

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



## FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

### CARRERA DE AGROPECUARIA

**Tema:** "Evaluación del efecto de la biofumigación con brasicáceas incorporadas al suelo a diferentes profundidades en la prevención de Sarna polvosa (*Spongospora subterranea f. sp. subterranea*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum l.*) variedad super chola en la provincia del Carchi"

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del  
título de Ingeniera en Agropecuaria

AUTORA: Caluguillin Toapanta Kimberly Naomi

TUTOR: Ing. Herrera Ramirez Carlos David MSc

Tulcán, 2025.

## CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la estudiante Caluguillin Toapanta Kimberly Naomi con el número de cédula 1728849827 ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación del efecto de la biofumigación con brassicáceas incorporadas al suelo a diferentes profundidades en la prevención de Sarna polvosa (*Spongospora subterranea f. sp. subterranea*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad super chola en la provincia del Carchi"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en la Codificación del Reglamento de Régimen Académico y de Estudiantes de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

---

Ing. Herrera Ramirez Carlos David Msc

**TUTOR**

Tulcán, noviembre de 2025

## AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniera en la Carrera de agropecuaria de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Caluguillin Toapanta Kimberly Naomi con cédula de identidad número 1728849827 declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



---

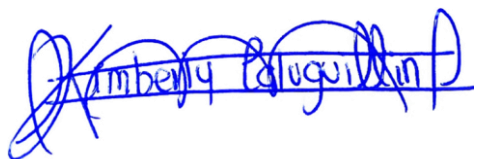
Caluguillin Toapanta Kimberly Naomi

**AUTORA**

Tulcán, noviembre de 2025

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Caluguillin Toapanta Kimberly Naomi declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación del efecto de la biofumigación con brasicáceas incorporadas al suelo a diferentes profundidades en la prevención de Sarna polvosa (*Spongospora subterranea f. sp. subterranea*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad super chola en la provincia del Carchi" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



---

Caluguillin Toapanta Kimberly Naomi

**AUTORA**

Tulcán, noviembre de 2025

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco con todo mi amor a mi querido Dios, por haberme concedido la vida, salud y el entendimiento a lo largo de este proceso. Sin su ayuda, nada de esto hubiera sido posible.

A mi padre, Marcelo Caluguillin, que ahora me cuida desde el cielo, y que partió con la confianza de verme convertida en una profesional. Durante toda mi etapa universitaria, su recuerdo fue mi mayor impulso, mi fuerza silenciosa y mi motivación constante para seguir adelante y cumplir con esta meta.

A mi amada madre Silvia Toapanta, por todo su amor incondicional y el apoyo permanente. Gracias a su esfuerzo y sacrificio, hoy culminó uno de nuestros logros. Gracias por creer en mí a pesar de las dificultades que hemos vivido en el camino.

A mi hermana Evelin, quien fue un pilar fundamental durante todos estos años. Siendo mi mejor amiga, que con su apoyo y sus consejos siempre me lleno de fortaleza en los momentos más difíciles. Gracias por estar a mi lado y por darme un voto de confianza. A mis hermanos Jairo y Lucero, gracias por su apoyo y amor en cada etapa de mi vida, sus palabras de apoyo me motivaron para que esta meta hoy sea una realidad, y a mi sobrina Dayra, por ser mi aliada incondicional, que, con sus palabras, al saber que soy su inspiración, me ha dado fuerzas para ser una mejor persona y estudiante en todo mi proceso. Gracias por verme como un modelo a seguir, ahora puedo decir que lo logré gracias a ustedes.

A mi tutor, Msc. David Herrera, por su gran dedicación, paciencia y compromiso. Gracias por brindarme su conocimiento, su tiempo y sobre todo su confianza. Su guía fue muy importante para terminar mi investigación.

A la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, por haberme brindado todas las herramientas necesarias para mi crecimiento académico y personal. Gracias por ser el espacio donde pude construir mi conocimiento, forjar mi carácter y alcanzar esta meta que marca el inicio de una nueva etapa en mi vida.

Kimberly Naomi Caluguillin Toapanta

## DEDICATORIA

Dedico mi logro a las personas que más amo, aquellas que estuvieron conmigo de cerca o de lejos, viendo mi esfuerzo constante para obtener mi título universitario.

Principalmente, le dedico mi investigación a Dios, por haber cuidado de mí en todo momento, por darme la fortaleza necesaria para no rendirme, aun cuando las circunstancias parecían difíciles.

A mi padre, que partió con la certeza de verme convertida en profesional, sé que siempre estuviste conmigo, acompañándome en cada paso, como me lo prometiste, nunca me sentí sola, fuiste mi motivo para seguir adelante a pesar de todos los obstáculos, por eso este logro también te pertenece y te lo dedico hasta el cielo. Lo logramos, papi.

A mi madre y mis hermanos, que siempre confiaron en mí, que gracias a su sacrificio pude culminar mis estudios y, a pesar de todas las situaciones difíciles que pasamos como familia, logramos culminar una meta más. Esto se los dedico a ustedes, a mi pequeña familia, que fueron mi fuerza para mantenerme de pie y seguir adelante.

A toda mi familia querida, por cada palabra de aliento, por celebrar cada pequeño avance como si fuera el más grande triunfo. Su confianza en mí fue un pilar en los momentos de duda, y su cariño me dio fuerzas para continuar.

Y a mis gatitos Jhon, Rainer y Nilufer, que en los momentos más duros fueron mi consuelo silencioso, mis compañeros fieles. Su presencia, aunque pequeña para el mundo, fue enorme para mí. Ustedes también fueron parte de este proceso, y por eso los llevo en esta dedicatoria con todo mi amor.

Kimberly Naomi Caluguillin Toapanta

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	13
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	14
<b>I. EL PROBLEMA</b> .....	15
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	15
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	16
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	17
<b>1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	18
1.4.1. Objetivo General .....	18
1.4.2. Objetivos Específicos .....	18
1.4.3. Preguntas de Investigación .....	18
<b>II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	19
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	19
<b>2.2. MARCO TEÓRICO</b> .....	22
2.2.1 Cultivo de la papa .....	22
2.2.2 La planta .....	22
2.2.3 Clasificación Taxonómica.....	22
2.2.4 Descripción botánica.....	23
2.2.5 Condiciones Edafoclimáticas.....	24
2.2.6 Manejo agronómico del cultivo de papa .....	25
2.2.7 Prácticas Culturales .....	26
2.2.8 Enfermedades causadas por hongos y protistas del suelo.....	28
2.2.9 Sarna polvosa.....	29
2.2.10 Biofumigación con brasicáceas.....	32

2.2.11 Producto químico para desinfección del suelo.....	33
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO .....</b>	<b>35</b>
3.1.1. Enfoque .....	35
3.1.2. Tipo de Investigación.....	35
<b>3.2. HIPÓTESIS .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>36</b>
3.3.1 Variable independiente.....	36
3.3.2 Variable dependiente.....	36
<b>3.4. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES .....</b>	<b>37</b>
<b>3.5 FACTOR DE ESTUDIO .....</b>	<b>40</b>
3.5.1 Tratamientos.....	40
3.5.2 Características del experimento .....	41
3.5.3 Distribución en campo de la unidad experimental.....	42
3.5.4 Población y muestra de la investigación .....	42
<b>3.6 VARIABLES DEPENDIENTES O DE MEDICIÓN .....</b>	<b>44</b>
3.6.1 Altura de planta en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.).....	44
3.6.2 Presencia de tallos principales en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....	44
3.6.3 Calibre de los tallos en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.).....	44
3.6.4 Incidencia en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....	44
3.6.5 Severidad de sarna polvosa en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....	45
3.6.6 Rendimiento en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....	45
3.6.7 Costo/beneficio en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....	45
<b>3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>46</b>
3.7.1 Análisis de varianza .....	46
<b>3.8. MÉTODOS UTILIZADOS .....</b>	<b>46</b>

3.8.1 Método de biofumigación con brassicas .....	46
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>48</b>
<b>4.1. RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
4.1.1 Altura de planta en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum L.</i> ) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas.....	48
4.1.2 Presencia de tallos principales en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum L.</i> ) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas.....	50
4.1.3 Calibre de tallo en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum L.</i> ) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas.....	51
4.1.4 Severidad de <i>Spongospora subterranea</i> f. sp. <i>subterranea</i> a nivel del tubérculo de papa ( <i>Solanum tuberosum L.</i> ) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas.....	52
4.1.5 Rendimiento en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum L.</i> ) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas.....	54
4.1.6 Costo/beneficio en el cultivo de papa ( <i>Solanum Tuberosum L.</i> ) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas.....	57
<b>4.2. DISCUSIÓN .....</b>	<b>58</b>
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>
<b>VII. ANEXOS.....</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía .....	22
Tabla 2. Enfermedades fúngicas de la papa .....	28
Tabla 3. Operacionalización de las variables.....	37
Tabla 4. Descripción de tratamientos.....	41
Tabla 5. Características del experimento .....	41
Tabla 6. Fuentes de variación .....	46

Tabla 7. Análisis de varianza para la variable altura de planta en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas. ....	48
Tabla 8. Prueba de Tukey al 5% para la variable altura de planta en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas.....	49
Tabla 9. Prueba de tukey al 5% para las brasicáceas utilizadas en la biofumigación sobre la altura de planta en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.). ....	49
Tabla 10. Análisis de varianza para la variable presencia de tallos principales en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas. ....	50
Tabla 11. Prueba de Duncan al 5% para la variable presencia de tallos principales en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) bajo el efecto de la biofumigación.....	51
Tabla 12. Análisis de varianza para la variable calibre de tallo en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas. ....	52
Tabla 13. Prueba de Tukey al 5% para la variable calibre de tallo en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) bajo el efecto de la biofumigación. ....	52
Tabla 14. Análisis de varianza para la variable severidad a nivel del tubérculo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas. ....	53
Tabla 15. Prueba de Duncan al 5% para la variable severidad a nivel del tubérculo en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) bajo el efecto de la biofumigación.....	54
Tabla 16. Análisis de varianza para la variable rendimiento de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas.....	55
Tabla 17. Prueba de Tukey al 5% para la variable rendimiento en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) bajo el efecto de la biofumigación. ....	56
Tabla 18. Análisis costo-beneficio en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) bajo el efecto de la biofumigación. ....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de <i>Spongospora subterranea</i> .....	30
Figura 2. Esquema del ensayo en campo .....	42
Figura 3. Parcela neta.....	43
Figura 4. Escala de severidad en tubérculo .....	45
Figura 5. Preparación del terreno .....	70
Figura 6. Surcado para siembra de brassicas.....	70

Figura 7. Brassicas en su óptimo desarrollo .....	70
Figura 8. Incorporación y cubierta plástica .....	71
Figura 9. Retiro de plástico después de 45 días de descomposición.....	71
Figura 10. Surcado.....	71
Figura 11. Aporcado y abonado .....	72
Figura 12. Alzada de tierra.....	72
Figura 13. Cosecha y toma de datos.....	72

### **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC .....	66
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas .....	67
Anexo 3. Costos de producción por ha del cultivo de papa super chola.....	69
Anexo 4. Proceso del experimento en campo de biofumigación.....	70

## RESUMEN

El cultivo de papa presenta diversos patógenos del suelo que afectan su desarrollo, calidad y comercialización, ya que los agroquímicos existentes no resultan eficaces para su control. Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la biofumigación con brasicáceas incorporadas al suelo a diferentes profundidades en la prevención de la sarna polvosa (*Spongospora subterranea f. sp. subterranea*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad Super Chola. Para lo cual se emplearon dos especies de brasicáceas (col y brócoli) incorporadas a tres profundidades (10, 30 y 50 cm), generando seis tratamientos, a los cuales se sumó un tratamiento químico con PCNB y un testigo absoluto, esto bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA). Los resultados mostraron que el tratamiento T4 (brócoli incorporado a 10 cm de profundidad) alcanzó los mayores valores promedios en las variables altura de planta (93,30 cm), número de tallos principales (3,37 u/planta), calibre de tallo (1,33 cm) y rendimiento en la categoría primera (15,80 t/ha), además de obtener la mejor relación costo/beneficio (1,18). En cuanto a la variable de severidad de la enfermedad estudiada, los tratamientos con biofumigación registraron valores bajos de infestación por sarna polvosa, mientras que el testigo absoluto (T8) presentó el promedio más alto de severidad con 41,17%. Por tanto, la investigación demuestra que la aplicación de la técnica de biofumigación con residuos de brasicáceas constituye una estrategia adecuada en el cultivo de papa para el manejo de esta enfermedad, ya que contribuye a reducir la severidad del patógeno a nivel del tubérculo. Además, promueve el desarrollo vegetativo del cultivo, posicionándose como una alternativa sostenible para la desinfección de suelos y el manejo integrado de plagas y enfermedades.

**Palabras Claves:** biofumigación, col-brócoli, sarna polvosa, papa, profundidad de incorporación.

## ABSTRACT

Potato cultivation is affected by various soil-borne pathogens that impact its growth, quality, and marketability, as existing agrochemicals are often ineffective for their control. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of biofumigation with brassica residues incorporated into the soil at different depths on the prevention of powdery scab (*Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*) in potato (*Solanum tuberosum* L.) of the Super Chola variety. Two brassica species (cabbage and broccoli) were incorporated at three soil depths (10, 30, and 50 cm), resulting in six treatments, along with a chemical treatment using PCNB and an untreated control, following a completely randomized block design (CRBD). The results showed that treatment T4 (broccoli incorporated at a depth of 10 cm) achieved the highest average values for plant height (93.30 cm), number of main stems (3.37 stems/plant), stem diameter (1.33 cm), and yield in the first quality category (15.80 t/ha), as well as the best cost–benefit ratio (1.18). Regarding disease severity, biofumigation treatments recorded low infestation levels of powdery scab, whereas the untreated control (T8) showed the highest average severity at 41.17%. In conclusion, the study demonstrates that the use of biofumigation with brassica residues is an effective strategy in potato cultivation for managing this disease, as it helps reduce pathogen severity at the tuber level. Additionally, it promotes vegetative growth and represents a sustainable alternative for soil disinfection and the integrated management of pests and diseases.

**Keywords:** biofumigation, cabbage-broccoli, powdery scab, potato, incorporation depth.

## INTRODUCCIÓN

En la provincia del Carchi, el cultivo de papa se considera como el más importantes en términos de producción agrícola. Sin embargo, la planta se encuentra constantemente amenazada por una variedad de patógenos que pueden causar enfermedades, lo que resulta en significativas pérdidas económicas para los agricultores. Esta situación resalta la necesidad de implementar estrategias efectivas para el manejo de diversas enfermedades, al igual que la búsqueda de alternativas sostenibles que minimicen el impacto de estos patógenos en la producción. La presencia de enfermedades puede comprometer la calidad de los tubérculos cosechados y su rentabilidad en las explotaciones agrícolas, lo que subraya la importancia de investigar y aplicar métodos de control eficientes. (Méndez & Gaete, 2010).

Uno de los patógenos que afecta a la planta es Sarna polvosa (*Spongospora subterranea f. sp. subterranea*), es un protista que infecta las partes subterráneas de la planta de papa, esto incluye a los estolones, tubérculos y raíces. Este microorganismo provoca la estimulación del crecimiento y la división de las células del hospedador, lo que resulta en la manifestación de síntomas característicos (Acuña, 2021).

La biofumigación del suelo es un método que aprovecha la materia orgánica, como residuos agrícolas, junto con los productos resultantes de su descomposición, para controlar los patógenos presentes en el suelo, incluyendo hongos, bacterias y nematodos. Esta técnica se caracteriza por su bajo costo de implementación y la facilidad para aplicarlo, convirtiéndola en una opción atractiva en cultivos de autoconsumo o aquellos con bajos márgenes de rentabilidad (Carrasco, 2020).

## I. EL PROBLEMA

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de papa en el Ecuador es una de las actividades agronómicas más importantes por su valor económico y social, especialmente en la región Sierra, donde más de 80 mil pequeños productores dependen de esta actividad para su sustento diario. Esta labor se convierte en una fuente importante de ingresos para las familias rurales, y se constituye como un alimento principal en la dieta nacional, lo que la posiciona como una base esencial para garantizar la seguridad alimentaria del país (MAG, 2023).

Entre los patógenos que afecta al cultivo de papa está la sarna polvosa (*Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*), cuya incidencia es mayor en altitudes comprendidas entre los 3.000 y 3.320 msnm. Esta enfermedad impacta especialmente a la variedad Superchola, debido a su alta susceptibilidad, en particular cuando se emplean semillas no certificadas (INIAP, 2022).

El protista *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*, responsable de la enfermedad conocida como sarna polvosa en las plantas de papa, representa un desafío significativo para mejorar la producción de este cultivo. La gestión de esta problemática resulta complicada debido a diversos factores, entre ellos la capacidad del patógeno para sobrevivir durante largos lapsos de tiempo en el suelo y que no hay métodos efectivos de control, ya que en el mercado no existe agroquímicos altamente específicos para el control de este patógeno (Mesa, 2017).

Otros factores que influyen en el aumento de la enfermedad se dan debido al traslado de herramientas y maquinaria de lotes contaminados a lotes sanos, así como el traslado de material vegetal enfermo, dando como resultado la infección de suelos. En el cultivo se evidencia la afecciones en raíces, las cuales generaran agallas o tumores de tamaño y forma irregular, provocando una menor eficiencia en la absorción de agua y nutrientes, impidiendo el crecimiento de la planta y reduciendo

el rendimiento, en los tubérculos se presentan lesiones en forma de pústulas en la epidermis y en casos de infección más grave, deformaciones (Arango. J, 2012).

La enfermedad en los tubérculos de papa provoca daños estéticos que disminuyen su atractivo visual, lo que conlleva el rechazo del producto o a una baja en su valor comercial. Esta condición puede ser un obstáculo importante para el comercio, especialmente en el caso de los tubérculos destinados a semilla. En sus formas más severas, causan canchales, la enfermedad impide el crecimiento adecuado de la planta y reduce significativamente su rendimiento. Cuando se emplean tubérculos semilla con un 10% de superficie infectada, provocara una disminución en la cantidad de brotes, tallos, tubérculos por planta, así como en el peso fresco tanto de las plantas como de los tubérculos (Montero, 2006).

El control de *Spongospora subterranea* resulta especialmente complejo por su habilidad para generar esporas de resistencia, las cuales le permiten mantenerse en el suelo y en la semilla asexual de la papa. Diversos estudios destacan que no existe un método único que sea suficientemente efectivo para reducir la presencia del patógeno o su capacidad de infección. Por ello, se considera que un enfoque integral es necesario para enfrentar esta problemática de manera efectiva (Bittara. F, 2009).

La biofumigación se presenta como una opción orgánica para la desinfección del suelo, que implica la incorporación de materia vegetal triturada a ciertas profundidades en el terreno, con el fin de controlar plagas y patógenos. Las plantas de la familia de las brasicáceas son ricas en compuestos llamados glucosinolatos. Estos compuestos, son inactivos contra los microorganismos, pero cuando ya se transforman en isotiocianatos mediante la acción de la enzima mirosinasa durante la hidrólisis, lo que los convierte en biocidas efectivos contra diversos patógenos (Clarkson, 2015).

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el efecto de la biofumigación con brasicáceas sobre la prevención del patógeno *Spongospora subterranea* en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en la provincia del Carchi?

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

La producción de papa representa una fuente importante de ingresos económicos en el Ecuador, y en la región sierra es el segundo cultivo más producido. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos debido a la enfermedad conocida como sarna polvosa, causada por un protista presente en el suelo que infecta el tubérculo, estolones y raíces, lo que impide la producción adecuada de este cultivo. Uno de los síntomas más característicos es la formación de agallas en las raíces, limitando la absorción de agua y nutrientes. Si la planta logra producir, su aspecto se ve comprometido, presentando sarna en la epidermis o deformaciones en los tubérculos, lo que afecta estéticamente al producto y devalúa su precio en el mercado (Delmonteag, 2023).

Esta investigación buscó desarrollar y validar una solución efectiva para el control de este patógeno, dado que actualmente no existen agroquímicos disponibles que lo combatan ni que desinfecten el suelo para evitar la contaminación de este. En este sentido, la biofumigación emerge como una alternativa orgánica viable, actuando como un biocida en el suelo al liberar toxinas que desinfectan y restringen la acción de agentes nocivos. Este enfoque se utilizó para mitigar la afectación de la enfermedad en el cultivo de papa.

Las plantas del género *Brassica*, como el brócoli, la col, y la mostaza, pertenecen a la familia *Brassicaceae* y se destacan por contener compuestos llamados glucosinolatos, que son metabolitos secundarios con alto contenido de azufre y nitrógeno. Cuando estos vegetales sufren daños en sus tejidos, al ser triturados o incorporados al suelo, los glucosinolatos reaccionan con la enzima mirosinasa, lo que da lugar a una hidrólisis que genera diversas sustancias bioactivas, como los isotiocianatos que son compuestos especialmente reconocidos por su efecto biocida, ya que actúan contra hongos, bacterias y nemátodos (Molina, 2013).

Es relevante señalar que no existen estudios previos que apliquen biofumigación con *Brassicáceas* para el control de la sarna polvosa. Por lo tanto, este estudio contribuye a conocer la eficacia de la biofumigación como estrategia de manejo para combatir este patógeno, mejorando así al desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles y efectivas.

## **1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

### 1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la biofumigación con brassicáceas incorporadas al suelo a diferentes profundidades en la prevención de la sarna polvosa (*Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Super Chola en la provincia del Carchi.

### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Comparar el efecto de la biofumigación con base en dos brassicáceas (col, brócoli) aplicada a diferentes profundidades del suelo (10-30-50 cm) sobre sarna polvosa en el cultivo de papa.
- Evaluar la incidencia y severidad de la sarna polvosa (*spongospora subterranea*) en el cultivo de papa en cada tratamiento implementado.
- Determinar el rendimiento productivo del cultivo de papa y evaluar su rentabilidad mediante un análisis costo/beneficio en cada tratamiento aplicado.

### 1.4.3. Preguntas de Investigación

¿Cuál es la diferencia a nivel de rendimiento de tubérculos de papa entre los tratamientos implementados?

¿Cuáles es el nivel de incidencia y severidad de sarna polvosa en tubérculos cosechados de papa, en cada tratamiento sometido a biofumigación?

¿Cuál es el índice costo/beneficio registrado por los tratamientos implantados en el cultivo de papa?

## II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Santos et al. (2021), resaltan que la biofumigación con especies de la familia Brassicaceae es una alternativa eficiente para controlar las enfermedades originadas por patógenos presentes en el suelo del cultivo de papa especialmente hongos y protistas como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium spp.*, *Sclerotinia sclerotiorum* y *Verticillium dahliae*. Esta técnica aprovecha la liberación de isotiocianatos, compuestos volátiles derivados de los glucosinolatos los cuales se encuentran en los tejidos de las brassicas como *Brassica juncea*, *B. oleracea* y *Raphanus sativus*, los cuales actúan como potentes agentes fungicidas, aunque la biofumigación puede no ser tan efectiva en suelos que se encuentren muy infestados. Además de su efecto directo sobre hongos y protistas del suelo, incluyendo a *Streptomyces scabies*, causante de la sarna común, la biofumigación mejora la estructura del suelo, incrementa su fertilidad y favorece el control de nematodos y maleza.

Gouws et al. (2020), realizaron un estudio durante tres ciclos agrícolas consecutivos (2003–2005) en suelos naturalmente infestados con sarna común de la papa (*Streptomyces spp.*), utilizando un DBCA con 4 tratamientos y 6 repeticiones. Evaluaron la biofumigación incorporando residuos frescos y secos de *Brassica oleracea var. capitata* (col) al suelo, a 30 cm de profundidad y a una dosis de 2kg, antes de la siembra de papa. Los resultados mostraron que los tratamientos con residuos secos fueron los más efectivos, reduciendo la severidad de la enfermedad de 41% a 18% en el primer año y de 24% a 21% en el segundo, mientras que en el tercer año no hubo diferencias entre los tratamientos. La biofumigación realizada con col seca demostró ser una estrategia eficaz para disminuir la severidad de la sarna común en los primeros ciclos de aplicación, además de ser viable para pequeños agricultores que pueden comercializar la mayor parte de la cosecha antes de incorporar los residuos al suelo.

Wang, et al (2014), evaluaron en campo el efecto de la biofumigación con harina de la semilla de colza (*Brassica napus* 'Dwarf Essex') y la fumigación química con dazomet sobre el control del tizón del pimiento causado por *Phytophthora capsici*, así como su impacto microbiano y la fertilidad del suelo. El ensayo incluyó tres tratamientos (control, biofumigación y fumigación química), aplicados al suelo previamente al trasplante de plántulas. En el tratamiento de biofumigación se incorporó harina de colza a razón de 20 g/kg de suelo seco y se selló herméticamente durante 10 días para favorecer la liberación de isotiocianatos (ITCs). Los resultados mostraron que la biofumigación fue altamente efectiva, reduciendo la incidencia de la enfermedad de un 85,9 % (control) a solo un 22,2%. Además, se observó un incremento en la diversidad bacteriana (índice de Shannon: 3,24 en biofumigación frente a 2,12 en el control), con predominio de géneros benéficos como *Bacillus* y *Pseudomonas*, mientras que la diversidad fúngica disminuyó. En cuanto a la fertilidad del suelo, la biofumigación mejoró significativamente los niveles de nitrógeno total, nitratos, fósforo y potasio disponibles, superando tanto al control como a la fumigación química. Estos resultados evidencian que la biofumigación no solo controla eficientemente patógenos como *Phytophthora*, sino que también promueve un entorno biológico y químico más saludable y favorable para el cultivo.

Ploeg (2009), evaluó en invernadero la eficacia de la biofumigación mediante la harina de semilla de mostaza amarilla (*Sinapis alba*) para controlar hongos del suelo en el cultivo de soya (*Glycine max*), específicamente *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina* y *Rhizoctonia solani*. El ensayo fue implantado en DCA constituidos con 3 repeticiones por tratamiento. Se inoculó el suelo con cada patógeno de forma individual y se aplicó harina de mostaza a 5 g/kg de suelo seco. Luego, se selló el suelo con plástico durante 7 días para favorecer la liberación de isotiocianatos, compuestos con acción antimicrobiana, y posteriormente se sembraron semillas de soya. Los resultados demostraron que la biofumigación redujo significativamente la infección radicular y mejoró el desarrollo de las plantas. Por ejemplo, en suelos infectados con *Fusarium solani*, la infección disminuyó del 74,3 % al 22,0 %, mientras que la altura de las plantas aumentó de 13,0 cm (control) a 24,3 cm, y el peso seco se incrementó de 0,72 g a 1,75 g. En presencia de *Rhizoctonia solani*, la infección se redujo del 67,6 % al 26,0 %, y la altura subió de 16,3 cm a 28,0 cm. De manera similar, con *Fusarium oxysporum* y *Macrophomina phaseolina*, la biofumigación disminuyó la infección en más del 60 % y aumentó la altura de las

plantas entre 10 y 12 cm respecto al control, demostrando que la biofumigación no solo reduce significativamente la incidencia de enfermedades radiculares en cultivos sensibles como la soya, sino que también mejora el vigor y desarrollo de las plantas, reflejado en una mayor emergencia, altura y acumulación de biomasa, sugiriendo que la biofumigación tiene un doble beneficio, actúa como método de control biológico y simultáneamente mejora las condiciones edáficas y fisiológicas para el crecimiento del cultivo.

Agrocabildo (2014), llevó a cabo un estudio sobre la biofumigación con crucíferas en papa en Tenerife durante dos ciclos productivos seguidos, teniendo como finalidad comprobar su eficacia con tres especies de crucíferas mostaza (*Sinapis alba*), rábano (*Raphanus sativus*) y col (*Brassica oleracea*), en la reducción de nematodos del quiste (*Globodera rostochiensis* y *G. pallida*), su producción, el calibre de los tubérculos de papa y las propiedades químicas del suelo. Se aplicó un DBCA con cuatro tratamientos (incluyendo el tratamiento sin biofumigación) y con 3 repeticiones, utilizando parcelas de 60 m<sup>2</sup>. Las crucíferas se sembraron manualmente a voleo, y su biomasa fue incorporada al suelo en estado de floración a una profundidad de 25–30 cm. Los resultados mostraron que, la mostaza y el rábano lograron las mayores reducciones de quistes por 100 g de suelo: en la campaña 2013-2014, la mostaza redujo en un 40.8% (101.3 quistes vs. 171.3 del testigo) y el rábano en un 24.1%; mientras que en la campaña 2014-2015, el rábano alcanzó una reducción del 35.4% y la mostaza del 32.2%. En cuanto a la producción, en la primera campaña la mostaza obtuvo el mayor rendimiento (27,973 t/ha), y en la segunda fue la col (24,672 t/ha). Además, se observó una mayor proporción de tubérculos de calibre medio (60–80 mm) en parcelas tratadas con biofumigación, y el aumento de la MO en el suelo, especialmente con mostaza (4.5% frente a 4.0% en el testigo).

Aguirre (2008), evaluó la eficacia de la biofumigación en el desarrollo vegetativo y la producción del cultivo de papa (*Solanum Tuberosum L.*) en la variedad loman, así como en el control de nemátodos presentes en el suelo. Se implantó en un DBCA con 3 tratamientos que consistieron en: (1) gallinaza (1.25 kg/m<sup>2</sup>) combinada con residuos de brócoli (2.50 kg/m<sup>2</sup>), (2) aplicación de mostaza silvestre (2.50 kg/m<sup>2</sup>) y (3) residuos de brócoli (2.50 kg/m<sup>2</sup>), mientras que el testigo no recibió ningún tipo de biofumigante, el tratamiento que combinó gallinaza y residuos de brócoli fue el más efectivo en promover el desarrollo vegetativo, ya que las plantas presentaron entre 2 y 5 tallos por unidad, con un crecimiento vigoroso y presencia de ramificaciones

secundarias en las axilas de las hojas, lo que reflejó un mejor aprovechamiento de los nutrientes y una buena respuesta fisiológica al tratamiento. En términos de rendimiento, este mismo tratamiento logró incrementar la producción de tubérculos en un 58% con respecto al testigo. Asimismo, el uso de residuos de brócoli cubiertos con película plástica fue el más eficiente en la supresión de nemátodos, lo que también contribuyó a una mejora en la calidad del suelo.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 Cultivo de la papa

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es considerada la hortaliza más cultivada en el mundo, presente en más de cien países, presenta una óptima adaptación a climas templados, aunque también puede desarrollarse bajo condiciones subtropicales y tropicales. Su productividad depende de diversos factores agronómicos, y es necesario tener un manejo técnico eficiente para maximizar el rendimiento. Previo a la siembra, es esencial analizar los requerimientos edafoclimáticos, lo que permitirá seleccionar la variedad más adecuada al microclima y características del suelo del área de producción (INTAGRI, 2017).

### 2.2.2 La planta

La papa es una planta herbácea dicotiledónea que tiene un crecimiento rastrero, se caracteriza por tener los tallos gruesos y medulosos de color verde o púrpura rojizo. Su follaje, que puede alcanzar alturas que van de 0.60 a 1.50 m, posee hojas pinnadas y compuestas de manera alterna y en pares, lo que confiere a la planta una apariencia vigorosa, particularmente en las variedades mejoradas. (Cuesta, 2002).

### 2.2.3 Clasificación Taxonómica

**Tabla 1.** Taxonomía

Reino	Vegetal
División	Fanerógama
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Simpétala
Sección	Anisocárpeas
Orden	Tubifloríneas
Familia	Solanaceae
Género	<i>Solanum</i> .L
Sección	<i>Petota Dumortier</i>
Especie	<i>Solanum tuberosum</i>

**Fuente:** (Morales, 2021)

## 2.2.4 Descripción botánica

### 2.2.4.1 Raíces

La papa se desarrolla a través del tubérculo semilla, con raíces adventicias en la zona basal de los brotes. Su sistema radicular es débil en comparación con otros cultivos, por lo que requiere suelos con óptimas condiciones físicas y químicas. Este sistema puede ser superficial y delicado o fibroso y profundo dependiendo de su siembra (Morales, 2021).

### 2.2.4.2 Tallos

Pueden producir varios tallos laterales que derivan del tallo principal del tubérculo-semilla y varían en forma, desde circular hasta angular, presentando alas o costillas en los márgenes. Su color es mayormente verde, aunque también pueden mostrar tonalidades marrón-rojizas o moradas. Las yemas axilares pueden dar lugar a tallos laterales, estolones, inflorescencias o tubérculos aéreos (Morales, 2021).

### 2.2.4.3 Estolones

En el cultivo, los estolones corresponden a tallos laterales que se desarrollan de manera horizontal dentro del suelo. En las variedades silvestres, suelen ser largos, mientras que en el mejoramiento genético se busca acortarlos. Los tubérculos se desarrollan a partir de la expansión del extremo de los estolones, aunque no todos logran formarse. Si un estolón sale a la superficie este se desarrollará como un tallo aéreo (Morales, 2021).

### 2.2.4.4 Brotes

Emergen de las yemas o también conocidos como ojos del tubérculo y pueden ser blancos, parcialmente coloreados o completamente coloreados, volviéndose verdes con luz indirecta. En la parte de su base se desarrollan las raíces y estolones, mientras que en el extremo apical se desarrollan las hojas y se promoverá el crecimiento del tallo (Morales, 2021).

### 2.2.4.5 Hojas

Las hojas de la papa se disponen organizadas de manera espiralada sobre el tallo y presentan una estructura compuesta, cuenta con un eje central con pares de folíolos a los lados y un folíolo terminal, presentando también folíolos secundarios diminutos y

seudoestípulas en cada base, acompañadas de alas o costillas que se extienden desde la unión. (Morales, 2021).

#### 2.2.4.6 Flor

Son bisexuales y constan con 4 partes: cáliz (sépalos que protegen la flor), la corola (pétalos coloridos que atraen polinizadores), que incluye a los estambres, encargados de la producción de polen, y el pistilo, que constituye la parte femenina formada por ovario, estilo y estigma. Esta estructura floral permite la polinización y la posterior formación de semillas (Morales, 2021).

#### 2.2.4.7 Tubérculo

Son tallos modificados los cuales actúan como órganos de reserva especialmente del almidón. Tienen un extremo basal (talón) y un extremo apical, con ojos en espiral que pueden desarrollar yemas axilares. Al madurar, las yemas permanecen en reposo, siendo las del ojo apical las primeras en brotar. Estructuralmente, se componen de varias capas: peridermo (capa protectora), corteza (tejido de reserva), sistema vascular (conexión entre ojos) y parénquima de reserva (tejido de almacenamiento). La carne del tubérculo varía en color, siendo comúnmente blanca, crema o amarilla pálida (Morales, 2021).

### 2.2.5 Condiciones Edafoclimáticas

#### 2.2.5.1 Temperatura

La óptima para la producción de papa es de 10 a 23 °C (INTAGRI, 2017).

#### 2.2.5.2 Altitud

La mejor altitud para el cultivo de papa se encuentra entre los 1,500 a 3,500 msnm, donde se logra un desarrollo óptimo y una mayor producción.

#### 2.2.5.3 Humedad

El cultivo de papa necesita una humedad relativa media (alrededor de 75% a 90%) durante su ciclo de desarrollo.

#### 2.2.5.4 pH del suelo

La papa prefiere suelos con un pH ligeramente ácido, en el rango de 5.0 a 6.5.

#### 2.2.5.5 Zonas productoras de papa (Carchi)

La provincia del Carchi ubicada en la región norte del Ecuador posee un 25% de la superficie de suelo destinada a la producción del cultivo de papa con 15,000 ha y representa el 40 % de la producción anual del país, con un rendimiento promedio de 21.7 t/ha, distribuidas y producidas principalmente entre los meses de octubre y mayo. La producción de papa se comercializa tanto en el mercado nacional como a nivel internacional en Colombia (Cuesta, 2002).

#### 2.2.6 Manejo agronómico del cultivo de papa

##### 2.2.6.1 Selección y preparación del terreno

La preparación del suelo se considera como un proceso necesario en el cultivo con la finalidad de que este emerja de manera adecuada. Se deben seleccionar terrenos con buena estructura, libre de plagas y enfermedades, con capa arable superior a los 30 cm y pendientes menores al 20% para evitar procesos erosivos. Este trabajo depende de las condiciones del suelo, clima y riesgo de erosión, y suele realizarse de forma manual, con tracción animal o maquinaria, removiendo el suelo aproximadamente 30 cm de profundidad (INIAP, 2002).

##### 2.2.6.3 Arado

El arado es una labor que se realiza para la preparación del suelo y su propósito principal es roturar la capa superficial del terreno con el objetivo de aflojar la tierra, incorporar materia vegetal y controlar el crecimiento de malezas. En los suelos pesados que tienen un alto contenido de arcilla, una labor de arada profunda mejorara la estructura del suelo; sin embargo, si se mezcla con el subsuelo, puede alterar la disponibilidad de nutrientes. Por ello, se recomienda esperar entre 15 y 30 días entre cada labor de arada para permitir la descomposición adecuada del material vegetal incorporado (INIAP, 2002).

##### 2.2.6.4 Rastra

La rastra es una labor que complementa el arado y consiste en realizar pases cruzados sobre el terreno para desmenuzar los terrones del suelo, y el suelo se encuentre muy suelto para que el cultivo desarrolle las raíces más fácilmente. Esta labor se realiza generalmente a 10 y 15 cm de profundidad, para que contenga condiciones físicas adecuadas para el desarrollo inicial de la papa (INIAP, 2002).

#### 2.2.6.5 Surcado

El surcado debe realizarse al menos un día previo a la siembra, ya que esta práctica contribuye a conservar la humedad del suelo. Además, es importante que el equipo encargado realice el surcado con cuidado y a una velocidad moderada, lo que previene el deslizamiento del terreno, especialmente en áreas con pendientes (Torres et al., 2011).

#### 2.2.6.6 Preparación de la semilla

La selección y tratamiento adecuado de la semilla es fundamental para garantizar una buena cosecha. Es imprescindible utilizar semillas de alta calidad, libres de virus, plagas y enfermedades. Para su preparación, se aplican productos químicos como nematocidas, bactericidas e insecticidas, que además ayudan a desinfectar el suelo. Es importante también verificar que las semillas presenten brotes al momento de su manipulación (Ortiz, 2021).

#### 2.2.6.7 Siembra

El tubérculo-semilla se lo debe poner en la mitad del surco, con una distancia entre tubérculos que varía entre 25 y 50 cm, según el propósito, ya sea para producción de semilla o para comercialización. Los tubérculos que se vaya a sembrar dependen del tamaño de la semilla, aunque generalmente se siembra uno por sitio (Fabara, 2014).

#### 2.2.7 Prácticas Culturales

Son labores agronómicas que se realizan después de la emergencia de las plantas, con el fin de mejorar su desarrollo y productividad. En el Ecuador, entre las más comunes están el retape, el rascadillo, los aporques, el riego y la cosecha (INIAP, 2002).

##### 2.2.7.1 Retape

Se lleva a cabo entre los 15 y 21 días posteriores a la siembra, especialmente en la provincia del Carchi, esta labor permite incorporar fertilizantes complementarios y controlar malezas de forma mecánica, en otras zonas reemplaza al rascadillo (INIAP, 2002).

##### 2.2.7.2 Rascadillo

Se remueve el suelo entre los 30 y 35 días después de realizar la siembra o cuando las plantas alcanzaron entre 10 y 15 cm de altura. Esta práctica mejora la aireación del

suelo y controla malezas. Puede realizarse manualmente o con herramientas como el cultivador "tiller", siempre teniendo cuidado de no dañar las raíces ni el follaje joven (INIAP, 2002).

#### 2.2.7.3 Aporques

Consiste en agregar tierra alrededor de la base de las plantas para formar surcos más altos, se puede hacer manualmente, con yunta o tractor, normalmente se hace en dos etapas: un medio aporque entre los 50 y 60 días, donde se puede aplicar fertilizante; y un aporque completo entre los 70 y 80 días después de siembra. Esta labor favorece la tuberización, controla malezas, y dará soporte a la planta facilitando el proceso en la cosecha (INIAP, 2002).

#### 2.2.7.4 Riego

La producción de papa demanda un suministro de agua que oscila entre 600 y 700 mm a lo largo de su ciclo, siendo crítica la etapa de floración y tuberización, en la Sierra, la lluvia es más consistente es por eso que el riego no siempre es necesario, sin embargo, durante veranos o sequías prolongadas, se recomienda aplicar riegos ligeros y frecuentes, especialmente en la etapa crítica del cultivo (INIAP, 2002).

#### 2.2.7.5 Cosecha

La papa se cosecha cuando la planta a llegado a los 6 meses de su ciclo fenológico, y presenta las siguientes características: hojas que se tornen amarillas y los tallos se caigan es decir cuando la planta entre en senescencia, no obstante, es mejor considerar el destino del producto, para consumo fresco, se debe asegurar un buen tamaño, forma y apariencia del tubérculo, para procesamiento (como papas fritas u hojuelas), se debe cosechar después de los 6 meses, cuando este alcance el tamaño y contenido de azúcar necesarios. Los tubérculos deben ser cosechados lo más pronto posible para evitar daños (INIAP, 2002).

#### Clasificación por tamaño

Los tubérculos se pueden clasificar por su peso en categorías de tamaño como: primera con peso mayor a 121 g; segunda, entre 71 y 120 g; tercera, entre 51 y 70 g; cuarta, entre 31 y 50 g; y cuchi, con menos de 30 g

## 2.2.8 Enfermedades causadas por hongos y protistas del suelo

Las enfermedades de la papa ocasionadas por patógenos del suelo son de gran importancia económica, ya que afectan directamente la calidad y rendimiento del cultivo. Estos agentes incluyen tanto hongos como *Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*, y *Streptomyces scabies*, así como protistas del grupo *Plasmodiophorales*, como *Spongospora subterranea f. sp. subterranea*, causante de la sarna polvosa. Todos ellos se caracterizan por su capacidad de sobrevivir en el suelo mediante estructuras de resistencia y por la dificultad de su manejo una vez establecidos en el sistema productivo.

**Tabla 2.** Enfermedades fúngicas de la papa

Nombre común	Nombre científico	Descripción	Daño
Sarna Común	<i>Streptomyces scabies</i>	Produce lesiones ásperas y corchosas en la piel del tubérculo, que pueden ser superficiales o profundas.	Aunque no afecta el valor nutricional, disminuye la calidad comercial de los tubérculos al hacerlos menos atractivos visualmente.
Sarna Polvosa	<i>Spongospora subterranea</i>	Provoca la formación de pústulas elevadas en la piel del tubérculo, que se rompen, dejando una superficie polvorienta. También puede afectar las raíces y reducir el vigor de las plantas.	Disminuye la calidad comercial de los tubérculos y puede reducir el rendimiento del cultivo.
Rhizoctonia	<i>Rhizoctonia solani</i>	Provoca lesiones de color marrón o negro en la base de los tallos y en los tubérculos, formando manchas irregulares y zonas de pudrición.	Provoca retraso en el crecimiento de las plantas, reduce el tamaño de los tubérculos y afecta la productividad del cultivo.
Pudrición Seca	<i>Fusarium spp.</i>	Ataca los tubérculos almacenados, causando lesiones hundidas, secas y marrones que se expanden con el tiempo. Los tejidos internos también se ven afectados, volviéndose secos y desintegrados.	Afecta gravemente la conservación y calidad de los tubérculos, reduciendo su valor comercial y capacidad de almacenamiento.

**Fuente:** (Méndez & Gaeta, 2010)

### 2.2.9 Sarna polvosa

La sarna polvosa, provocada por el protista *Spongospora subterranea*, es un patógeno que compromete especialmente a las raíces y también la calidad comercial de los tubérculos. En variedades susceptibles, el daño puede alcanzar hasta el 97,5% de los tubérculos, con un nivel considerable de severidad que oscila entre el 81% y 95%, dependiendo de factores como el nivel de infección del suelo, y las circunstancias edáficas favorables, especialmente la humedad y la temperatura. Esta enfermedad tiene una importancia agronómica notable, ya que *S. subterranea* actúa como vector del virus (PMTV), asumiendo consecuencias más graves en el cultivo. El protista se encuentra en regiones frías y húmedas de cultivo, donde persiste en suelos con condiciones propicias para su desarrollo (Oyarzun, 2002).

#### 2.2.9.1 Agente causal

Sarna polvosa es provocada por el patógeno *Spongospora subterranea*, un protista el cual produce estructuras llamadas soras, que tienen en su interior esporangios de resistencia. Estas soras presentan formas variables, como ovoides, irregulares o alargadas, y se asemejan a una cadena debido a la agrupación de los esporangios. Los esporangios de descanso son estructuras pequeñas, de entre 3,5 y 4 micrómetros, con forma de cubo, y con colores de amarillo a marrón. Las zoosporas generadas por protistas poseen dos flagelos de distinto tamaño, lo que les permite desplazarse en el agua que contenga el suelo hasta llegar a la planta hospedera (Yepez, 2019).

#### 2.2.9.2 Epidemiología y ciclo biológico

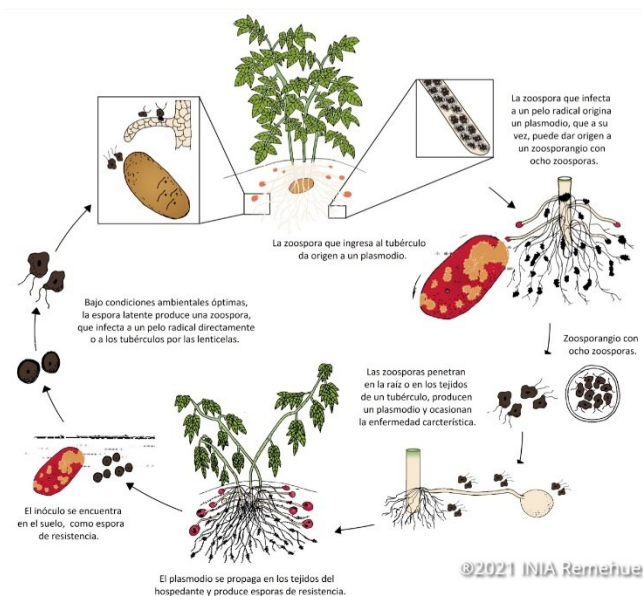
Las principales fuentes de inóculo de *Spongospora subterranea* son los tubérculos infectados que son utilizados como semilla y que hay suelos que están contaminados. El protista puede mantenerse vivo por largos periodos en restos vegetales, raíces, malezas, papas y hospederos alternos, o permanecer en dormancia como esporas de resistencia (sporosori), sobreviviendo más de una década en el suelo.

La fase esporogénica del ciclo de vida de *Spongospora subterranea* inicia con la germinación de las esporas de resistencia (sporosori), un proceso favorecido por temperaturas entre 12°C y 23°C, alta humedad ambiental y suelos con elevado contenido de agua. Aunque la enfermedad es más común en climas templados, también puede presentarse en zonas cálidas bajo condiciones de riego, ya que este

reduce la temperatura del suelo en la zona radicular, especialmente si se utiliza agua fría, creando un ambiente ideal para la infección (INIA, 2022)

Al germinar, cada espora de resistencia libera una zoospora primaria biflagelada, carente de núcleo, la cual es muy sensible a las condiciones ambientales y tiene una vida útil de solo unas pocas horas, por lo que debe encontrar un hospedero susceptible en aproximadamente 5 horas. Estas zoosporas se movilizan hacia las raíces atraídas por los exudados radiculares, ingresando a través de los pelos absorbentes, lo que disminuye su capacidad para absorber agua y nutrientes. Una vez establecida, se inicia la fase esporangial, durante la cual se desarrollan zoosporangios entre las células del hospedero; cada zoosporangio libera ocho zoosporas secundarias capaces de infectar tanto raíces como tubérculos., provocando deformaciones, atrofias y lesiones sarnosas, especialmente si la infección ocurre durante la formación inicial de los tubérculos (INIA, 2022).

Estas zoosporas secundarias no solo afectan otras partes de la planta, sino que también pueden propagarse a plantas vecinas. Finalmente, tanto las agallas como las lesiones en los tubérculos generan nuevas zoosporas y esporas de resistencia (sporosori), asegurando la continuidad del ciclo de infección (INIA, 2022).



**Figura 1.** Ciclo de *Spongospora subterranea*

### 2.2.9.3 Sintomatología

*Spongospora subterranea* afecta a las raíces, estolones, hojas, tallos y tubérculos.

**Raíces:** En raíces infectadas por *Spongospora subterranea* pueden observarse tejidos aparentemente sanos, pero al microscopio se evidencian esporangios del protista. Si

la infección ya se encuentra muy avanzada, las raíces se deforman, mostrando un menor desarrollo y presentando agallas cremosas que se oscurecen al madurar, estas agallas visibles desde los 35 días tras la siembra aumentan el inóculo en el suelo al descomponerse. La enfermedad reduce la absorción de agua y nutrientes, especialmente en cultivares susceptibles, lo que afecta el rendimiento, el tamaño de los tubérculos y el desarrollo general de la planta (INIA, 2022).

**Tubérculo:** En tubérculos se observa lesiones redondeadas, poco profundas que contienen muchas esporas, mientras el tiempo va avanzando se convierten en pústulas abiertas de color café pálido que pueden alcanzar hasta 10 mm o más, liberando un polvo oscuro compuesto por esporas de resistencia. Estas lesiones pueden mantenerse cerradas hasta el almacenamiento, donde finalmente se abren (INIA, 2022).

**Tallos:** Provoca la formación de lesiones verrugosas o hipertrofias, que se presentan como engrosamientos irregulares en la base del tallo, a menudo acompañados de manchas oscuras o necróticas debilitamiento su tejido y provocando deformaciones visibles (INIA, 2022).

**Estolones:** el protista induce hinchazones o nódulos con aspecto verrugoso, de color marrón a negrozco, que deforman el estolón y dificultan el desarrollo normal de los tubérculos (INIA, 2022).

**Hojas:** pueden observarse síntomas foliares indirectos como amarillamiento, marchitez o reducción en el crecimiento, debido al daño en el sistema radicular y a la limitada absorción de agua y nutrientes que esto ocasiona (INIA, 2022).

#### 2.2.9.4 Manejo Integrado

Conjunto de prácticas que se aplican de manera coordinada con el fin de prevenir y manejar las enfermedades en los cultivos, se emplean estrategias como la rotación de cultivos, la utilización de variedades resistentes, el control biológico, la implementación de buenas prácticas de higiene agrícola y, cuando se requiere, la aplicación responsable de fungicidas (Oyarzun, 2002).

#### 2.2.9.5 Control químico

El tratamiento de semilla es fundamental, ya que tubérculos aparentemente sanos pueden estar contaminados con quistosoros y generar altos niveles de sarna polvosa en cultivos posteriores, especialmente en variedades susceptibles y bajo condiciones

favorables como temperaturas moderadas y presencia de humedad. Algunos estudios, han identificado que productos como el zinc, fluazinam y mancozeb muestran una respuesta positiva contra la enfermedad. De hecho, en Nueva Zelanda se ha reportado un aumento del 20 % en la producción con el tratamiento químico de semilla, lo que resalta su potencial como herramienta complementaria de manejo (YPERDOMO, 2014).

#### 2.2.9.6 Control orgánico

La incorporación al suelo de cultivos verdes de especies de Brassica ha demostrado reducir la incidencia de enfermedades fungicas en rangos que van del 19 % al 73 %, probablemente gracias a la liberación de glucosinolatos. Estos compuestos, al descomponerse, generan sustancias azufradas con propiedades biofumigantes que resultan tóxicas para diversos patógenos del suelo. Aunque este método puede afectar la viabilidad de zoosporas, no elimina completamente los quistosoros. Algunos estudios, como los de Merz (2000), señalan que las Brassicas pueden disminuir el inóculo en el suelo, aunque sin lograr una erradicación total de la enfermedad, incluso con rotaciones prolongadas de papa. No obstante, el uso de biofumigación, especialmente si se complementa con cobertura plástica, puede mejorar su eficacia como estrategia de control biológico, presentándose como una alternativa más sostenible frente a productos químicos de alta toxicidad y difícil aplicación (YPERDOMO, 2014).

#### 2.2.10 Biofumigación con brasicáceas

La biofumigación es un proceso agrícola en el que se cultiva, para luego triturar e incorporar al suelo plantas del género Brassica, lo que provoca la liberación de compuestos volátiles, principalmente isotiocianatos (ITC), que se generan mediante la hidrólisis de glucosinolatos (GSL) contenidos en los tejidos vegetales, estas plantas deben incorporarse a una profundidad de 15 a 20 cm para que se liberen los compuestos volátiles a medida que la materia orgánica se biodegrada en el suelo la cual puede tomar entre 20 a 30 días. Los ITC, junto con otros productos de descomposición, ejercen un efecto fumigante. Se ha demostrado que estos compuestos tienen una capacidad supresora sobre algunos patógenos de plantas, actuando de manera similar a los fumigantes sintéticos (Clarkson, 2015).

#### 2.2.10.1 Isotiocianatos en los protistas

Los isotiocianatos actúan sobre los protistas del suelo mediante varios mecanismos que afectan directamente su estructura y funcionamiento. Primero, penetran en las células del protista y dañan sus mitocondrias, interfiriendo en la producción de energía necesaria para su supervivencia. Además, éstas se unen a las enzimas esenciales las cuales bloquean sus funciones metabólicas y detienen procesos vitales como el crecimiento y la reproducción, haciendo que las esporas no germinen, evitando que el protista se propague en el suelo.

#### 2.2.10.2 Brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*)

La inflorescencia del brócoli presenta un contenido de glucosinolatos que oscila entre el 1 y el 2%. Estos compuestos corresponden en su mayoría a glucósidos que contienen azufre y se originan a partir de diversos aminoácidos, lo cual da lugar a una amplia diversidad de estructuras químicas. En la planta los glucosinolatos se localizan en las vacuolas de las células y pueden ser hidrolizados por enzimas presentes en el citoplasma, denominadas mirosinasas (tioglucosidasas). La acción enzimática de las mirosinasas sobre los glucosinolatos genera como producto principal los isotiocianatos volátiles, compuestos bioactivos conocidos como sevenoles, que poseen propiedades con potencial efecto biofumigante (Aguirre, 2008).

#### 2.2.10.2 Col (*Brassica oleracea* var. *Capitata*)

La col (*Brassica oleracea*) ejerce un efecto biocida debido a su alto contenido de glucosinolatos, compuestos azufrados que, si son descompuestos por acción de la enzima mirosinasa tras el daño mecánico de los tejidos, se transforman en isotiocianatos (ITCs). Estos compuestos volátiles poseen propiedades antimicrobianas y nematocidas, lo que los hace eficaces para el control de patógenos. Cuando la biomasa de col es picada e incorporada al suelo, se libera una cantidad significativa de ITCs, los cuales actúan directamente sobre nematodos, hongos y bacterias, contribuyendo así a la desinfección biológica del suelo mediante el proceso de biofumigación (AGROBILDO, 2014).

#### 2.2.11 Producto químico para desinfección del suelo

##### 2.2.11.1 Pentacloronitrobenceno (PCNB)

Es un fungicida orgánico, formulado principalmente para tratar semillas y aplicaciones en el suelo, diseñado para prevenir el daño ocasionado por hongos,

tanto aquellos que se encuentran en las semillas como los que habitan en el suelo. Este producto es eficaz en el control de enfermedades fúngicas que pueden afectar los cultivos al atacar las raíces o la planta en su etapa temprana (Edifarm, 2016).

#### 2.2.11.2 Modo de acción

Actúa ingresando a las semillas y el suelo, creando una capa protectora en el suelo que evita que las enfermedades afecten a las plantas antes de que puedan dañarlas. Además, también formara barreras en las partes nuevas de la planta para prevenir que la infección ingrese (Zarate, 2019).

#### 2.2.11.3 Mecanismo de acción

Actúa dañando las membranas celulares y afecta su proceso de división celular, lo que provoca su destrucción y evita que causen enfermedades en las plantas (Zarate, 2019).

#### 2.2.11.4 Aplicación al suelo

Para aplicaciones al suelo, es fundamental utilizar las dosis adecuadas del producto, aplicándolo en bandas sobre los surcos de siembra, seguido de su correcta incorporación al suelo. Protegiendo a los tubérculos durante sus etapas más vulnerables, como la germinación y el desarrollo inicial (Zarate, 2019).

#### 2.2.11.5 Dosis

Dosis recomendada: 2.5 kg/ha

Dosis 3 UE: 10 g/36.75 m<sup>2</sup>

Área: 36.75 m<sup>2</sup>

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

##### 3.1.1. Enfoque

El enfoque de esta investigación es de tipo cuantitativo, debido a que se recolectaron y evaluaron datos numéricos de variables de desarrollo tales como: altura, presencia de tallos principales, calibre de los tallos y rendimiento del cultivo y además de variables sanitarias como incidencia y severidad de la enfermedad sarna polvosa que fueron sometido a fórmulas para obtener datos numéricos y analizados estadísticamente mediante ANOVA y la prueba de Tukey o Duncan al 5%.

##### 3.1.2. Tipo de Investigación

###### 3.1.2.1 Experimental

La presente investigación adoptó un enfoque experimental, la cual tuvo tratamientos basados en la técnica de la biofumigación utilizando dos especies de brasicáceas: col (*Brassica oleracea* var. *capitata*) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), las cuales fueron incorporados al suelo a diferentes profundidades, para evaluar el control de sarna polvosa en el cultivo de papa, el experimento se desarrolló bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA).

#### 3.2. HIPÓTESIS

HO: La biofumigación como alternativa de desinfección de suelo no previene el ataque de sarna polvosa en el cultivo de papa variedad super chola

Ha: La biofumigación como alternativa de desinfección de suelo previene el ataque de sarna polvosa en el cultivo de papa variedad super chola

### **3.3 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

#### 3.3.1 Variable independiente

La variable independiente estuvo constituida por la técnica de biofumigación con dos brasicáceas, cada una incorporada al suelo a tres diferentes profundidades: 10, 30 y 50 cm.

#### 3.3.2 Variable dependiente

La variable dependiente estuvo constituida por aspectos agronómicos y fitosanitarios del cultivo de papa.

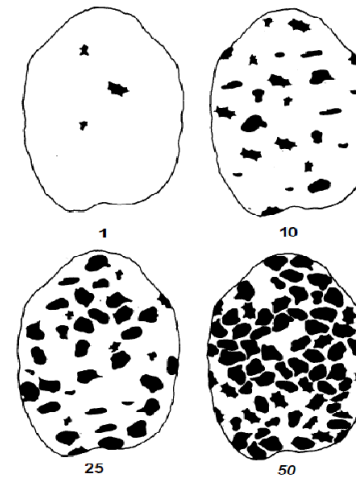
### 3.4. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

**Tabla 3.** Operacionalización de las variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Independiente (BIOFUMIGACIÓN)	Técnica de Biofumigación con base en col ( <i>Brassica oleracea var. Capitata</i> )	Se incorporo brasicáceas en el suelo de manera triturada a una dosis de 3kg/m <sup>2</sup> , a distintas profundidades (10,30,50 cm).	Aplicación e incorporación al suelo de las brasicáceas a diferentes profundidades.	Azadón, asadilla y plástico
	Biofumigación con base en brócoli ( <i>Brassica oleracea var. Italica</i> )		Aplicación con ayuda de una herramienta para que las brasicas puedan ser enterradas a la profundidad dispuesta.	Azadón, asadilla y plástico
Dependiente (VARIABLES MEDICIÓN)	Incidenca DE tubérculos	en	La incidencia en tubérculos se determinó en el momento de la cosecha(180 dds), se seleccionó al azar 15 tubérculos, 5 de cada categoría (1ª,2ª y 3ª) en cada unidad experimental, y se observó de manera directa la presencia o no de la enfermedad	$\text{Incidencia \%} = \left( \frac{\text{número de tuberculos enfermos}}{15} \right) \times 100$ Visualmente

Severidad en tubérculos

Se evaluó la severidad del tubérculo en la cosecha, se seleccionó al azar 15 tubérculos, 5 de cada categoría en cada unidad experimental, los tubérculos fueron lavados y clasificados mediante una escala de severidad.



Escala de severidad en tubérculo

Altura de planta

Se midió la altura en la parcela neta, conformada por 15 plantas, desde la base de la planta hasta el ápice de esta. Registrando los datos periódicamente hasta que la planta llegue a su senescencia.

Medición y registro de datos

Flexómetro

Presencia de tallos principales

Se evaluó la presencia de tallos principales que emergieron del tubérculo semilla en la parcela neta que consto de 15 plantas por unidad experimental.

Observación y registro de datos

Observación visual

Calibre de tallos

Se midió el grosor del tallo con un calibrador en una muestra de 15 plantas pertenecientes a la parcela neta, tomando la medida en la parte baja de cada tallo.

Medición y toma de datos

Pie de rey

Rendimiento

Variable evaluada en la cosecha y se expresó kg/ha. Los tubérculos recolectados fueron clasificados en tres categorías comerciales:

Pesaje de cada categoría de papa cosechada

Balanza electrónica

Costo/Beneficio	<p>primera, segunda y tercera, según su tamaño .</p> <p>Una vez concluida la investigación, se hizo el análisis costo-beneficio de todos los tratamientos, considerando los costos de producción para determinar la rentabilidad de cada uno</p>	Análisis de los costos de cada tratamiento.	Registro
-----------------	--	---	----------

### 3.5 FACTOR DE ESTUDIO

La presente investigación estuvo constituida por dos factores en estudio que permitieron determinar el impacto de la biofumigación sobre el control de la sarna polvosa en papa.

El factor A, correspondió a las especies de brasicáceas utilizadas en la biofumigación, en este caso fue la *Brassica oleracea* var. *capitata* (col) y *Brassica oleracea* var. *italica* (brócoli), cuyos residuos vegetales (hojas, tallos y raíces) fueron incorporados al suelo.

El factor B, fue la profundidad de incorporación de las dos brassicas, establecidas en tres niveles: 10, 30 y 50 cm. La interacción de los factores dio lugar a un total de 6 tratamientos en el experimento, a estos se agregaron dos tratamientos adicionales: un testigo químico, en el que se utilizó el fungicida Terraclor para la desinfección de suelo, cuyo ingrediente activo es el pentacloronitrobenceno (PCNB), aplicado según las recomendaciones técnicas; y un testigo absoluto, dando como resultado ocho tratamientos que se implementaron en esta investigación.

#### 3.5.1 Tratamientos

A continuación, se detallan los ocho tratamientos del experimento, los cuales resultan de la combinación de los dos factores de estudio, 2 especies de brasicáceas, incorporadas al suelo a tres profundidades diferentes (10, 30 y 50 cm). Además, el tratamiento químico y el testigo absoluto.

**Tabla 4.** Descripción de tratamientos

Tratamientos	Especie	Profundidad de aplicación	Dosis incorporación	de	Observación
T1	Tratamiento de suelo con biofumigación con base en col ( <i>Brassica oleracea var. capitata</i> )	10 cm	3 kg/m <sup>2</sup>		
T2	Tratamiento al suelo con biofumigación con base en col ( <i>Brassica oleracea var. capitata</i> )	30 cm	3 kg/m <sup>2</sup>		
T3	Tratamiento al suelo con biofumigación con base en col ( <i>Brassica oleracea var. capitata</i> )	50 cm	3 kg/m <sup>2</sup>		
T4	Tratamiento al suelo con biofumigación con base en brócoli ( <i>Brassica oleracea var. italica</i> )	10 cm	3 kg/m <sup>2</sup>		
T5	Tratamiento al suelo con biofumigación con base en brócoli ( <i>Brassica oleracea var. italica</i> )	30 cm	3 kg/m <sup>2</sup>		
T6	Tratamiento al suelo con biofumigación con base en brócoli ( <i>Brassica oleracea var. italica</i> )	50 cm	3 kg/m <sup>2</sup>		
T7	Testigo químico (Pentacloronitrobenzeno)	-	2.5kg/ha		Aplicado en los surcos tres días antes de la siembra del cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).
T8	Testigo absoluto	-	-		

### 3.5.2 Características del experimento

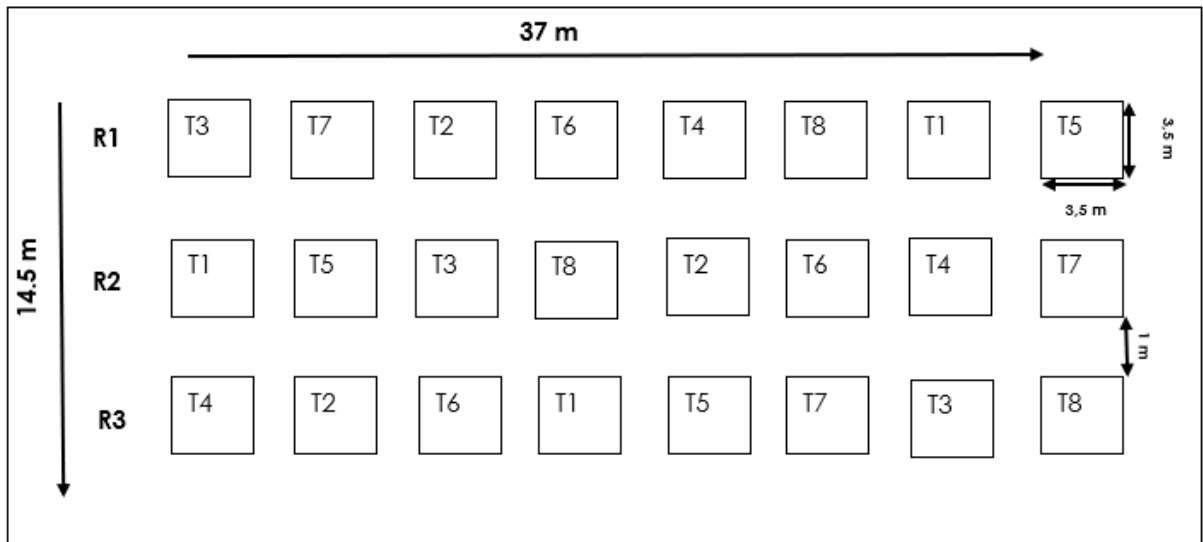
A continuación, se detallan las características generales del ensayo, incluyendo el número de unidades experimentales, el área total utilizada, la distribución de plantas por parcela y la disposición de los surcos.

**Tabla 5.** Características del experimento

CARACTERISTICAS	DIMENSIONES
Tratamientos	8
Repeticiones	3
Unidades experimentales	24 UE
Área total del experimento	536.5 m <sup>2</sup>
Área de la unidad experimental	12.25 m <sup>2</sup> (3.5m x 3.5 m)
Distancia entre plantas	0.40 m
Distancia entre surcos	0.90 m
Separación entre parcelas	1 m
Área de parcela neta	6.25m <sup>2</sup> (2.5m x 2.5m)
Número de plantas por parcela total	45
Número de plantas por parcela neta	15
Número de plantas por surco	9
Número total de surco por parcela	5
Número de surcos por parcela neta	3
Número total de plantas	1080

### 3.5.3 Distribución en campo de la unidad experimental

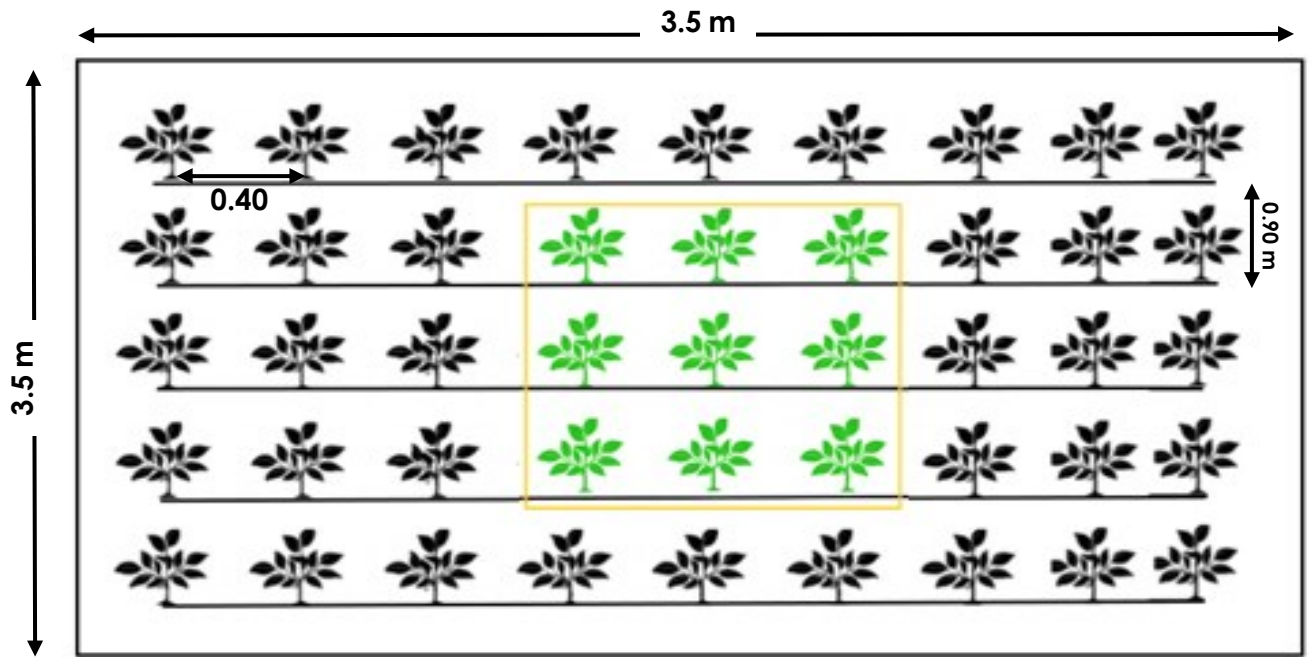
El experimento se implanto en un área total de 536.5 m<sup>2</sup>, con las siguientes dimensiones 37 metros de largo por 14.5m de ancho, generando un total de 24 unidades experimentales, distribuidas en un DBCA. Cada unidad experimental tuvo una dimensión por lado de 3,5 m lo que representa un área de 12,25 m<sup>2</sup> por parcela. Además, la separación entre las unidades experimentales de 1 m.



**Figura 2.** Esquema del ensayo en campo

### 3.5.4 Población y muestra de la investigación

La parcela neta representó la muestra del estudio y estuvo conformada por 15 plantas situadas en la zona central de cada unidad experimental, las cuales fueron utilizadas para el registro de datos de cada variable a evaluarse en la investigación.



**Figura 3.** Parcela neta

### 3.6 VARIABLES DEPENDIENTES O DE MEDICIÓN

#### 3.6.1 Altura de planta en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

La altura de plantas en el cultivo de papa se midió desde la base hasta el ápice de esta. Las mediciones se realizaron a los 55, 87 y 122 dds con la ayuda de un flexómetro, en la parcela neta que estuvo constituida por 15 plantas.

#### 3.6.2 Presencia de tallos principales en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

La presencia de tallos principales se evaluó de manera visual. Las evaluaciones se realizaron a los 55, 87 y 122 dds, registrando el número de tallos principales que brotaron del tubérculo-semilla en las 15 plantas evaluadas.

#### 3.6.3 Calibre de los tallos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Se midió el diámetro de los tallos principales con un calibrador o pie de rey, medición efectuada en la base de cada uno de ellos. Las mediciones se hicieron en campo a los 55, 87 y 122 dds.

#### 3.6.4 Incidencia en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

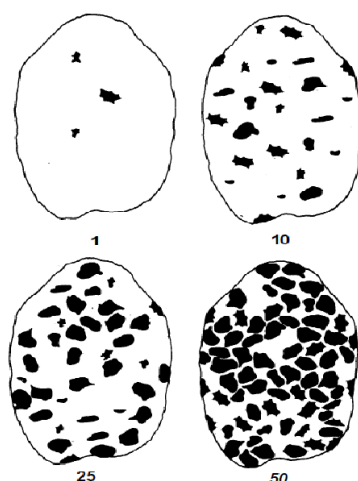
##### Incidencia en tubérculos

La incidencia de sarna polvosa (*Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*) a nivel de tubérculo se evaluó a los 180 dds, coincidiendo con el momento de la cosecha. En cada unidad experimental se seleccionaron aleatoriamente 15 tubérculos, distribuidos en tres categorías comerciales: categoría gruesa (> 121 g), categoría de segunda (71 a 120 g) y categoría de tercera o "cuchi" (< 30 g). Los tubérculos fueron lavados y de manera visual se observó si había la presencia de síntomas, si los tubérculos se encontraban con la infección se los clasificaba con un "SI", mientras que a los tubérculos que no se presentó la infección se le asignó un "NO". Posteriormente, se contabilizó el número de tubérculos evaluados que presentaron la enfermedad y se calculó el % de incidencia aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Incidencia \%} = \left( \frac{\text{número de tuberculos enfermos}}{\text{tuberculos evaluados}} \right) \times 100$$

### 3.6.5 Severidad de sarna polvosa en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

La severidad de la sarna polvosa (*Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*) fue evaluada a los 180 dds, durante la cosecha. En cada unidad experimental se seleccionaron aleatoriamente 15 tubérculos, distribuidos en tres categorías comerciales: cinco de categoría gruesa (> 121 g), cinco de segunda (71-120 g) y cinco de tercera o "cuchi" (< 30 g). Los tubérculos fueron lavados para tener una mejor observación del daño en el tejido de este. La severidad se determinó mediante una escala, que asigna valores según el porcentaje de superficie afectada la cual está clasificada de la siguiente manera: 1 (leve), 10 (moderada), 25 (severa) y 50 (muy severa). Cada tubérculo fue evaluado individualmente, registrando el valor correspondiente de acuerdo con el nivel de daño observado en su tejido.



**Figura 4.** Escala de severidad en tubérculo

**Fuente:** (Gabriel, 2017)

### 3.6.6 Rendimiento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

El rendimiento se evaluó a los 180 dds, cuando el cultivo alcanza su desarrollo vegetativo óptimo es decir en la cosecha. Los tubérculos recolectados de cada unidad experimental se clasificaron en 3 categorías: primera segunda y tercera, los cuales fueron pesados con una balanza electrónica, y los resultados registrados en kg/ha.

### 3.6.7 Costo/beneficio en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

El análisis costo/beneficio se lo evaluó al concluir el experimento en campo, se determinó los costos de producción de cada tratamiento, además se utilizó los

resultados obtenidos de rendimiento para determinar los ingresos efecto de la cosecha.

Relacionando luego la utilidad con los costos que genero el índice costo/beneficio.

### 3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos recolectados fueron sometidos a pruebas estadísticas, comenzando con la prueba de normalidad (Shapiro Wilk) para después realizar el análisis pertinente a este resultado, al ser datos paramétricos utilizaremos ANOVA, TUKEY-DUNCAN al 5%

#### 3.7.1 Análisis de varianza

**Tabla 6.** Fuentes de variación

Fuente de variación	Procedimiento		Gl
Total	(TxR)-1	24	23
Repetición	(R-1)	3	2
F.A (Especie de Brassica)	(A-1)	2	
F.B (Profundidad incorporada al suelo)	(B-1)	3	
AxB			
T8 vs Resto		2	
Error			14
Promedio (%)			
CV			

### 3.8. MÉTODOS UTILIZADOS

#### 3.8.1 Método de biofumigación con brassicas

Recolección de materia prima: se cosecho la col y el brócoli en su etapa de inflorescencia, para garantizar un alto contenido de compuestos biofumigantes.

Trituración del material: se utilizó un machete para triturar manualmente el material verde hasta obtener trozos pequeños, lo que facilitará su descomposición y liberación de sustancias volátiles.

Incorporación al suelo: Con la ayuda de un azadón, se integró los residuos triturados en el suelo a las 3 profundidades dispuestas: 10 cm, 30 cm y 50 cm. Esto permitirá una distribución adecuada de los materiales y un contacto óptimo con el suelo (en los casos que se requirió completar la dosis de las brasicáceas para la biofumigación, se lo adquirió de mercados locales).

Cobertura de residuos: se cubrió completamente los residuos con suelo, garantizando que queden incorporados de manera adecuada, con el fin de promover su proceso de catabolismo.

Cubierta plástica: se colocó el plástico sobre el suelo de las unidades experimentales donde se incorporó la col y el brócoli. Ayudando a crear un ambiente controlado que retenga el calor, la humedad y evite la liberación de gases, favoreciendo los procesos metabólicos que sufre la MO en el suelo.

Período de descomposición: se mantuvo el plástico durante 45 días para permitir una descomposición adecuada de los residuos de basicáceas y que haya una buena liberación de gases volátiles.

Retiro del plástico y labores culturales: Al finalizar los 45 días, se retiró el plástico y se procedió con las labores culturales para la preparación del suelo y proceder a implantar el cultivo de papa.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1 Altura de planta en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas.

En la Tabla 7 se presenta el análisis de varianza para la variable altura de planta en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación y no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la mayoría de las fuentes de variación evaluadas, excepto en la correspondiente a las especies de Brassicaceae, en la cual se determinó diferencias estadísticas significativas al 5 % en la primera evaluación, realizada a los 55 dds, tras el primer retape. El coeficiente de variación estuvo entre 9.48 % y 13.15 %. Los promedios fueron: 17.80 cm, 46.95 cm y 88.64 cm en cada evaluación efectuada.

**Tabla 7.** Análisis de varianza para la variable altura de planta en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas.

Fuente de Variación	de	Grados de libertad	55 dds	87 dds	122 dds
			p-valor		
Total		23			
Repeticiones		2	0,183 ns	0,571 ns	0,860 ns
FA (especie de brasicácea)		1	0,035 *	0,174 ns	0,166 ns
FB (Profundidad de incorporación)		2	0,637 ns	0,168 ns	0,883 ns
AXB		2	0,514 ns	0,247 ns	0,449 ns
Testigo (T7) vs Resto		1	0,895 ns	0,698 ns	0,880 ns
ERROR		14			
Promedio (cm)			17,80	46,95	88,64
CV (%)			13,15	10,14	9,48

**Leyenda:** AXB. (Interacción de FA y FB); dds. (días después de siembra); ns. (no significativo); \*. (diferencia estadística al 5%); \*\*. (diferencia estadística al 1%).

En la Tabla 8 se presentan los promedios para la variable altura de planta en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de biofumigación con brasicáceas. En las tres evaluaciones los tratamientos sometidos a biofumigación con brócoli mostraron los promedios más elevados, a los 55 dds el T4 (brócoli incorporado a 10 cm de profundidad) registró el promedio más alto con 19,78 cm, mientras que a los

87 dds el T5 (brócoli a 30 cm de profundidad) quien registró el promedio más alto con 49,52 cm. En la tercera evaluación, a los 122 dds el T4 (brócoli a 10 cm de profundidad) volvió a presentar el promedio más alto con 93,30 cm. En contraste el T1 (col incorporada a 10 cm de profundidad) registró las alturas más bajas tanto en la primera y tercera evaluación.

**Tabla 8.** Promedios para la variable altura de planta en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas.

55 dds		87 dds		122 dds	
TRATAMIENTO	Medias (cm)	TRATAMIENTO	Medias (cm)	TRATAMIENTO	Medias (cm)
T4 (Bbrócoli-10)	19,78	T5 (Bbrócoli-30)	49,52	T4 (Bbrócoli-10)	93,30
T5 (Bbrócoli-30)	19,50	T1 (Bcol-10)	49,18	T8 (T absoluto)	91,63
T6 (Bbrócoli-50)	19,48	T8 (T absoluto)	48,30	T5 (Bbrócoli-30)	90,52
T3 (Bcol-50)	18,13	T7 (T químico)	48,11	T7 (T químico)	89,33
T7 (T químico)	17,63	T4 (Bbrócoli-10)	47,78	T3 (Bcol-50)	87,59
T2 (Bcol-30)	17,06	T6 (Bbrócoli-50)	45,85	T6 (Bbrócoli-50)	86,82
T8 (T absoluto)	15,80	T2 (Bcol-30)	43,89	T2 (Bcol-30)	85,22
T1 (Bcol-10)	15,01	T3 (Bcol-50)	43,00	T1 (Bcol-10)	84,70

**Leyenda:** T1 Bcol-10. (Col a 10 cm); T2 Bcol-30. (Col a 30 cm); T3 Bcol-50. (Col a 50 cm); T4 Bbró-10. (Brócoli a 10 cm); T5 Bbró-30. (Brócoli a 30 cm); T6 Bbró-50. (Brócoli a 50 cm); T7 Tq. (Testigo químico PCNB); T8 Ta. (Testigo absoluto).

En la Tabla 9 se presentan los resultados de la prueba de Tukey al 5% para las brassicáceas utilizadas en la biofumigación sobre la altura de planta en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). La evaluación realizada a los 55 dds dio como resultado que la biofumigación con base en brócoli generó la mayor altura promedio con 19.59 cm, ubicándose en el rango estadístico A, diferenciándose de la biofumigación con base en col, la cual presentó una altura promedio de 16,74 cm, posicionándose en el rango B.

**Tabla 9.** Prueba de tukey al 5% para las brassicáceas utilizadas en la biofumigación sobre la altura de planta en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.).

Brassicáceas incorporadas en biofumigación	Medias (cm)	Rango
BROCOLI	19,59	A
COL	16,74	B

#### 4.1.2 Presencia de tallos principales en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas.

En la tabla 10 se observa el resultado del análisis de varianza efectuado sobre la variable presencia de tallos principales en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas y no se encontró diferencias estadísticas en la mayoría de las fuentes de variación para los 3 momentos evaluados, con excepción de la fuente de variación Testigo químico (T7) vs Resto, que presentó diferencias estadísticas significativas al 5% en la evaluación a los 87 dds. El coeficiente de variación fue bajo en todas las evaluaciones. En cuanto a los promedios, estos fueron de 2,89%, 3,11% y 2,48%.

**Tabla 10.** Análisis de varianza para la variable presencia de tallos principales en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas.

Fuentes de Variación	de	Grados de libertad	p-valor		
			55 dds	87 dds	122 dds
Total		23			
Repeticiones		2	0,246 ns	0,054 ns	0,051 ns
FA (Especie de brasicácea)		1	0,721 ns	0,246 ns	0,141 ns
FB (Profundidad de incorporación)		2	0,124 ns	0,203 ns	0,653 ns
AXB		2	0,968 ns	0,794 ns	0,266 ns
Testigo (T7) vs Resto		1	0,295 ns	0,032 *	0,927 ns
ERROR		14			
Promedio (cm)			2,89	3,11	2,48
CV			11,75	7,08	16,66

**Leyenda:** AXB. (Interacción de FA y FB); dds. (días después de siembra); ns. (no significativo); \*. (diferencia estadística al 5%); \*\*. (diferencia estadística al 1%).

En la tabla 11 se presenta la prueba de Duncan al 5% para la variable presencia de tallos principales en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación y se observa que a los 55 dds todos los tratamientos se ubicaron en un mismo rango A, sin diferencias estadísticas, dando como resultado que T7 (testigo químico) alcanzó el mayor número de tallos, diferenciándose de T4 (brócoli incorporada a 10 cm de profundidad), que obtuvo el menor promedio, mientras que a los 87 dds se evidenció 3 rangos de clasificación A, AB, B. El T4 mostró el mayor promedio, manteniéndose en el rango A, mientras que T7 se ubicó en el rango B con el promedio más bajo. En cuanto a la evaluación, a los 122 dds no se observaron diferencias estadísticas significativas, ubicándose en un mismo rango, el T8 (testigo absoluto) alcanzó el promedio más alto, a diferencia de T6 (brócoli incorporado a 50 cm de profundidad), que tuvo el valor más bajo en esta evaluación.

**Tabla 11.** Prueba de Duncan al 5% para la variable presencia de tallos principales en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación.

55 dds			87 dds			122 dds		
Tratamientos	Medias (cm)	Rango	Tratamientos	Medias (cm)	Rango	Tratamientos	Medias (cm)	Rango
T7 (T químico)	3,1	A	T4 (Bbrócoli-10)	3,37	A	T8 (T absoluto)	2,93	A
T2 (Bcol-30)	3,07	A	T1 (Bcol-10)	3,33	A	T3 (Bcol-50)	2,83	A
T6 (Bbrócoli-50)	3,03	A	T5 (Bbrócoli-30)	3,2	AB	T5 (Bbrócoli-30)	2,47	A
T3 (Bcol-50)	3,03	A	T6 (Bbrócoli-50)	3,2	AB	T7 (T químico)	2,47	A
T5 (Bbrócoli-30)	2,97	A	T8 (T absoluto)	3,03	AB	T2 (Bcol-30)	2,47	A
T8 (T absoluto)	2,83	A	T3 (Bcol-50)	3	AB	T1 (Bcol-10)	2,37	A
T1 (Bcol-10)	2,63	A	T2 (Bcol-30)	2,97	AB	T4 (Bbrócoli-10)	2,23	A
T4 (Bbrócoli-10)	2,53	A	T7 (T químico)	2,83	B	T6 (Bbrócoli-50)	2,13	A

**Leyenda:** T1 Bcol-10. (Col a 10 cm); T2 Bcol-30. (Col a 30 cm); T3 Bcol-50. (Col a 50 cm); T4 Bbró-10. (Brócoli a 10 cm); T5 Bbró-30. (Brócoli a 30 cm); T6 Bbró-50. (Brócoli a 50 cm); T7 Tq. (Testigo químico PCNB); T8 Ta. (Testigo absoluto).

#### 4.1.3 Calibre de tallo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas.

En la Tabla 12 se presenta el análisis de varianza para la variable calibre de tallo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas y no se encontró diferencias estadísticas significativas en la mayoría de las fuentes de variación, exceptuando la evaluación realizada a los 87 dds en la fuente repeticiones, la cual presentó diferencias estadísticas al 1%. En cuanto al coeficiente de variación fueron bajos en todas las evaluaciones, mientras que los promedios tuvieron un crecimiento progresivo desde 0,75 cm a los 55 dds a 1,26 en los 122 dds.

**Tabla 12.** Análisis de varianza para la variable calibre de tallo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas.

Fuentes de variación	Grados de libertad	p-valor		
		55 dds	87 dds	122 dds
Total	23			
Repeticiones	2	0,094 ns	0,006 **	0,0314 ns
FA (Especie de brasicácea)	1	0,589 ns	0,738 ns	0,827 ns
FB (Profundidad de incorporación)	2	0,396 ns	0,636 ns	0,380 ns
AXB	2	0,926 ns	0,890 ns	0,712 ns
Testigo (T7) vs Resto	1	0,691 ns	0,814 ns	0,551 ns
Error	14			
Promedio (cm)		0,75	0,98	1,26
CV (%)		10,13	9,84	9,00

**Leyenda:** AXB. (Interacción de FA y FB); dds. (días después de siembra); ns. (no significativo); \*. (diferencia estadística al 5%); \*\*. (diferencia estadística al 1%).

En la Tabla 13 se presentan los promedios para la variable presencia de tallos principales en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación y se observa que a los 55 dds el T8 (testigo absoluto) obtuvo el promedio más alto con 0.80 cm, mientras que T1 (col incorporado a 10 cm de profundidad) obtuvo el promedio más bajo mientras que el T4 (brócoli incorporado a 10 cm de profundidad) obtuvo los más altos valores en las evaluaciones realizadas a los 87 y 122 dds.

**Tabla 13.** Promedios para la variable calibre de tallo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación.

55 dds		87 dds		122 dds	
TRATAMIENTO	Medias (cm)	TRATAMIENTO	Medias (cm)	TRATAMIENTO	Medias (cm)
T8 (T absoluto)	0,80	T4 (Bbrócoli-10)	1,00	T4 (Bbrócoli-10)	1,33
T5 (Bbrócoli-30)	0,80	T5 (Bbrócoli-30)	1,00	T7 (T químico)	1,30
T2 (Bcol-30)	0,77	T8 (T absoluto)	1,00	T8 (T absoluto)	1,30
T6 (Bbrócoli-50)	0,73	T2 (Bcol-30)	1,00	T1 (Bcol-10)	1,27
T7 (T químico)	0,73	T1 (Bcol-10)	1,00	T2 (Bcol-30)	1,23
T3 (Bcol-50)	0,73	T7 (T químico)	0,97	T6 (Bbrócoli-50)	1,23
T4 (Bbrócoli-10)	0,73	T6 (Bbrócoli-50)	0,97	T3 (Bcol-50)	1,23
T1 (Bcol-10)	0,70	T3 (Bcol-50)	0,90	T5 (Bbrócoli-30)	1,20

**Leyenda:** T1 Bcol-10. (Col a 10 cm); T2 Bcol-30. (Col a 30 cm); T3 Bcol-50. (Col a 50 cm); T4 Bbró-10. (Brócoli a 10 cm); T5 Bbró-30. (Brócoli a 30 cm); T6 Bbró-50. (Brócoli a 50 cm); T7 Tq. (Testigo químico PCNB); T8 Ta. (Testigo absoluto).

#### 4.1.4 Severidad de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* a nivel del tubérculo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas.

La Tabla 14 presenta el análisis de varianza para la variable severidad a nivel del tubérculo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas. En la evaluación realizada a los 180 dds se observa que no hay diferencias estadísticas en los factores de estudios analizados y en su interacción, exceptuando la fuente de variación testigo químico (T7) VS resto que presenta una diferencia estadística significativa al 1%. El coeficiente de variación fue de 18,44%, mientras que el promedio de severidad fue de 20,71%.

En cuanto a la incidencia de sarna polvosa, todos los tratamientos registraron un 100% en los tubérculos cosechados.

**Tabla 14.** Análisis de varianza para la variable severidad de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* a nivel del tubérculo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas.

Fuente de variación	Grados de libertad	180 dds p-valor
Total	23	
Repeticiones	2	0,4387 ns
FA (Especie de brasicácea)	1	0,158 ns
FB (Profundidad de incorporación)	2	0,588 ns
AXB	2	0,244 ns
Testigo (T7) vs Resto	1	0.00002 **
ERROR	14	
Promedio (%)		20,71
CV		18,44

**Leyenda:** AXB. (Interacción de FA y FB); dds. (días después de siembra); ns. (no significativo); \*. (diferencia estadística al 5%); \*\*. (diferencia estadística al 1%).

La tabla 15 presenta la prueba de Duncan al 5 % para la variable severidad a nivel del tubérculo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación. En la evaluación efectuada a los 180 dds, el tratamiento T8 (testigo absoluto) registró el promedio más alto de severidad con 41,17 %, ubicándose en el rango A, seguido por T7 (testigo químico) que presentó un promedio de severidad de 33,5 % ubicándose en el rango B, en contraste, todos los tratamientos restantes sometidos a biofumigación con brasicáceas obtuvieron promedios menores de severidad, con promedios entre 13,3 y 19,4 %, posicionándose en el rango C.

**Tabla 15.** Prueba de Duncan al 5% para la variable severidad a nivel del tubérculo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación.

180 dds		
Tratamiento	Medias (cm)	Rango
T8 (T absoluto)	41,17	A
T7 (T químico)	33,5	B
T4 (Bbrócoli-10)	19,4	C
T6 (Bbrócoli-50)	15,6	C
T2 (Bcol-30)	14,9	C
T5 (Bbrócoli-30)	14,1	C
T3 (Bcol-50)	13,7	C
T1 (Bcol-10)	13,3	C

**Leyenda:** T1 Bcol-10. (Col a 10 cm); T2 Bcol-30. (Col a 30 cm); T3 Bcol-50. (Col a 50 cm); T4 Bbró-10. (Brócoli a 10 cm); T5 Bbró-30. (Brócoli a 30 cm); T6 Bbró-50. (Brócoli a 50 cm); T7 Tq. (Testigo químico PCNB); T8 Ta. (Testigo absoluto).

#### 4.1.5 Rendimiento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas.

En la Tabla 16, se presenta el análisis de varianza para la variable rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas, evaluadas en tres categorías a los 180 dds, se encontró diferencias estadísticas significativas al 5% en el rendimiento total en la fuente de variación Testigo (T7) vs resto. El coeficiente de variación fue bajo en todas las categorías evaluadas, en cuanto al promedio tuvo valores que oscilaban entre 12,75 a 26,93 tn/ha.

**Tabla 16.** Análisis de varianza para la variable rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación con brassicáceas.

Fuentes de variación	Grados de libertad	1° categoría	2° categoría	3° categoría	TOTAL
Total	23				
Repeticiones	2	0,811 ns	0,446 ns	0,846 ns	0,596 ns
FA (Especie de brassicácea)	1	0,405 ns	0,648 ns	0,082 ns	0,703 ns
FB (Profundidad de incorporación)	2	0,253 ns	0,696 ns	0,703 ns	0,424 ns
AXB	2	0,229 ns	0,849 ns	0,498 ns	0,599 ns
Testigo (T7) vs Resto	1	0,064 ns	0,119 ns	0,272 ns	0,046 *
ERROR	14				
Promedio (tn/ha)		12,75	9,53	4,64	26,93
CV		12,29	16,82	11,90	8,63

**Leyenda:** AXB. (Interacción de FA y FB); dds. (días después de siembra); ns. (no significativo); \*. (diferencia estadística al 5%); \*\*. (diferencia estadística al 1%).

La diferencia que se evidencia en el análisis de varianza, referente a T7 vs Resto, se da ya que el promedio registrado por el T7 es 21.37 en contraste con lo registrado por el promedio acumulado de todos los tratamientos que dio 27.72.

La Tabla 17 presenta la prueba de Tukey al 5% para la variable rendimiento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación. A los 180 dds el T4 (brócoli incorporada a 10 cm de profundidad) alcanzó el mayor rendimiento en la primera categoría con 15,8 t/ha. En la segunda categoría, T8 (testigo absoluto) obtuvo el rendimiento más alto con 11,85 t/ha, mientras que en la tercera categoría el tratamiento T2 (col incorporada a 30 cm de profundidad) alcanzó el valor más alto con 5,75 t/ha, en cuanto al rendimiento total, el tratamiento T5 (brócoli incorporada a 30 cm de profundidad) fue el que mostró el mayor valor con 29,67 t/ha. En contraste, el tratamiento T7 (testigo químico) registró el menor rendimiento total con 21,34 t/ha.

**Tabla 17.** Prueba de Tukey al 5% para la variable rendimiento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo el efecto de la biofumigación.

1° categoría		2° categoría		3° categoría		Total, t/ha	
TRATAMIENTO	Medias (cm)	TRATAMIENTO	Medias (cm)	TRATAMIENTO	Medias (cm)	TRATAMIENTO	Medias(cm)
T4 (Bbrócoli-10)	15,80	T8 (T absoluto)	11,85	T2 (Bcol-30)	5,75	T5 (Bbrócoli-30)	29,67
T5 (Bbrócoli-30)	14,70	T5 (Bbrócoli-30)	10,77	T7 (T químico)	5,35	T1 (Bcol-10)	29,00
T1 (Bcol-10)	14,30	T2 (Bcol-30)	10,02	T1 (Bcol-10)	5,23	T4 (Bbrócoli-10)	28,59
T3 (Bcol-50)	13,50	T6 (Bbrócoli-50)	9,92	T3 (Bcol-50)	4,52	T8 (T absoluto)	27,66
T8 (T absoluto)	11,83	T1 (Bcol-10)	9,46	T6 (Bbrócoli-50)	4,42	T2 (Bcol-30)	26,70
T6 (Bbrócoli-50)	11,56	T4 (Bbrócoli-10)	9,09	T5 (Bbrócoli-30)	4,20	T3 (Bcol-50)	26,58
T2 (Bcol-30)	10,93	T3 (Bcol-50)	8,56	T8 (T absoluto)	3,98	T6 (Bbrócoli-50)	25,89
T7 (T químico)	9,42	T7 (T químico)	6,58	T4 (Bbrócoli-10)	3,70	T7 (T químico)	21,34

**Legenda:** T1 Bcol-10. (Col a 10 cm); T2 Bcol-30. (Col a 30 cm); T3 Bcol-50. (Col a 50 cm); T4 Bbró-10. (Brócoli a 10 cm); T5 Bbró-30. (Brócoli a 30 cm); T6 Bbró-50. (Brócoli a 50 cm); T7 Tq. (Testigo químico PCNB); T8 Ta. (Testigo absoluto).

#### 4.1.6 Costo/beneficio en el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum L.*) bajo el efecto de la biofumigación con brasicáceas.

La tabla 18 presenta el análisis costo/beneficio de los experimentos y el T4 (brócoli incorporado a 10 cm de profundidad) fue el tratamiento que obtuvo la relación costo/beneficio más alta, con un valor de 1,18 lo que demuestra que por cada dólar de inversión se recupera una ganancia de 1,18 dólares. Siguiéndole el T8 (testigo absoluto) con un índice de 1,08, y T5 (brócoli incorporado a 30 cm de profundidad), con una relación de 1,02 estos tratamientos resultaron los más rentables en esta investigación. Por otro lado, T2 (col incorporado a 30 cm de profundidad) presentó la relación costo/beneficio más baja, con un valor de 0,53 , lo que indica que se trata del tratamiento menos rentable.

**Tabla 18.** Análisis costo-beneficio en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) bajo el efecto de la biofumigación.

Tratamientos	COSTO MARGINAL (usd/ha)	COSTO DE TRATAMIENTO (usd/ha)	COSTO TOTAL (usd/ha)	REN 1 (qq/ha)	PRECIO 1 (usd/qq)	VALOR DE VENTA 1	REN 2	PRECIO 2	VALOR DE VENTA 2	REN 3	PRECIO 3 (usd/qq)	VALOR DE VENTA 3	VALOR DE VENTA TOTAL	UTILIDAD	RELACION COSTO BENEFICIO
T1 (Bcol-10)	3792,6	918	4710,6	286	20	5720	200,4	13	2605,2	10,46	8	83,68	8408,88	3698,28	0,78509744
T2 (Bcol-30)	3792,6	918	4710,6	218,6	20	4372	171,2	13	2225,6	79,2	8	633,6	7231,2	2520,6	0,53509107
T3 (Bcol-50)	3792,6	918	4710,6	270	20	5400	198,4	13	2579,2	90,4	8	723,2	8702,4	3991,8	0,84740797
T4 (Bbrócoli-10)	3792,6	923,08	4715,68	316	20	6320	237	13	3081	115	8	920	10321	5605,32	1,18865572
T5 (Bbrócoli-30)	3792,6	923,08	4715,68	294	20	5880	215,4	13	2800,2	107	8	856	9536,2	4820,52	1,02223221
T6 (Bbrócoli-50)	3792,6	923,08	4715,68	231,2	20	4624	181,8	13	2363,4	84	8	672	7659,4	2943,72	0,62424083
T7 (T químico)	3792,6	105	3897,6	188,4	20	3768	131,6	13	1710,8	74	8	592	6070,8	2173,2	0,55757389
T8 (T absoluto)	3792,6	0	3792,6	236,6	20	4732	189,2	13	2459,6	88,4	8	707,2	7898,8	4106,2	1,08268734

**Leyenda:** Biofumigación con col y brócoli (10-30-50 cm); Testigo químico (PCNB); Testigo absoluto

## 4.2. DISCUSIÓN

En la evaluación a los 55 dds se encontraron diferencias estadísticas significativas al 5% entre especies de Brassicaceae, destacándose T4 (brócoli incorporado a 10 cm), que presentó la mayor altura promedio con 19,78 cm, en contraste con T1 (col incorporado a 10 cm), que mostró el menor crecimiento. Este resultado indica que el brócoli favoreció un mejor desarrollo vegetativo inicial del cultivo de papa, esta diferencia inicial puede atribuirse a una mayor liberación de compuestos bioactivos como los isotiocianatos, que actúan como estimulantes del crecimiento y que, según Santos et al. (2021), se liberan más eficientemente en las primeras semanas tras la incorporación de las brasicáceas. Sin embargo, en las evaluaciones posteriores a 87 y 122 dds, aunque los tratamientos con brócoli siguieron mostrando las mayores alturas, no hubo diferencia alguna. Estos resultados coinciden con estudios como los de Ploeg (2009) y Aguirre (2008), donde el uso de brasicáceas mejoró el crecimiento inicial de cultivos, aunque su efecto se estabilizó en etapas avanzadas. Siendo la biofumigación con brócoli la que favorece el crecimiento inicial del cultivo de papa, aunque su efecto se atenúa con el tiempo.

En la variable presencia de tallos principales, mostró que en la mayoría de las fuentes de variación evaluadas no se encontraron diferencias estadísticas, no obstante, en la evaluación realizada a los 87 dds, mostró diferencias significativas al 5% en la fuente de variación testigo químico (T7) vs resto, donde T4 (brócoli incorporado a 10 cm de profundidad) alcanzó el mayor resultado con un promedio de 3.37%. Esto concuerda con lo reportado por Aguirre (2008), quien evidencia que la incorporación de residuos de brócoli al suelo favoreció un crecimiento vegetativo vigoroso y una mayor emisión de tallos en el cultivo de papa. Al igual que estudios como el de Ploeg (2009), señalan que la biofumigación con brasicáceas puede mejorar el desarrollo aéreo de las plantas al reducir la presión de patógenos del suelo y favorece la absorción de los nutrientes.

En calibre de tallo no se encontraron diferencias estadísticas en los 3 momentos evaluados, sin embargo, se evidenció que T4 (brócoli incorporado a 10 cm de profundidad) tuvo el más alto promedio con 1.33%. Este resultado es similar con lo reportado por Aguirre (2008), quien evidenció que la incorporación de residuos de brócoli, especialmente en combinación con materia orgánica, promueve un mejor desarrollo vegetativo de la papa, ya que se liberan compuestos bioactivos durante

la descomposición y con la ayuda de una cubierta vegetal puede mejorar la estructura del suelo y estimular una buena absorción de nutrientes, promoviendo el engrosamiento del tallo. Al igual que Wang et al. (2014), indican que la biofumigación no solo controla patógenos, sino que también mejora la fertilidad del suelo, lo que ayuda positivamente a las estructuras de la planta como el calibre del tallo.

En la evaluación de incidencia en tubérculos cosechados para la enfermedad sarna polvosa, todos los tratamientos aplicados dieron como resultado un 100% de incidencia, por lo cual estos no lograron que la enfermedad penetrara y se infestara en él, estos resultados pueden estar relacionados con lo investigado por Santos et al. (2021), quienes recalcan que la biofumigación puede no ser tan efectiva en suelos que se encuentren muy infestados. Sin embargo, estudios como el de Gouws et al. (2020) lograron una reducción en la severidad de la sarna común mediante la incorporación de residuos secos de col, estos resultados se obtuvieron tras la aplicación de biofumigación durante tres años consecutivos, lo cual sugiere que su efectividad depende no solo del tipo de residuo de brasicácea, sino también de una implementación continua, algo que no se lo realizó en esta investigación.

La aplicación de la técnica de biofumigación con especies de brasicáceas permitió reducir la severidad del patógeno en comparación con T8 (testigo absoluto), el cual presentó el promedio más alto de severidad con 41,17 %. Mientras que los tratamientos sometidos a biofumigación registraron niveles de severidad más bajos, ubicándose entre 13,3 % y 19,4 %, evidenciando su efectividad. Así mismo, el estudio efectuado por Santos et al. (2021), indagaron que los compuestos volátiles, como los isotiocianatos, actúan como potentes agentes fungicidas, capaces de suprimir patógenos del suelo. Al igual que Gouws et al. (2020) demostraron, que la incorporación de residuos de col durante tres ciclos agrícolas logró una gran disminución de la severidad de la sarna común en los primeros dos años de evaluación. Esta investigación avala el efecto de la biofumigación con brasicáceas, las cuales pueden ser utilizadas como un manejo integrado de plagas al no existir un agroquímico que combata a los patógenos del suelo. Además, el tubérculo no tuvo afecciones en su almidón y su estructura interna, mientras que su epidermis sí fue afectada, por lo cual el tubérculo disminuyó en su calidad, sin embargo no generó rechazo en el mercado.

En rendimiento, se registró que T5 (brócoli incorporado a 30 cm de profundidad) alcanzó el mayor rendimiento total con 29,67 t/ha, seguido por T4 (brócoli

incorporado a 10 cm de profundidad) con 28,6 t/ha. Los datos obtenidos en este estudio concuerdan con lo reportado por Aguirre (2008), quien concluyó que, al utilizar residuos de brócoli, este favorece el desarrollo vegetativo y, en la investigación, aumentó el rendimiento de papa en un 58 % frente al testigo. De igual manera, Agrocabildo (2014) reportó altos rendimientos utilizando distintas brassicáceas como la mostaza, la cual tuvo un rendimiento de 27,973 t/ha, mientras que al utilizar col se obtuvo rendimientos de 24,672 t/ha, estas siendo utilizadas en el cultivo de papa.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- La biofumigación con residuos de brócoli y col redujo la severidad de la enfermedad en tubérculos de papa entre 53% y 68% respecto al testigo absoluto, evidenciando su eficacia como alternativa ecológica al control químico.
- La biofumigación con brasicáceas incorporadas a diferentes profundidades (10, 30 y 50 cm) mostraron un efecto estadístico similar y efectivo sobre la severidad de sarna pólvara en tubérculos, registrando valores entre 13,3% y 19,9%.
- El rendimiento del cultivo de papa varió entre 21,34 y 29,67 t/ha, sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, evidenciando que la biofumigación y el manejo químico tuvieron efectos productivos similares bajo las condiciones del estudio.
- El T4 constituido por la Biofumigación con col incorporada a 10 cm de profundidad presentó la índice costo -beneficio más alto del experimento con un valor de 1,18.

### 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de brasicáceas brócoli y col a una dosis de 3 kg/m<sup>2</sup> en la técnica de biofumigación como una alternativa de manejo integrado para patógenos del suelo, ya que ayudó a prevenir los síntomas en raíces, permitiendo que el cultivo se desarrolle sin ningún inconveniente, además mostro resultados positivos al disminuir la severidad de la sarna polvosa en los tubérculos de papa sin ninguna deformación.
- Realizar esta técnica en ciclos de cultivos repetidos para fortalecer el efecto preventivo contra el patógeno presente en el suelo, ya que en este estudio se lo aplicó una vez y se obtuvieron resultados favorables al reducir la severidad, sin embargo, con el uso continuo, los resultados podrían ser más efectivos en severidad e incidencia.

- Llevar a cabo estudios donde se utilicen otras especies de brasicáceas para conocer su efectividad, ya que la liberación de compuestos puede ser más fuerte y tendría distintas reacciones ante otros patógenos dañinos que se encuentren en el suelo.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña. Ivette, Parra. C. (2020). La Sarna Polvorienta de la Papa. <https://Biblioteca.Inia.Ci/Server/Api/Core/Bitstreams/44190f8d-0544-4405-B4c5-F6eebe8dde6a/Content>.
- Arango. J, et al. (2012). Evaluación de un sistema in vitro para estudios de spongospora subterránea sp. <https://Revistas.Unal.Edu.Co/Index.Php/Rfc/Article/View/49046/50162>.
- Baysal-Gurel, F., Liyanapathirana, P., & Adesso, K. M. (2020). Evaluation of biofumigation using brassica cover crops for the management of soilborne diseases in container-grown ornamental plants. *HortScience*, 55(1), 83–91. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14530-19>
- Bittara. F, et. al. (2009). Evaluación de fungicidas y productos vegetales en el combate de la sarna polvorienta de la papa. [https://Ve.Scielo.Org/SciELO.Php?Script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442009000400009](https://Ve.Scielo.Org/SciELO.Php?Script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000400009).
- Carrasco, Jorge. V. Barbara. T. A. (2020). *Biofumigación Una alternativa orgánica para la desinfección de suelos en invernaderos*.
- Clarkson, John. V. Michahel. N. R. (2015). *Biofumigation for the control of soil-borne diseases*. [https://Ec.Europa.Eu/Eip/Agriculture/Sites/Default/Files/9\\_eip\\_sbd\\_mp\\_biofumigation\\_final\\_0.Pdf](https://Ec.Europa.Eu/Eip/Agriculture/Sites/Default/Files/9_eip_sbd_mp_biofumigation_final_0.Pdf).
- Cuesta, Javier. et al. (2002). *EL CULTIVO DE LA PAPA EN ECUADOR*. <https://Cipotato.Org/Wp-Content/Uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.Pdf>.
- Delmonteag. (2023). Producción de papa en Ecuador y su importancia. <https://Delmonteag.Com.Ec/Produccion-de-Papa-En-Ecuador-y-Su-Importancia/>.
- Fabara, J., & Punina, E. (2014). *Evaluación agronómica del cultivo de papa (Solanum tuberosum) C.V. Friepapa, a la aplicación de tres* <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6532>
- García. C & Cara. M (s.f). *Biofumigación*. <https://www.grupolacana.com/biofumigacion-alternativa-no-quimica-para->



Content/Uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.Pdf.

- Ortiz, R., & Arteaga, G. (2021). *Respuesta del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) variedad Superchola a la aplicación de cinco soluciones nutritivas mediante* <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24705>
- Ploeg, J. P. (2009). *Control of soil-borne pathogenic fungi of soybean by biofumigation with mustard seed meal.* <https://scialert.net/fulltext/fulltextpdf.php?pdf=ansinet/jas/2009/2272-2279.pdf>
- Torres, L., Montesdeoca, F., & Andrade, J. (2011, April 12). *Cosecha y poscosecha – Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador.* <https://cipotato.org/papaenecuador/cosecha-y-poscosecha/>
- Vuelta, D (2015) LA BIOFUMIGACIÓN Y LA SOLARIZACIÓN COMO ALTERNATIVAS AL MANEJO DE PLAGAS DEL SUELO. <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181331235002.pdf>
- Wang, Q., Ma, Y., Yang, H., & Chang, Z. (2014). Effect of biofumigation and chemical fumigation on soil microbial community structure and control of pepper *Phytophthora* blight. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(2), 507–518. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1462-6>
- Yepez, T. (2019). Evaluación de la efectividad del *Trichoderma* sp. en el control de Roña (*Spongospora subterranea*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola parroquia Tulcán - sector Guama.
- YPERDOMO. (2014). Manejo integrado de sarna polvosa causada por *spongospora subterranea* en papa. [https://Repository.Agrosavia.Co/Bitstream/Handle/20.500.12324/33311/64880\\_1.Pdf?Sequence=1&isAllowed=y](https://Repository.Agrosavia.Co/Bitstream/Handle/20.500.12324/33311/64880_1.Pdf?Sequence=1&isAllowed=y).



Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN  
AND NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
<b>NAME:</b> Kimberly Naomi Caluguillin Toapanta				
<b>DATE:</b> Lunes, 10 de noviembre de 2025				
<b>Topic:</b> "Evaluación del efecto de la biofumigación con brasicáceas incorporadas al suelo a diferentes profundidades en la prevención de Sarna polvosa ( <i>Spongospora subterranea</i> f. sp. <i>subterranea</i> ) en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) variedad super chola en la provincia del Carchi".				
<b>MARKS AWARDED</b> <span style="float: right;"><b>QUANTITATIVE AND QUALITATIVE</b></span>				
<b>VOCABULARY AND WORD USE</b>	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>WRITING COHESION</b>	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
De	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>ARGUMENT</b>	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>CREATIVITY</b>	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>SCIENTIFIC SUSTAINABILITY</b>	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>TOTAL/AVERAGE</b>	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED		<b>TOTAL 9</b>	



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL  
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES  
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico  
o Investigación.**

**Autor:** Kimberly Naomi Caluguillin Toapanta

**Fecha de recepción del abstract:** Miércoles, 5 de noviembre de 2025

**Fecha de entrega del informe:** Lunes, 10 de noviembre de 2025

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

**Observaciones:**

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros  
Responsable del  
CIDEN

### Anexo 3. Costos de producción por ha del cultivo de papa super chola

DESCRIPCIÓN	RUBRO	CANTIDAD	UNIDAD	C/U	C/T
Insumos	Semilla	38	sacos	25	950
Mano De Obra	Siembra	10	jornales	15	150
Mano De Obra	Retape Y Abono	8	jornales	15	120
Mano De Obra	Fumigación	3	jornales	15	45
Mano De Obra	Alzada De Tierra	10	jornales	15	150
Mano De Obra	Cosecha	25	jornales	15	375
Materiales	Estacas	230	maderas	0,75	172,5
Materiales	Piola	15	piola	4,5	67,5
Insumos	Abono	16	10-30-10	32,5	520
Insumos	Abono	16	20-20-10	38	608
Agroquímico	Curacron	2	insecticida	23,7	47,4
Agroquímico	Novak	1	insecticida	10,95	10,95
Agroquímico	Curalancha	3	fungicida	7,5	22,5
Agroquímico	Agrostemin	3	enraizante	8,5	25,5
Agroquímico	Otros Productos	10	fungicidas	20	200
Agroquímico	3 Quimicos	6	fungicidas	14,7	88,2
Agroquímico	Ridomil	3	fungicida	10,5	31,5
Agroquímico	Propamocarb	10	fungicida	3,5	35
Agroquímico	Engrose	2	inicial	8	16
Agroquímico	Engrose	2	final	12,25	24,5
Agroquímico	Engeo	2	insecticida	72	144
Materiales	Platico	1	plástico	500	600
Insumo C	Semilla	4	semilla	17,02	68,08
Insumo B	Semilla	4	semilla	17,02	68,08
Materia Ve	Col	100	col	0,25	25
Materia Ve	Brócoli	100	brócoli	0,3	30
Mano De Obra	Terraclor	2	jornales	15	30
Mano De Obra	Siembra, Plástico E Incorporada	15	jornales	15	225
Agroquímico	Terraclor	5	terraclor	15	75
Costo Total					4924,71

**Anexo 4.** Proceso del experimento en campo de biofumigación



**Figura 5.** Preparación del terreno



**Figura 6.** Surcado para siembra de brassicas



**Figura 7.** Brassicas en su óptimo desarrollo



**Figura 8.** Incorporación y cubierta plástica



**Figura 9.** Retiro de plástico después de 45 días de descomposición



**Figura 10.** Surcado



**Figura 11.** Aporcado y abonado



**Figura 12.** Alzada de tierra



**Figura 13.** Cosecha y toma de datos