Error | Valor F | Valor P |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------|---------|
| Días después de la siembra        | 4                         | 578                         | 6.17    | <0.0001 |
| Dosis                             | 3                         | 578                         | 92.77   | <0.0001 |
| Días después de la siembra: Dosis | 12                        | 578                         | 12.75   | <0.0001 |

Los resultados de las pruebas de medias Fisher al 5 % muestran en la Figura 27 para la variable porcentaje de severidad en *B. cockerelli* (Sulc) en el cultivo de pimiento a los 30 días después de la siembra en la etapa de crecimiento vegetativo I mediante la aplicación foliar de silicio d3(10 g/l), d2(5 g/l) y d1(2.5 g/l) y el testigo no presentó diferencias significativas con 40 y 41% de severidad de *B. cockerelli* (Sulc).

Mientras que en la etapa de crecimiento vegetativo II a los 45 días después de la siembra el testigo presentó el porcentaje más alto con 45% de severidad de *B. cockerelli* (Sulc) mientras que con la aplicación foliar de silicio d3(10 g/l), d2(5 g/l) y d1(2.5 g/l) muestran una reducción del 36, 37 y 39% siendo estadísticamente similar en el porcentaje severidad de *B. cockerelli* (Sulc).

Por otro lado se evidenció que a los 60 días después de la siembra en la etapa de floración el testigo presenta una tendencia de incremento en el porcentaje de severidad de *B. cockerelli* (Sulc) con 53% mientras que con la aplicación foliar de silicio d3(10 g/l), d2(5 g/l) y d1(2.5 g/l) muestran una reducción del 25, 31 y 37% respectivamente.

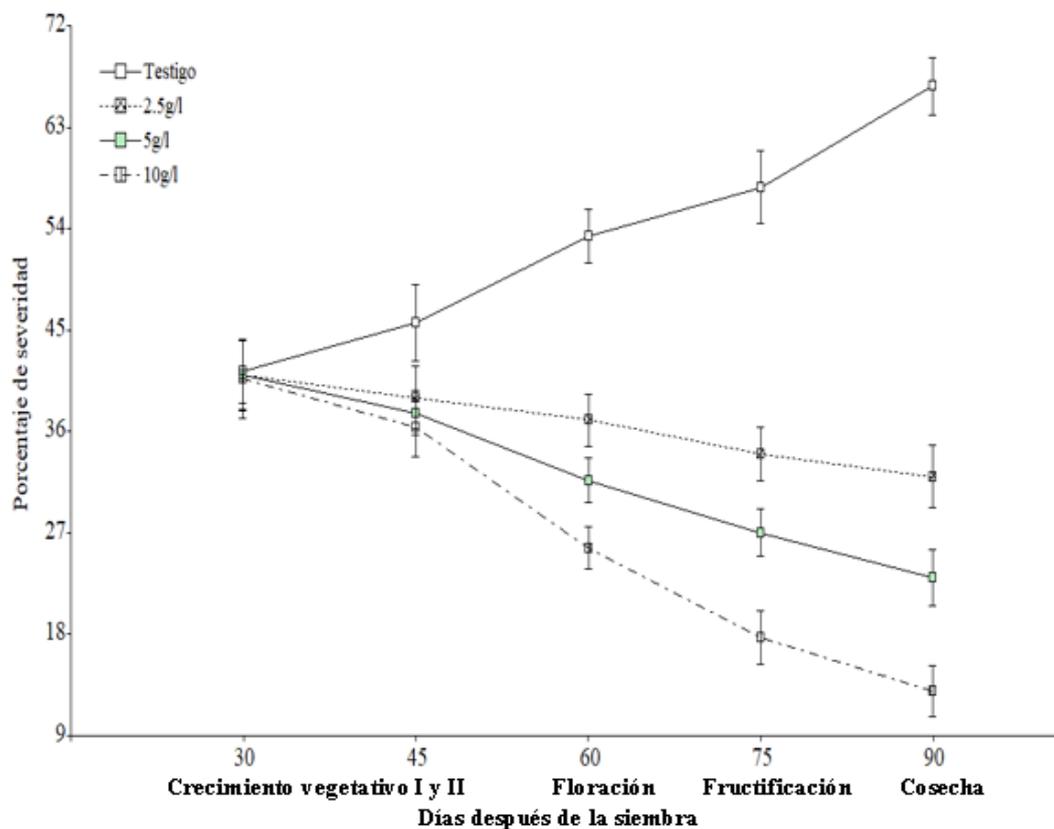
En la etapa de fructificación a los 75 días después de la siembra el testigo presenta un 57% de incremento en el porcentaje de severidad de *B. cockerelli* (Sulc) mientras que con la aplicación foliar de silicio d3(10 g/l), d2(5 g/l) y d1(2.5 g/l) muestran una reducción del 17, 27 y 34% respectivamente.

Finalmente a los 90 días después de la siembra en la etapa de cosecha el testigo presentó el 66% de severidad de *B. cockerelli* (Sulc) mostrando así una tendencia de incremento mientras que con la aplicación foliar de silicio cada 15 días con la dosis d3(10 g/l) presentó una reducción significativa del 13% siendo la mas eficiente, seguido por la dosis d2(5 g/l) con 23% y por último tenemos la dosis d1(2.5 g/l) con el 32% , siendo una alternativa para el control de la incidencia de *B. cockerelli* (Sulc) (Figura 34).

El menor porcentaje de severidad de *B. cockerelli* (Sulc) fue de 13% con la aplicación foliar de silicio con la dosis d3(10 g/l) confirmando así la capacidad del silicio de acumularse en la cuticula de los tejidos y establece una barrera mecánica frente al ataque del insecto plaga, mientras que Yanchatipan (2020) en su investigación obtuvo una severidad de *B. cockerelli* del 30 a 50% en papa. Por otro lado, en la investigación realizada por Sun et al., (2010) evaluó la aplicación de silicio en plantas de arroz donde brindan protección parcial con un índice del 33% de severidad de *Pyricularia grisea* asociadas a la enfermedad *Helminthosporium oryzae*.

**Figura 27**

*Porcentaje promedio de severidad de Bactericera cockerelli (Sulc) en el pimiento*



#### 4.6 Número de días a la Floración en el cultivo de pimiento

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza como muestra la Tabla 15 para la variable días a la floración existe diferencias significativas entre las aplicaciones foliares de silicio.

**Tabla 15**

*Número de días a la Floración del pimiento con respecto a la aplicación de las diferentes dosis de silicio*

| Dosis | Media |
|-------|-------|
| d0    | 63.00 |
| d1    | 61.00 |
| d2    | 58.00 |
| d3    | 56.00 |

Los resultados determinaron que el inicio de la floración fue temprana a los 56 días con la aplicación de la dosis d3 (10 g/l) de silicio en el cultivo de pimiento variedad Nathalie esto es

muy importante ya que a menos días a la floración la cosecha se presentará en menos días lo que permitirá a los productores adelantar sus cosechas y por consiguiente obtener un mejor precio en el mercado. Sin embargo, con la dosis d2 (5 g/l) se presentó 2 días después a los 58 días, seguido de la aplicación de la dosis d1 (2.5 g/l) de silicio la cual se presentó a los 61 es decir 5 días después con relación a la dosis d3 (10 g/l). Finalmente el testigo inicio la floración tardía a los 63 días con una diferencias de 7 días con respecto a la aplicación de la dosis d3 (10 g/l).

Según Moreno (2015) y Endara (2017) mencionan que el inicio de la floración en el cultivo de pimiento variedad Nathalie presenta la floración en promedio a los 55 y 79 días después de la siembra, información similar en la presente investigación la cual inicio la floración temprana a los 56,58 y 61 días con la aplicación del silicio con dosis de d3(10 g/l), d2(5 g/l) y d1(2.5 g/l). Además, se observa que mientras mayor sea la dosis aplicada de silicio se logra disminuir notablemente los días de floración esto se debe a que el silicio potencializa eficientemente la captación de la luz solar incrementando la tasa fotosintética y regulando la transpiración de tal manera que se ve reflejado en una buena calidad de flores y posteriormente en un buen cuajado de los frutos (Matichenkov et al., 2008). Mientras que el testigo sin aplicación de silicio el inicio de la floración es tardía a los 63 días está respuesta probablemente se atribuye a que se inhibe los procesos fisiológicos antes mencionados que genera al aplicar el silicio.

#### 4.7 Número de frutos por planta

En el análisis de varianza como muestra la Tabla 16 para la variable número de frutos por planta muestra que existe un efecto significativo entre las aplicaciones foliares de silicio ( $p < 0.0001$ ).

**Tabla 16**

*Análisis de varianza para la variable número de frutos por planta*

| Fuente de Variación | Grados libertad F.V | Grados de libertad Error | Valor F | Valor P |
|---------------------|---------------------|--------------------------|---------|---------|
| Dosis               | 3                   | 234                      | 10.58   | <0.0001 |

Los resultados de las pruebas de medias LSD Fisher 5% indican que son similares estadísticamente presentando los mayores promedios de 9.12, 8.75 y 8.58 frutos por planta con

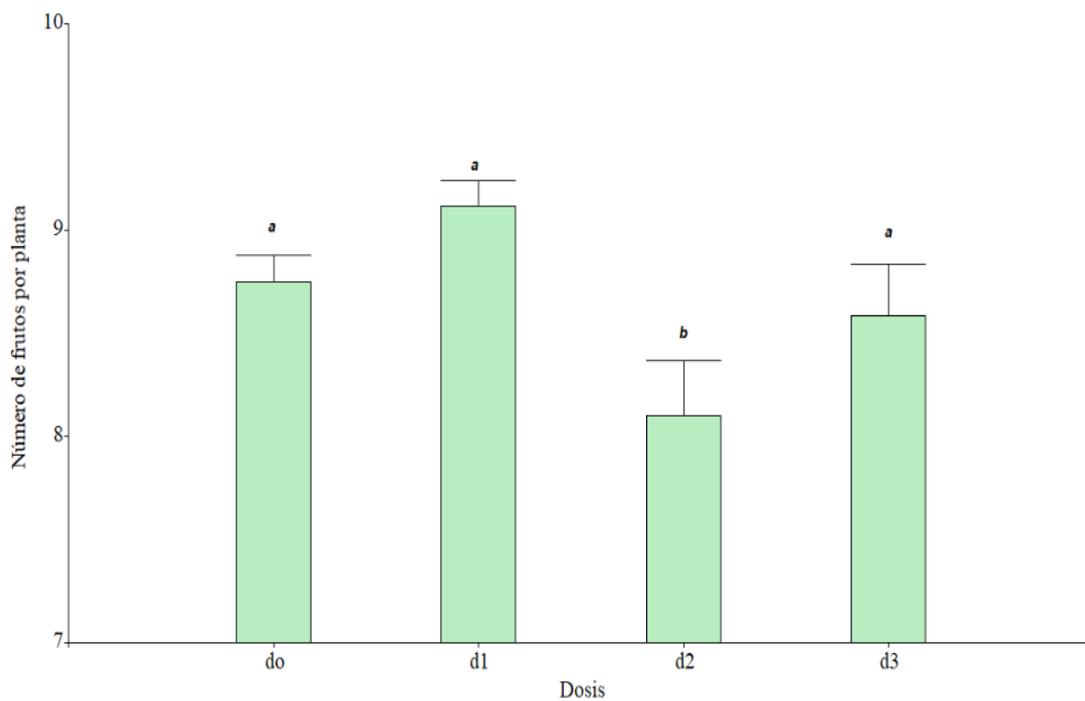
las dosis de aplicación foliar del silicio d1(2.5 g/l), d3(10 g/l) y el testigo sin aplicación, mientras que con la aplicación de la dosis d2 (5 g/l) mostró el menor número de frutos con 8.1 frutos por planta.

Para contrastar los resultados antes mencionados los comparamos con las investigaciones de respuesta agronómica realizadas por Endara (2017) que obtuvo 10 frutos por planta y Bolivar (2020) que obtuvo un promedio de 8.36 y 11.42 frutos por planta, mientras que los resultados encontrados en la presente investigación están dentro del rango con 9.12, 8.75 y 8.58 frutos por planta con las dosis de silicio aplicadas d3(10 g/l), d1(2.5 g/l) mostrando que la fertilización con silicio

Según Lu et al. (2016) evaluaron el efecto de tres fuentes de silicio en el cultivo de tomate con una concentración de 5 g/l de silicio teniendo un efecto positivo en la planta reforzando la capacidad de almacenamiento de los carbohidratos y hormonas requeridas en el crecimiento reportando que se incrementó un 35 y 23 % el número de frutos por planta siendo datos similares en la presente investigación con un incremento del 17%.

### Figura 28

*Promedio de número de frutos por planta con las diferentes dosis de aplicación foliar del silicio*



## 4.8 Longitud del fruto

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 17) para la variable longitud de fruto en el cultivo pimiento indican que existe interacción entre los días después de la siembra y las aplicaciones foliares de silicio ( $F= 6,32$ ;  $GL= 2,2223$ ;  $p< 0.0003$ ) (Tabla 18)

**Tabla 17**

*Análisis de varianza para la longitud de fruto con respecto a días después de la siembra*

| Fuente Variación                  | Grados<br>Libertad<br>F.V | Grados de<br>libertad Error | Valor F | Valor P |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------|---------|
| Días después de la siembra        | 1                         | 2223                        | 15.69   | <0.0001 |
| Dosis                             | 3                         | 2223                        | 4682.60 | <0.0001 |
| Días después de la siembra: Dosis | 3                         | 2223                        | 6.32    | 0.0003  |

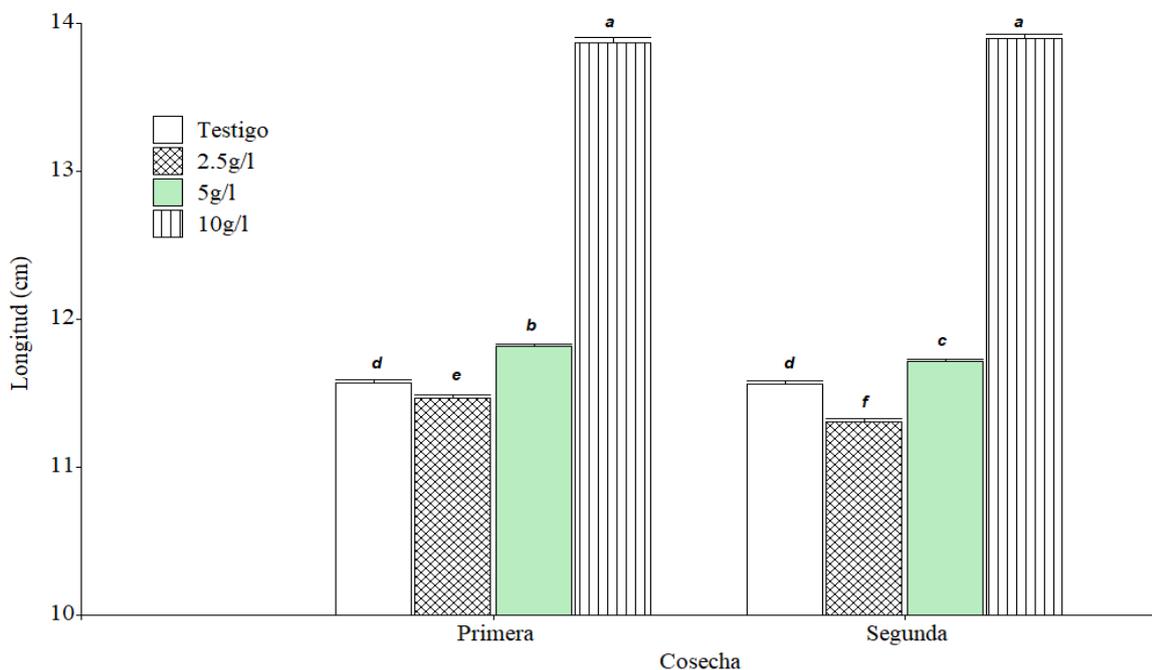
La Figura 29 muestra los resultados de las pruebas de medias Fisher 5%, indican que para la variable longitud de fruto existieron diferencias estadísticas en las dos cosechas en el cultivo pimiento. Donde se reportó que con la aplicación foliar de la dosis de silicio d3(10 g/l) se obtuvo una longitud de fruto promedio de 13.9 cm siendo superior al resto de aplicaciones de silicio y el testigo, seguido de la aplicación foliar de la dosis de silicio d2(5 g/l) y el testigo con una longitud de fruto promedio de 11.8 y 11.6 cm es decir 2.1 y 2.3 cm menos que la dosis d3(10 g/l), mientras que con la aplicación foliar de la dosis de silicio d1(2.5 g/l) se obtuvo la menor longitud de fruto en las dos cosechas con un valor promedio de 11.5 y 11,3 cm es decir 2.4 y 2.6 cm menos que la dosis de silicio d3(10 g/l).

Las diferencias estadísticas son evidentes, siendo la aplicación foliar de silicio con dosis d3(10 g/l) y d2(5 g/l) muestran un efecto positivo en la longitud de fruto ya que el silicio juega un papel importante en la capacidad de retención de agua en las células vegetales y por otra parte contribuye en la acumulación y formación de hormonas tales como auxinas, giberelinas y citoquininas (Crusciol et al., 2009).

En la investigación realizada por Arias, (2016) reporta la longitud de fruto promedio de 13.9 cm respectivamente cuyos datos obtenidos en la presente investigación están dentro del rango (11.3 y 13.9) de la longitud de fruto del cultivo de pimiento variedad Nathalie a campo abierto.

**Figura 29**

Interacción de la longitud del fruto bajo la aplicación de diferentes dosis de silicio en las dos cosechas del cultivo de pimiento.



#### 4.9 Rendimiento total en promedio

De acuerdo al análisis de varianza para la variable rendimiento total t/ha se puede apreciar que existe diferencias significativas entre las aplicaciones foliares de silicio en el cultivo de pimiento ( $F= 23673.15$ ;  $Gl=3,6$ ;  $p<0.0001$ ).

**Tabla 18**

*Análisis de varianza para la variable rendimiento (t/ha) con respecto a días después de la siembra*

| Fuente de variación | Grados de libertad<br>F.V | Grados de libertad<br>Error | Valor F  | Valor P |
|---------------------|---------------------------|-----------------------------|----------|---------|
| Dosis               | 3                         | 6                           | 23673.15 | <0.0001 |

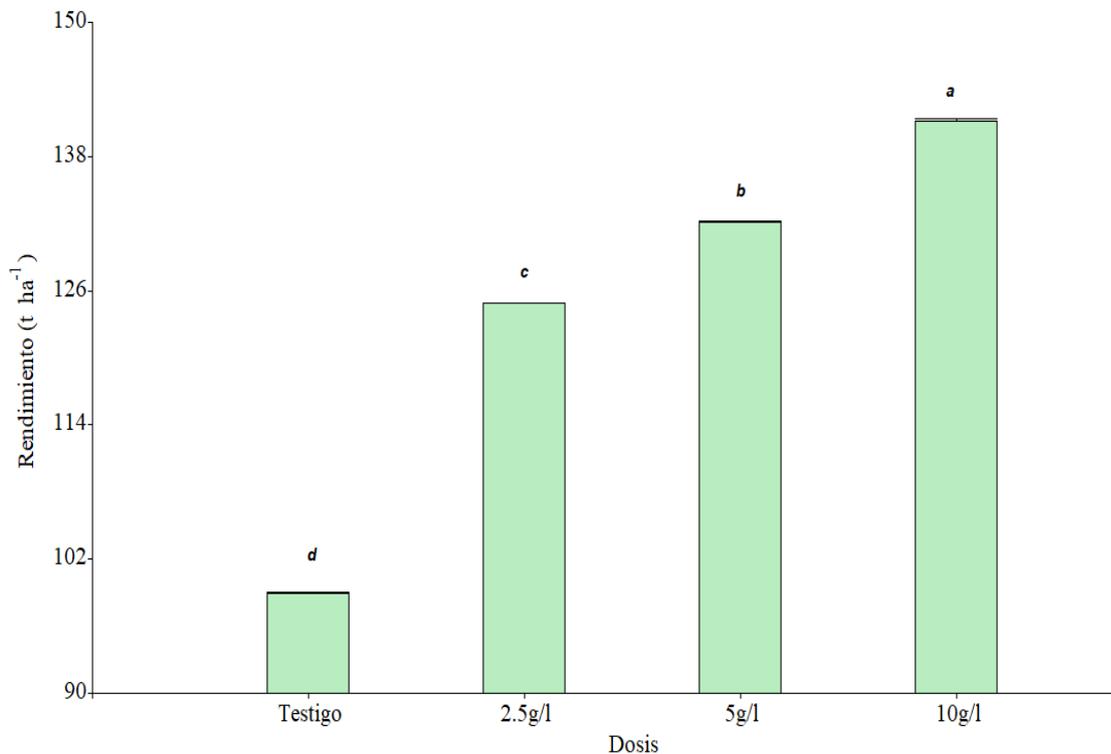
La Figura 30 muestra los resultados de las pruebas de medias de Fisher 5% indican que con aplicación foliar de silicio con la dosis d3(10 g/l) presentó el mayor rendimiento en la producción de pimiento con 141 t/ha, logrando incrementar la producción en un 43% con

respecto al testigo, seguido de la dosis d1 (2.5 g/l) y d2 (5 g/l) que presentó 124 t ha<sup>-1</sup> y 132 t/ha lo que representan un 26% y 34% más que el testigo y finalmente el testigo mostró el menor rendimiento en la producción de pimiento con 98 t/ha.

En la investigación realizada por Guato (2017) reporta rendimientos de 122.5 y 140 t/ha con manejo agronómico mientras que, en la presente investigación los rendimientos del cultivo de pimiento variedad Nathalie a campo abierto están dentro del rango del rendimiento (124,132 y 148 t/ha).

**Figura 30**

*Rendimiento en T/ha con respecto a días después de la siembra*



Los mejores rendimientos del cultivo de pimiento se alcanzaron con la aplicación foliar de silicio con la dosis d1, d2 y d3 con 124, 132 y 141 t/ha muestran un efecto positivo en el mayor número de frutos lo que se ve reflejado en los rendimientos en la cosecha del 26,34 y 43% superando al testigo. Lo anterior corrobora a lo reportado en diferentes países donde se usó fuentes de Silicio y confirma lo inferido por Matichenkov et al., (2008) el efecto beneficioso en caña de azúcar con rendimientos en la producción del 17 al 30%, este incremento se atribuye

al efecto del silicio en el sistema de la planta aumenta la tasa fotosintética, reforzando su capacidad de almacenamiento y distribución de carbohidratos requeridos en el crecimiento y desarrollo de la planta (Caraveo et al., 2013). De manera similar Quiroga, (2016) en otra investigación al evaluar diferentes dosis de silicio en el cultivo de pepino, obtuvo un rendimiento del 30%. Estos autores sostienen que a mayores dosis de aplicación de silicio el cultivo tiende a incrementar el rendimiento.

El bajo rendimiento del testigo de 98 t/ha se debe a que los estadios ninfales de *B. cockerelli* inyectan una toxina que inducen al amarillamiento pronunciado en la planta, lo que conlleva a una disminución del 10 y 100% del rendimiento al verse afectados los procesos fisiológicos y nutricionales que a su vez inciden en las características físicas de la planta como lo menciona (Guachamin, 2021).

#### 4.10 Beneficio/Costo

Con respecto al análisis beneficio costo (B/C) se hizo un análisis económico para los tratamientos con silicio en estudio (d1 (2.5 g/l), d2 (5 g/l), d3 (10 g/l) y el testigo en donde se elaboró un listado de los costos de producción en base a una hectárea (ha) y de la misma manera esta expresado en dólares estadounidenses como lo indica la Tabla 19

**Tabla 19**

*Análisis económico de cada tratamiento*

| <b>COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL PIMIENTO NATHALIE POR HA</b> |               |                 |                       |                      |
|--|---------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| <b>CONTENIDOS</b>  | <b>UNIDAD</b> | <b>CANTIDAD</b> | <b>VALOR UNITARIO</b> | <b>VALOR A PAGAR</b> |
| <b>A. COSTOS DIRECTOS</b>                                |               |                 |                       |                      |
| 1.Preparación de suelo                                   |               |                 |                       |                      |
| Arado y rastrado   | hora/ tractor | 2               | 25                    | 50                   |
| Surcado  | hora/animal   | 1               | 20                    | 20                   |
| 2.Mano de obra   |               |                 |                       |                      |
| Siembra  | jornal        | 2               | 12                    | 12                   |
| Deshierbe  | jornal        | 2               | 12                    | 12                   |
| Riego  | jornal        | 1               | 12                    | 12                   |
| Cosecha  | jornal        | 2               | 12                    | 24                   |

|   |             |     |      |      |
|---|-------------|-----|------|------|
| 3.Insumos                                   |             |     |      |      |
| Plántulas de pimiento                       | Unidad      | 600 | 0.25 | 150  |
| Fertilizante y enmienda                     | Kg          | 300 | 0.60 | 180  |
| Silicio                                     | Kg          | 476 | 2.60 | 1238 |
| Libreta de campo                            | unidad      | 1   | 1    | 1    |
| Pala  | unidad      | 1   | 8    | 8    |
| Pintura                                     | litros      | 2   | 5    | 10   |
| Trampas amarillas                           | unidad      | 60  | 0.83 | 50   |
| Cinta métrica                               | unidad      | 1   | 10   | 10   |
| Bomba fumigar                               | unidad      | 1   | 50   | 50   |
| Balanza gramera                             | unidad      | 1   | 12   | 12   |
| Microscopio celular                         | para unidad | 1   | 50   | 50   |
| <b>SUBTOTAL A</b>                           |             |     |      | 1790 |
| <b>B. COSTOS INDIRECTOS</b>                 |             |     |      |      |
| Análisis de suelo                           | unidad      | 2   | 70   | 140  |
| Análisis Foliar                             | unidad      | 4   | 80   | 320  |
| <b>SUBTOTAL B</b>                           |             |     |      | 460  |
| <b>COSTO TOTAL (SUBTOTAL A+ SUBTOTAL B)</b> |             |     |      | 2250 |

En la Tabla 20 se hace referencia los costos de los tratamientos en estudio varían, considerando las dosis para cada tratamiento, el precio y la mano de obra.

**Tabla 20**

*Costo de variables*

| <b>COSTO DE VARIABLES DE PRODUCCION DE PIMIENTO</b> |                   |                       |              |
|---|-------------------|-----------------------|--------------|
| <b>Tratamiento</b>                                  | <b>Dosis (ha)</b> | <b>Dosis (USD/ha)</b> | <b>Total</b> |
| 10 g/l  | 267               | 2.60                  | 694          |
| 5 g/l   | 133               | 2.60                  | 346          |
| 2.5 g/l   | 3.5               | 2.60                  | 67           |
| Testigo   | 0                 | 0                     | 0            |

El análisis económico se calculó en base al costo de cada tratamiento donde se puede apreciar los costos variables y fijos, rendimiento y el costo de cada kg de producción, dando como resultado el análisis beneficio para cada uno de los tratamientos como muestra la tabla 21.

**Tabla 21**

*Análisis económico de cada tratamiento*

| <b>Tratamiento</b> | <b>Rendimiento<br/>(kg/ha)</b> | <b>Total de<br/>costo que<br/>varían</b> | <b>Total de<br/>costos<br/>fijos</b> | <b>Total de<br/>costos de<br/>producción</b> | <b>Ingreso<br/>de<br/>total<br/>(USD/ha)</b> | <b>Ben/Costo<br/>(USD/ha)</b> |
|--------------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|--|--|-------------------------------|
| 10 g/l             | 141000                         | 694                                      | 2250                                 | 2944   | 11800  | 4                             |
| 5 g/l              | 132000                         | 346                                      | 2250                                 | 2596   | 10560  | 4.55                          |
| 2.5 g/l            | 124000                         | 67                                       | 2250                                 | 2317   | 9920   | 4.40                          |
| Testigo            | 98000                          | 0  | 2250                                 | 2250   | 7840   | 3.4                           |

Para expresar los valores se toma en cuenta la siguiente interpretación: si el resultado es mayor a 1 representa una ganancia, si el resultado fue igual a 1 no se consideró ni ganancia ni pérdida y si el resultado es menor a 1 se indica que se generó pérdidas (FAO, 2019).

Según los resultados del análisis se puede verificar que la dosis media y baja generan ganancias con valores de 4.55 y 4.40 USD respectivamente. Sin embargo, la dosis media y baja son las más representativa porque tiene un valor más elevado del beneficio/costo por cada dólar invertido se obtiene una ganancia de 1.15 y 1 USD. A diferencia de la dosis alta con relación al testigo hay un rango de diferencia de 0.60 USD, mientras que el testigo no generó pérdidas económicas, pero tampoco ganancias representativas.

El beneficio del óxido de silicio se ve reflejado en el porcentaje de pureza del 98%, por ser un mineral multifuncional que permite la activación de mecanismo de defensa en contra de los insectos y da inmunidad a la planta, ya que su rápida asimilación como ácido salicílico actúa en la asimilación de otros nutrientes dando efectos positivos en la sanidad de la planta (Castellanos et al., 2015).

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- La aplicación foliar de silicio que tuvo mayor efectividad fue la dosis de 10 g/l en el control del *B. cockerelli* (Sulc) reduciendo el 79% de insectos adultos. De la misma manera la población de ninfas se redujó un 50% demostrando así el efecto del silicio.
- Por otro lado, tuvo una reducción 6 y 8% en el número de oviposturas con la aplicación de silicio de 5 y 10 g/l.
- La aplicación foliar de silicio con dosis de 10 g/l fue muy eficaz al reducir la incidencia al 37% y la severidad al 13%. De la misma manera presentó la mejor respuesta para las variables días a la floración (56 días), una mayor longitud del pimiento (13,9 cm) y un mayor rendimiento del 43% más que el testigo mientras que el mayor número de frutos por planta (9) presentó la dosis de silicio de 2,5 g/l .
- Se demostró que el mejor beneficio/costo de producción de pimiento, se logra utilizando la dosis media y baja d2 (5 g/l) y d1(2.5 g/l), donde por cada dólar invertido se genera una ganancia de 1.15 y 1 dólar.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones se recomienda establecer una réplica de este estudio con variedades de importancia económica con la finalidad de corroborar la eficiencia del silicio.
- Capacitar a los agricultores de la zona sobre la importancia del uso y beneficios de la aplicación foliar del silicio en la planta para el control de la plaga *Bactericera Cockerelli* (Sulc) con el fin de tratar de mantener el equilibrio de la plaga y para reducir el número de aplicaciones de insecticidas durante el ciclo de cultivo remplazándolas por la aplicación del silicio y disminuyendo los costos de producción.

## CAPÍTULO VI

### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Montecristi-Ecuador.
- Abdullah, N. M. (2008). Life history of the Potato Psyllid *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) in Controlled Environment agriculture in Arizona. *African Journal of Agricultural Research*. 3, 060-067. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:82324940>.
- Aguayza, M. H. (2020). *Evaluación de cuatro estrategias químicas para el control del Psílido de la Papa (Bactericera cockerelli) en sus diferentes estadios del cultivo de Papa (solanum tuberosum) en la variedad Súper Chola en la Provincia de Cotopaxi*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi], Latacunga- Ecuador. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7023>.
- Aguirre, K. (2016). *ARP de semillas de pimiento (Capsicum annum L.) para la siembra originarias de Guatemala, Vietnam y Corea Del Sur*. [Tesis pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Quito. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8732>.
- Alhousari, F y Greger, M. (2018). Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. *Plants* 7(2): 1–11. <https://doi.org/10.3390/plants7020033>.
- Arias, R. (2016). *Respuesta agronómica de cultivo de pimiento (Capsicum annum) con la aplicación de abonos orgánicos foliares y edáficos*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. La Maná- Ecuador. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3548>.
- Arnaldo, P. S., Gonzalez, D., Oliveira, I., van Langevelde, F., y Wynhoff, I. (2014). Influence of host plant phenology and oviposition date on the oviposition pattern and offspring performance of the butterfly *Phengaris alcon*. *Journal of Insect Conservation*, 18(6), 1115–1122. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9721-x>.
- Barrios-Díaz, B., Arellano-Fuentes, M. E., Vázquez-Huerta, G., Manuel, Barrios-Díaz, J. (2016). Control alternativo de paratíozoa ( *Bactericera cockerelli* Sulc.) en chile serrano( *Capsicum annum* L.). *Entomología Mexicana*, 3(2014), 146–152.
- Borda, O. A., Barón, F. H y Gómez, M. I. (2007). Silicon as a beneficial element in forage oat (*Avena sativa* L.): physiological responses of growth and management. *Agronomía Colombiana*. 25(2), 273-279.
- Buchman, J. L., Sengoda, V. G., y Munyaneza, J. E. (2011). Vector Transmission Efficiency of *Liberibacter* by *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) in Zebra Chip Potato Disease: Effects of Psyllid Life Stage and Inoculation Access Period. *Journal of Economic Entomology*. 104(5), 1486–1495. <https://doi.org/10.1603/EC11123>.

- Bujanos, M. R, Garzón, T. J. A y Marín, J. A. (2015). Manejo integrado del pulgón saltador *Bactericera* (=Paratrioza) *cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) en los cultivos de solanáceas en México. (pág. 58). Corporativo Editorial Tauro S.A. de C.V.
- Burckhardt D y Lauterer P. (1997). A taxonomic reassessment of the trioziid genus *Bactericera* (Hemiptera: Psylloidea). *Journal of Natural History*.31(1), 99-153. <https://doi.org/10.1080/00222939700770081>.
- Butler, C. D y Trumble, J. T. (2012). “The Potato Psyllid, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): Life History, Relationship to Plant Diseases, and Management Strategies”. *Terrestrial Arthropod.Reviews*.5(2), 87–111.<https://doi.org/10.1163/187498312X634266>.
- Caicedo M, J., Crizón, M., Pozo, A., Cevallos, A., Simbaña, L., Rivera, L., y Arahana, V. (2015). First report of 'Candidatus *Phytoplasma aurantifolia*' (16SrII) associated with potato purple top in San Gabriel-Carchi, Ecuador. *New Disease reports*. 32, 20.<https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2015.032.020>.
- Caicedo, M. L y Chavarriga, M. (2007). Efecto de la aplicación de dosis de Silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. . *Agronomía (Manizales)*.15, 27 – 37.
- Caraveo, Felipe ; Cerdà , José M; Brossa, Ricard y Hernández Pérez, Ricardo. (2013). Incremento del potencial productivo en la caña de azúcar por aplicaciones de una nueva fuente de silicio biodisponible. *ResearchGate Tomo 1 Volumen: XIX Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA). Costa Rica*.
- Casilimas, H; Monsalve, O; Bojaca, C; Gil, R; Villagrán, E; Arias, L y Fuentes, L. (2012). *Manual de Producción de Pimentón bajo invernadero. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano*. (1 ed.). Editorial Gente Nueva.
- Castellanos González, Leónides; de Mello Prado, Renato y Silva Campos., Cid Naudi. (2015). El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas . *Cultivos Tropicales*. 36(1)., 16-24.
- Castillo C., C. (2016). *Psyllid ecology and biodiversity in the pacific Northwest. [Tesis de Doctorado, Washington State University].Department of Entomology, Washington*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2534>.
- Castillo Carrillo, C., Fu, Z y Burckhardt, D. (2019). First record of the tomato potato psyllid *Bactericera cockerelli* from South America. *Bulletin of Insectology*. 72 (1), 85-91.
- Castillo Carrillo, C., Paltrinieri, S., Bustamante, J. B., y Bertaccini, A. (2018). Detection and molecular characterization of a 16SrI-F phytoplasma in potato showing purple top disease in Ecuador. *Australasian Plant Pathology*. 47, 311–315.<https://doi.org/10.1007/s13313-018-0557-9>.
- Castillo, R y Galecio, M. (2019). Efecto del silicio orgánico en el rendimiento de maracuyá (*Passiflora edulis*), cultivada en Somate- Sullana. *Revista De Investigaciones De La Universidad Le Cordon Bleu*.6(1), 25-37. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2019v6n1.002>.
- Centro de Biociencia Agrícola Internacional. CABI. (2018). *Bactericera cockerelli* (psílido tomate /patata). *Invasive Species Compendium*.

- Centro Internacional de la Papa, CIP. (2002). *Impactos de los Plaguicidas en la producción, salud y medio ambiente en Carchi, Ecuador.*(Abya-Yala; C. Crissman, D. Yanggen, y P. Espinosa, Eds.). Quito.
- Cerna, E., Ail, C., Landeros, J., Sánchez, S., Badii, M., Aguirre, L., y Ochoa, Y. (2012). Comparación de la toxicidad y selectividad de insecticidas para la plaga *Bactericera cockerelli* y su depredador *Chrysoperla carnea*. *Agrociencia*. 46 (8), 783-793. .
- Cerna-Chávez, E., Hernández-Bautista, O., Ochoa-Fuentes, Y. M., Landeros-Flores, J., Aguirre-Uribe, L. A., y Hernández-Juárez, A. (2018). Morfometría de inmaduros y tablas de vida de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) de poblaciones del noreste de México. *Revista Colombiana de Entomología* , 44(1), 53-60.<https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6543>.
- Cranshaw, W. S. (2002). Manejo del psílido de la papa-tomate en el cultivo de la papa. *Memorias del XI Congreso Nacional de Productores de Papa. Memorias del XI Congreso Nacional de Productores de Papa.*, (págs. 46–51). León, Guanajuato, México.
- Crespo, L., Vera, J., Bravo, H., López, J., Reyna, R., Peña, A., Pinto, V y Garza, R. (2012). Distribución espacial de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (hemiptera: triozidae) en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* (Brot.)). *Agrociencia*. 46(3), 289-298.
- Crusciol, CAC; Pulz, AL; Lemos, LB; Soratto, RP y Lima, GPP. (2009). Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop Science* 49(3): 949–954. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.04.0233>.
- Deker, L. (2011). *Adaptación de cinco híbridos de pimiento (Capsicum annum L.) en la zona de Catarama, cantón Urdaneta provincia de Los Rios [Tesis Pregrado, Universidad de Guayaquil]. Facultad de Ciencias Agrarias.* <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8163>.
- Dos Santos, M. C. (2012). *Efeito de silício em características morfológicas, comportamentais e na história de vida da traça-do-tomateiro Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae).* 2012. 85 f., il. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade de Brasília.
- Endara, S. (2017). *Evaluación del rendimiento del cultivo de pimiento de pimiento (Capsicum annum L.) bajo tres niveles de fertilización química y tres distanciamientos de siembra.*[Tesis pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Espejo – Carchi. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/3218>.
- Espín, D. (2020). *Evaluación de diferentes dosis de ácido piroleñoso para el control de las principales plagas en el cultivo de pimiento (Capsicum annum L).* [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Quevedo- Ecuador . <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6022>.
- Espinoza, D. (2018). *Efecto de diferentes dosis de óxido de Magnesio (MgO) al 28% con óxido de silicio (SiO2) al 35% en la reducción del porcentaje de plantas anormales en fase de vivero de Palma aceitera (elaeis guineensis jacq) en campo Verde.* [Tesis grado ,Universidad Nacional de Ucayali], Ucayali – Perú. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4145>.

- European and Mediterranean Plant Protection Organization, EPPO. (2013). *Bactericera cockerelli*. *EPPO Bulletin*. 43(2), 202–208. <https://doi.org/10.1111/epp.12044>.
- Freeman, B. C. y Beattie, G. A. (2008). An overview of plant defenses against pathogens and herbivores. . *Plant Health Instruc*. doi: 10.1094/PHI-I-2008-0226-01.
- Furcal-Beriguete, P. (2012). *Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (Oryza sativa) var CR 4477*. Costa Rica. <https://hdl.handle.net/2238/2855>.
- Garay, C. E; Arévalos, R. R y Ortíz, W. (2013). Características Agronómicas de híbridos y variedades de pimiento. *Investigación Agraria*. 11, 5-9. <http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/32>.
- García, C; y Rodríguez, G. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa.Universidad Autónoma Indígena de México. *Ra Ximhai*.8(3), 1-10. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46125177005>.
- Gomes, F. B.; Moraes, J. C. de; Santos, C. D. dos y Goussain, M. M. (2005). esistance induction in wheat plants by silicon and aphids. . *Scientia Agricola*, vol. 62, no. 6, pp. 547-551, ISSN 0103-9016, DOI 10.1590/S0103-90162005000600006.
- Goolsby, J. A., Adamczyk, J., Bextine, B., Lin, D., Munyaneza, J. E., y Bester, G. . (2007). Development of an IPM program for management of the potato psyllid to reduce incidence of zebra chip disorder in potatoes. *Subtropical Plant Science*, 59(January 2007), 85–94. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/252750425>.
- Guachamin, C. O. (2021). *Evaluación de seis sistemas de rotación de insecticidas para el manejo de Bactericera cockerelli en la variedad de papa INIAP-Libertad*. [Tesis pregrado,Universidad Central del Ecuador], Quito-Ecuador.<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/23492>.
- Guato, M. (2017). *"Evaluación del rendimiento de tres híbridos de pimiento (Capsicum annuum L.) A las condiciones agroclimáticas de la Comunidad la Clementina ,parroquia Pelileo,cantón Pelileo, provincia Tungurahua"*[tesis pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24996>.
- Gunes, A .; Pilbeam, DJ y Coban, S. (2008). Influencia del silicio en cultivares de girasol bajo estrés por sequía, I: Crecimiento, mecanismos antioxidantes y peroxidación lipídica. En:Comunicaciones en ciencia del suelo y análisis de plantas, Nueva York. *Revista Brasileña de Desarrollo.pág. 1885-1903*. <https://doi.org/10.1080//00103620802134651>.
- Gutiérrez, J., Bloom, E., Wohleb, C., Wenninger, E., Rondon, S., Jensen, A., ... Crowder, D. (2020). Landscape structure and climate drive population dynamics of an insect vector within intensely managed agroecosystems. *Ecological Applications*, 30(5), 1–13. <https://doi.org/10.1002/eap.2109>.

- Henne, D., Workneh, F., y Rush, C. (2012). Spatial patterns and spread of potato zebra chip disease in the Texas panhandle. *d Plant Disease*, 96(7), 948–956. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-11-0805-RE>.
- Hidalgo, A. (2015). *Estudio de la aplicación de biofertilizantes orgánicos en el desarrollo agronómico del cultivo de pimiento (Capsicum annum L.) en la zona de Mocache, Ecuador durante la época seca del año 2013. Quevedo. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo].* <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/11>.
- Horner, J. D., y Abrahamson, W. G. . (1992). Influence of plant genotype and environment on oviposition preference and offspring survival in a gallmaking herbivore. *Oecologia*, 90(3), 323–332. <https://doi.org/10.1007/BF00317688>.
- Instituto Nacional Ecuatoriano de Estadísticas y Censos, INEC. (2021). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria*. Quito-Ecuador.
- La Colina Agrotecnología. (2020). Ficha técnica del silicio. Cuenca-Ecuador.
- Li QF, Ma CC y Shang QL. (2007). Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. 18, 531–536.
- Lincona, V. (2009). *Problemática de La Paratrypanoxia cockerelli (Sucl.) (Bactericera cockerilli) en el cultivo de papa y tomate. [Tesis grado, Universidad Autónoma Agraria de Antonio Narro].* Cohauila, México. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/1152>.
- Liu, D., Trumble, J. T., y Stouthamer, R. (2006). Genetic differentiation between eastern populations and recent introductions of potato psyllid (*Bactericera cockerelli*) into western North America. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 118(3), 177-183. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00383.x>.
- Lu, M., De Silva, M. P., & Fajardo, N. y. (2016.). Growth and Yield of Tomato Applied with Silicon Supplements with Varying Material Structures. . *Philippine E-Journal for Applied Research and Development* 6: 10–18.
- Martin, J. (2004). Biología, ecología e identificación de insectos vectores en cultivo de papa. *Simposio de la punta morada de la papa XXI, Semana Internacional del Parasitólogo*.
- Marxen, A., Klotzbücher, T., Jahn, R y., K. Kaiser ,VS Nguyen ,A. Schmidt ,M. Schädler y D. Vetterlein . (2016). Interaction between silicon cycling and straw decomposition in a silicon deficient rice production system. *Plant Soil*. 398, 153–163. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2645-8>.
- Matichenkov, V V y Calvert, D V. (2002). “Silicon as a beneficial element for sugar cane. *Journal American Society of Sugarcane Technologists. Habana-Cuba. Cullivos tropicales Redalyc.org, vol.22, pp. 21- 30.* Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193243640002>
- Matichenkov, V.V., Bocharnikova, E.A., Kosobryukhov, A.A y K. Ya. Biel. (2008). Mobile forms of silicon in plants. *Doklady Biological Sciences*. 418, 39–40. <https://doi.org/10.1134/S0012496608010134>.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica, MAG. (2010). SFE desarrolla Plan de Acción ante la cercanía de la Paratrioza (*Bactericera cockerelli* Sulc.). Actualidad Fitosanitaria No.45.
- Mopper, S., y Simberloff, D. (1995). Differential herbivory in an oak population: The role of plant phenology and insect performance. *Ecology*, 76(4), 1233–1241. <https://doi.org/10.2307/1940930>.
- Morales, J. (2013). *Evaluación de la producción y calidad de pimiento (Capsicum annum L.) cv "Canon" Obtenido mediante biofertilización. [Tesis postgrado, Universidad Autónoma de Querétaro]*. Santiago de Querétaro. Obtenido de <http://hdl.handle.net/123456789/1276>
- Moreno, A. (2015). *Respuesta del cultivo de pimiento (Capsicum annum L.) var. Nathalie bajo invernadero a la aplicación foliar complementaria con tres tipos de lactofermentos. [Título grado, Universidad Central del Ecuador]*. . Quito. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7073>.
- Navarrete, C. (2019). *Estudio de 3 niveles de fertilización química y su efecto en el comportamiento agronómico de 2 híbridos de pimiento (Capsicum annum L.) bajo las condiciones agroclimáticas en el cantón Ibarra. [Tesis pregrado, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador]*. Ibarra. <https://dspace.pucesi.edu.ec/handle/11010/421>.
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, OIRSA. (2015). El psílido de la papa y tomate *Bactericera* (=Paratrioza) *cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Trioziidae): ciclo biológico; la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la región del OIRSA. Mexico D.F.: Corporativo Editorial Tauro S.A de CV.
- Ouvrard, D. (2019). Psyl'list - The World Psylloidea Database. doi:doi:10.5519/0029634
- Pacheco-Cobarrubias, J., Suárez-Beltran, A., y Valenzuela-Valenzuela, J. (2014). Comportamiento regional de *Bactericera cockerelli* (SULC) (HOMOPTERA: TRIOZIDAE) en solanáceas cultivadas en el sur de Sonora. *Entomología Mexicana*, 1(1), 639–644.
- Pacheco-Cobarrubias, J., Suárez-Beltran, A., y Valenzuela-Valenzuela, J. (2014). Comportamiento regional de *Bactericera cockerelli* (SULC) (HOMOPTERA:TRIOZIDAE) en solanáceas cultivadas en el sur de Sonora. . *Entomología Mexicana*, 1(1), 639–644.
- Peña, V. (2018). *Aplicación foliar de diatomita en el control de polilla de la col (Plutella xylostella) y pulgón (Brevicoryne brassicae) en el cultivo de brócoli (Brassica oleracea L. var. Italica) cv. "Rumba". [Tesis grado, Universidad Nacional de San Agustín]*. Arequipa-Perú. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8196>.
- Pinto T, María Teresa y Alvarez, Francisco. (2018). Aspectos generales del manejo agronomico del pimiento en Chile. *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*.360. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6651>.
- Pinto, M. (2013). El cultivo del pimiento y el clima en el ecuador. Estudios e Investigaciones Meteorológicas INAMHI – Ecuador. Quito.

- Prager, S. M., Vindiola, B., Kund, G. S., Byrne, F. J., y Trumble, J. T. (2013). Considerations for the use of neonicotinoid pesticides in management of *Bactericera cockerelli* (Šulk)(Hemiptera: Triozidae). *Crop Protection*, 54, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.001>.
- Prager, S. M., y Trumble, J. T. (2018). Psyllids: Biology, Ecology, and Management. . *In Sustainable Management of Arthropod Pests of Tomato* (pp. 163–181). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802441-6.00007-3>.
- Qing, X. . (2017). Analysis of historical and current distribution of potato psyllid (*Bactericera cockerelli*) and the induced plant disease psyllid yellows , in relation to standard climate indices. University of Lethbridge.
- Quiroga, A. M. (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*. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ingenierías Programa de Ingeniería Agronómica., Bogotá.
- Ramírez, M; Santamaria, E; Mendez, J y Rios, J. (2008). Evaluación de insecticidas alternativos para el control de paratrioza (*Bactericera cockerelli* Sulc.) (Homoptera: Triozidae) en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). *Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7(1), 47-56.
- Raura, D. (2021). *Efecto de la aplicación de extractos vegetales sobre la dinámica poblacional de Bactericera cockerelli en el cultivo de papa*. [Titulo pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Quito. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/23138>.
- Raya, J y Aguirre, C. (2012). El Papel del Silicio en los Organismos y Ecosistemas. *Revista Conciencia Tecnológica*. 43, 42-46. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94424470007>.
- Rios, G. (2012). *Evaluación de la productividad del cultivo de pimiento Nathalie F1 utilizando dos densidades de plantación y tres tipos de fertilización orgánica, en la parroquia de Checa cantón Quito provincia de Pichincha*. [Titulo de pregrado, Universidad Estatal de Bolívar], Quito. <http://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/1019> .
- Rivera, R., Ramírez, J y Acosta, D. (2018). Spatial distribution of egg populations of *Bactericera cockerelli* Sulc. in the cultivation of tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta universitaria*.28(5), 24-33. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1944>.
- Rodrigues F. A., Dallagnol L. J., Duarte H. S. S y Datnoff L. E. (2015). Silicon control of foliar diseases in monocots and dicots. En *Silicon and Plant Disease*. Rodrigues F. A., Datnoff L. E. (eds.). Springer International Publishing, Switzerland (págs. 67–108.).
- Rojas, P., Rodríguez-Leyva, E., Refugio Lomeli-Flores, J y Tong-Xian Liu. (2015). Biology and life history of *Tamarixia triozae*, a parasitoid of the potato psyllid *Bactericera cockerelli*. *BioControl*. 60, 27–35. <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9625-4>.
- Rubio, O., Almeyda, I., Ireta, J., Sánchez, J., Fernández, R., Borbón, J y Cadena, M. (2006). Distribucion de la punta morada *Bactericera cockerelli* Sulc. en las principales zonas productoras de papa en México. . *Agricultura Técnica en México*, 32(2), 201-211.

- Sanchez, J. (2021). *Comportamiento morfo-agroproductivo de diferentes cultivares de pimiento (Capsicum annuum) en la parroquia la Victoria. [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Machala]*. Machala- Ecuador. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16568>.
- Santamaría, K. (2018). *Producción de tomate riñón (Lycopersicon esculentum Mill.) utilizando plántulas injertadas en palo bobo (Nicotiana glauca Graham.) como inductor de resistencia a nemátodos. [Titulo de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]*. Tungurahua. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29141>.
- Sétamou, M., Sanchez, A., Patt, J. M., Nelson, S. D., Jifon, J., y Louzada, E. S. (2012). Diurnal Patterns of Flight Activity and Effects of Light on Host Finding Behavior of the Asian Citrus Psyllid. *Journal of Insect Behavior*, 25(3), 264–276. <https://doi.org/10.1007/s10905-011-9295-3>.
- Silva, J. M. (2015.). *Evaluación de cuatro programas de fertilización foliar complementaria en la producción de tomate riñón (Solanum lycopersicum) L. var. Sheila bajo invernadero. [Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador]*. Quito. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7781>.
- Sumner Kalkun, J., Sjolund, M., Arnsdorf, M., Carnegie, M., Highet, F., Ouvrad, D., Greenslade, A., Bell, J., Sigvald, R. y Kenyo, D. (2020). A diagnostic real-time PCR assay for the rapid identification of the tomato-psyllid, *Bactericera cockerelli* (Sulc, 1990) and development of a psyllid barcoding database. *Plos One*, 15(3), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230741>.
- Sun, W., Zhang, J., Fan, Q., Xue, G., Li, Z y Liang, Y. (2010). La resistencia mejorada con silicio a la explosión del arroz se atribuye a la resistencia de defensa mediada por silicio y su papel como barrera. *Revista europea de fitopatología*, v. 128, n. 1, pág. 39-49. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9625-x>.
- Swisher, K. Henne, D y Crosslin., J. (2014). Identification of a Fourth Haplotype of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) in the United States. *Journal of Insect Science*. 14, 161. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieu023>.
- Tamborindéguy, C., Huot, O. B., Ibanez, F., y Levy, J. (2017). The influence of bacteria on multitrophic interactions among plants, psyllids, and pathogen. *Insect Science*, 24(6), 961–974. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12474>.
- Tocagón, S. (2021). *Evaluación de la Dinámica poblacional de los estadio de Bactericera cockerelli Súlc en papa (Solanum tuberosum L.) en la parroquia de San Pablo, Cantón Otavalo. [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]*. Ibarra.
- Tran, L., Worner, S., Hale, R., y Teulon, D. (2012). Estimating development rate and thermal requirements of *bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) reared on potato and tomato by using linear and nonlinear models. *Environmental Entomology*, 41(5), 1190–1198. <https://doi.org/10.1603/EN12124>.
- Tsagkarakis, A. E., Rogers, M. E., y Spann, T. M. (2012). Applications of plant growth regulators to container-grown citrus trees affect the biology and behavior of the Asian citrus psyllid.

- Valencia, B. (2020). *Comportamiento de los macronutrientes (nitrogeno, fosforo, potasio, N, P, K) en forma de drench y edafica en dos tipos de siembra en el cultivo de pimiento (Capsicum annum L.). [Tesis pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]*.
- Vallejo, J. (2013). *Elaboracion de un manual guía técnico práctico del manejo de hortalizas de mayr importancia socioeconómica de la region interandina. [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]*. Quito. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2037>.
- Van Asch, M., Julkunen-Tiito, R., y Visser, M. E. (2010). Maternal effects in an insect herbivore as a mechanism to adapt to host plant phenology. *Functional Ecology*, 24(5), 1103–1109. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01734.x>.
- Velásquez, R., y Reveles, R. (2015). Infestación natural de *Bactericera cockerelli* Sulc. en colectas de chile para secado Ancho y Mirasol en Zacatecas, México. *Journal of Environmental and Agroecological Sciences*, 15, 57–61.
- Villanueva, O. (2015). *"Caracterización molecular del receptor de la vitelegenia en Bactericera cockerelli [Sulc 1909] (Hemiptera: Triozidae). [Tesis Doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León], México.* <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/9183>.
- Villegas, F., Díaz, O., Casas, S., Moreal, C., Tamayo, F y Aguilar, S. (2017). Activity of two entomopathogenic fungi, molecularly identified, on bactericera cockerelli. *Revista Colombiana de Entomología*. 43(1), 27-33. <https://doi.org/10.25100/socolen.v43i1.6643>.
- Villota, J. (2014). *Comportamiento agronómico de dos híbridos de pimiento (Capsicum annum L.) con tres niveles de nitrógeno. [Tesis pregrado, Universidad de Guayaquil].* Guayaquil-Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/6533>.
- Wallis, R. L. (1955). Ecological studies on the potato psyllid as a pest of potatoes. *Technical Bulletin United States Department of Agriculture*. 1107, 1-25.
- Wenninger, E., Carroll, A., Dahan, J., Karasev, A., Thornton, M., Miller, J., Nolte, P., Olsen, N y Price, W. (2017). Phenology of the Potato Psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae), and “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” in Commercial Fields in Idaho. *Environmental Entomology*. 46(6), 1179–1188. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx158>.
- Xiang-Bing, Yang y Tong-Xian, Liu. (2009). Life History and Life Tables of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) on Eggplant and Bell Pepper. *Environmental Entomology*. 38(6), 1661-1667. <https://doi.org/10.1603/022.038.0619>.
- Yanchatipan, D. (2020). *Monitoreo del Psílido bactericera cockerelli en el Cultivo de Papa (solanum tuberosum l.) en el Campus CEASA de la Universidad Técnica de Cotopaxi – Salache.* Latacunga- Ecuador. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7047>.

- Yang, X.-B., Zhang, Y. M., Henne, D. C., y Liu, T. X. (2013). Life tables of bactericera cockerelli (Hemiptera: Triozidae) on tomato under laboratory and field conditions in Southern Texas. *Florida Entomologist*, 96(3), 904–913.<https://doi.org/10.1653/024.096.0326>.
- Yang, X.-B., Zhang, Y. M., Hua, L., y Liu, T. X. . (2010). Life history and life tables of Bactericera cockerelli (Hemiptera: Psyllidae) on potato under laboratory and field conditions in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *Journal of Economic Entomology*,103(5), 1729–1734. <https://doi.org/10.1603/EC10083>.

## CAPÍTULO VII

### 7. ANEXOS

#### *Anexo 1 Elección del terreno*



#### *Anexo 2 Muestreo del suelo*



*Anexo 3 Preparación del suelo*



*Anexo 4 Delimitación de las parcelas*



*Anexo 5 Aplicación de enmiendas*



*Anexo 6 Surcada con tracción animal*



*Anexo 7 Siembra de plántulas de pimiento*



*Anexo 8 Fertilización química*



## Anexo 9 Resultados de análisis de suelo

### RESULTADOS

Código Agrarprojekt: IND-241020

Pág 2/2

| INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS               |   |
|---|---|
| Tipo de Muestra:                          | Suelo                                     |
| Cultivo:                                  | Pimiento                                  |
| Número de Muestra:                        | # 1                                       |
| Información Proporcionada por el Cliente: | Lote Sr. Jimmy Calderón, Muestra de Suelo |

Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

| Análisis                  | Unidades  | *Método de Extracción | *Niveles Óptimos para Pimiento - Cultivo Intensivo | Resultado                            |  |
|---------------------------|---|-----------------------|--|--------------------------------------|--|
| Características del Suelo | Materia Orgánica                                | %                     | -  | 3 - 12                               | 4.7                                    |
|                           | Textura   | -                     | -  | "arena franca" hasta "franca limosa" | franca                                 |
|                           | Fracción de Partículas                          | %                     | -  | -                                    | Arena: 38 %, Limo: 50 %, Arcilla: 12 % |
|                           | % de Saturación de Bases                        | %                     | -  | > 65                                 | 56 % [Calificación: moderado en bases] |
|                           | Distribución de las Bases en el % de Saturación | %                     | -  | -                                    | Ca: 35 %, Mg: 15 %, K: 4 %, Na: 2 %    |
|                           | Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC        | meq/100g              | -  | > 15                                 | 13.2                                   |
|                           | Acidez Intercambiable                           | meq/100g              | -  | < 0.5                                | 0.19                                   |
|                           | Aluminio Intercambiable                         | meq/100g              | -  | < 0.3                                | < 0.05                                 |
|                           | Conductividad (CE)                              | mS/cm                 | Vol. 1:2   | 0.5 - 1.0                            | 0.36                                   |
|                           | pH (en H <sub>2</sub> O)                        | -                     | Vol. 1:2   | -                                    | 7.8                                    |
| pH (en KCl)               | -   | Vol. 1:2              | 5.4 - 6.8  | 6.9                                  |  |
| Macronutrientes           | Nitrato [NO <sub>3</sub> -N]                    | mg/kg                 | Extracto Agua                                      | -                                    | 27.7                                   |
|                           | Amonio [NH <sub>4</sub> -N]                     | mg/kg                 | NaCl 0.05 M  | -                                    | 2.4                                    |
|                           | [NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> ]-N           | mg/kg                 | -  | 30 - 50                              | 30.1                                   |
|                           | Fósforo [P]                                     | mg/kg                 | NaHCO <sub>3</sub> 0.5M                            | 25 - 40                              | 67.2                                   |
|                           | Potasio [K]                                     | mg/kg                 | NaCl 0.05 M  | 120 - 260                            | 187                                    |
|                           | Magnesio [Mg]                                   | mg/kg                 | NaCl 0.05 M  | 40 - 120                             | 178                                    |
|                           | Calcio [Ca]                                     | mg/kg                 | NaCl 0.05 M  | 400 - 1000                           | 377                                    |
|                           | Azufre [SO <sub>4</sub> -S]                     | mg/kg                 | Extracto Agua                                      | 10 - 15                              | 8.0                                    |
| Micronutrientes           | Hierro [Fe]                                     | mg/kg                 | DTPA/CaCl <sub>2</sub>                             | 25 - 50                              | 51.5                                   |
|                           | Manganeso [Mn]                                  | mg/kg                 | DTPA/CaCl <sub>2</sub>                             | 6 - 30                               | 26.4                                   |
|                           | Cobre [Cu]                                      | mg/kg                 | DTPA/CaCl <sub>2</sub>                             | 1.0 - 4.0                            | 5.3                                    |
|                           | Zinc [Zn]                                       | mg/kg                 | DTPA/CaCl <sub>2</sub>                             | 1.2 - 6.0                            | 6.9                                    |
|                           | Boro [B]  | mg/kg                 | Extracto Agua                                      | 0.15 - 0.60                          | 0.55                                   |
|                           | Silicio [Si]                                    | mg/kg                 | Extracto Agua                                      | -                                    | 51.8                                   |
| Peligros de Salinidad     | Sodio [Na]                                      | mg/kg                 | Extracto Agua                                      | < 140                                | 36.8                                   |
|                           | Cloruro [Cl <sup>-</sup> ]                      | mg/kg                 | Extracto Agua                                      | < 210                                | 29.0                                   |
|                           | Sales Totales                                   | mg/kg                 | Extracto Agua                                      | < 2000                               | 298                                    |

\* Fuente: Soil Science Society of America Inc. (Ed.). 2001. Methods of Soil Analysis. 1390 pp.

-- No Aplica

**Nota:** - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.  
 - La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.  
 - El laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.  
 - Prohibida la reproducción total o parcial de los resultados. No procede copia.



Agrarprojekt S.A.  
 Dr. Karl Sponagel  
 Director del Laboratorio



**Anexo 11 Plantilla de datos del monitoreo de *Bactericera cockerelli* (Sulc)**

| Monitoreo de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc) |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
|---|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------------------------|-----------------------------|----------|
| Fecha de evaluación                               |                         |        |        |        |        |        | Días desde el inicio del monitoreo  |                             |          |
| Planta<br>Número                                  | Número de Ninfas/planta |        |        |        |        |        | Número de<br>huevos/<br>planta/5min | Síntomas de punta<br>Morada |          |
|   | Hoja 1                  | Hoja 2 | Hoja 3 | Hoja 4 | Hoja 5 | Hoja 6 |                                     | Presencia                   | Ausencia |
| 1   |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 2   |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 3   |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 4   |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 5   |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 6   |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 7   |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 8   |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 9   |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 10  |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 11  |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 12  |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 13  |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 14  |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 15  |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 16  |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 17  |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 18  |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 19  |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |
| 20  |                         |        |        |        |        |        |                                     |                             |          |

**Observaciones:**

Anexo 12 Datos del monitoreo de *Bactericera cockerelli* (Sulc)

| Monitoreo de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc) |                         |        |            |        |        |                                    |                              |                          |          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|-------------------------|--------|------------|--------|--------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fecha de evaluación                               |                         |        | 12-01-2021 |        |        | Días desde el inicio del monitoreo |                              |                          | 30 días  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Planta Número                                     | Número de Ninfas/planta |        |            |        |        |                                    | Número de huevos/planta/5min | Síntomas de punta Morada |          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | Hoja 1                  | Hoja 2 | Hoja 3     | Hoja 4 | Hoja 5 | Hoja 6                             |                              | Presencia                | Ausencia |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 1   | 1                       | 2      | 2          | 1      | 1      | 2                                  | 2                            | 1                        | 2        | 1 | 2 | 1 | ✓ |   |   |   | X | X |   |
| 2   | 2                       |        | 1          | 1      | 2      | 1                                  | 2                            | 2                        | 2        | 1 | 2 | 1 | 2 | ✓ | ✓ | ✓ |   |   |   |
| 3   |                         | 1      | 1          |        | 2      | 1                                  |                              | 2                        | 2        |   | 1 |   | 1 |   | ✓ |   | X | X |   |
| 4   |                         | 2      | 1          | 2      |        |                                    | 2                            | 1                        | 2        |   | 1 | 2 | 1 | ✓ | ✓ |   | X |   |   |
| 5   |                         | 2      | 1          |        |        | 2                                  |                              | 2                        | 1        | 2 |   |   | 1 |   | ✓ |   | X | X |   |
| 6   |                         | 1      | 2          |        |        | 2                                  | 2                            | 1                        | 2        |   | 1 | 2 | 1 | 2 | ✓ | ✓ |   | X |   |
| 7   |                         | 2      | 1          |        |        | 1                                  | 2                            |                          | 1        | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | ✓ | ✓ | ✓ |   |
| 8   |                         | 1      | 1          |        | 1      | 1                                  |                              |                          | 2        | 1 |   |   | 2 | 1 | ✓ | ✓ |   | X |   |
| 9   | 2                       | 1      |            | 2      | 1      |                                    | 2                            |                          | 1        | 1 | 1 |   | 2 |   | ✓ |   | X | X |   |
| 10  |                         | 2      | 1          | 1      |        | 1                                  | 2                            | 2                        |          | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | ✓ | ✓ |   | X |   |
| 11  | 1                       |        |            | 1      | 2      | 1                                  |                              | 2                        | 1        |   |   | 2 | 1 |   | ✓ |   |   | X | X |
| 12  |                         | 2      | 1          | 2      | 2      | 2                                  |                              |                          | 2        | 2 |   |   | 1 |   | ✓ |   | X | X |   |
| 13  |                         | 1      | 2          |        |        | 1                                  |                              | 2                        | 2        | 1 |   | 1 | 2 | 1 | 1 | ✓ | ✓ |   | X |
| 14  | 1                       | 1      | 2          | 2      | 2      | 2                                  |                              |                          |          | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | ✓ | ✓ |   |   | X |
| 15  |                         | 2      | 1          | 1      |        | 1                                  | 2                            |                          | 2        | 2 | 2 | 1 |   | 1 |   | ✓ |   | X | X |
| 16  |                         |        | 2          | 1      |        | 2                                  |                              | 2                        | 1        |   |   | 1 | 1 | 1 | ✓ | ✓ |   |   | X |
| 17  | 2                       |        | 1          | 1      |        | 1                                  |                              |                          | 2        |   | 2 | 2 | 1 |   | ✓ |   |   | X | X |
| 18  |                         | 1      | 1          | 1      |        | 1                                  | 2                            | 2                        | 1        |   |   | 2 |   | 2 | 1 | ✓ | ✓ | X |   |
| 19  |                         | 2      | 1          | 2      | 2      |                                    | 2                            | 2                        | 1        | 1 | 1 | 2 | 1 |   | ✓ |   |   | X | X |
| 20  | 2                       |        | 1          | 1      | 1      | 2                                  | 1                            | 1                        | 1        |   |   | 2 | 1 | 2 | 1 | ✓ | ✓ |   | X |

Observaciones B1 N1 = 87 Ninfas 3, 4, 5 instar. <sup>16</sup> <sup>13</sup> <sup>11</sup> 50 gr / 20 L H<sub>2</sub>O. silicio

B2 N1 = 87

B3 N1 = 78

*Anexo 13 Riego*



*Anexo 14 Colocación de trampas amarillas*



*Anexo 15 Aplicación de silicio*



*Anexo 16 Conteo de B. cockerelli*



*Anexo 17 Instares de B. cockerelli*



*Anexo 18 Cosecha*

