



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES**

TRABAJO FINAL DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**MANEJO DE ENMIENDAS CÁLCICAS Y MICROORGANISMO PARA EL
CONTROL DE SPONGOSPORA (*Spongospora subterranea*) EN EL CULTIVO DE
PAPA (*Solanum tuberosum* L.) DE LA VARIEDAD CAPIRO, EN LA PARROQUIA
DE SAN ISIDRO, CANTÓN ESPEJO, PROVINCIA DEL CARCHI.**

ANDERSON HERNAN LOBATO QUINTEROS

TUTOR: Phd. DIEGO MANUEL LEON TAPIA

IBARRA – ECUADOR

FEBRERO, 2025

CERTIFICACIÓN TUTOR

Ibarra, 14 de febrero de 2025

Magister

Diego Manuel León Tapia

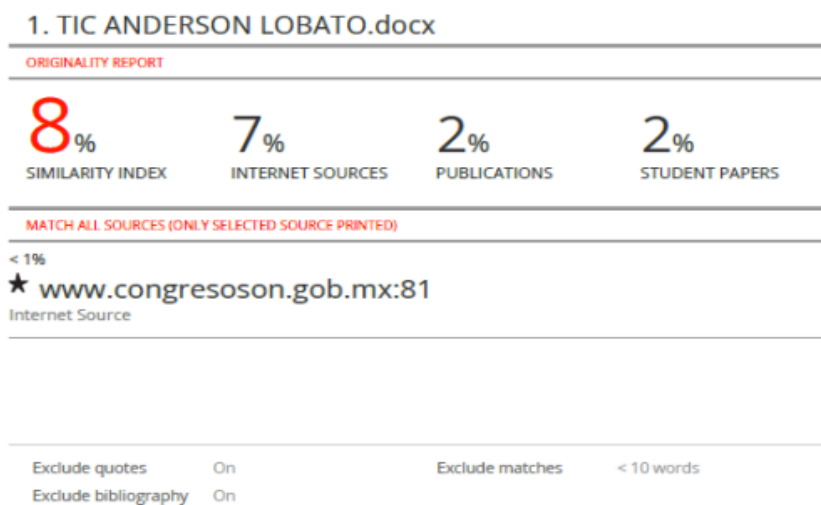
RESPONSABLE DE TITULACIÓN CARRERA DE AGROPECUARIA

De mi consideración:

Mediante el presente, tengo a bien certificar que el trabajo de integración curricular del/la estudiante: Anderson Hernán Lobato Quinteros, con el tema: Manejo de enmiendas cálcicas y microorganismo para el control de spongospora (*Spongospora subterranea*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) de la variedad Capiro, en la parroquia de san isidro, cantón espejo, provincia del Carchi.

Una vez analizado por la herramienta de detección de coincidencias y prevención del plagio académico utilizada por la institución, **TURNITIN**, obtiene el **8%** de coincidencia. Por lo que se encuentra en el rango establecido de acuerdo a los criterios de valoración del porcentaje de similitud establecidos por la PUCE.

Captura:



Firma: 

PhD. Diego Manuel León Tapia

C.C.: 1711668895

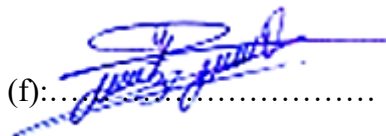
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El Tribunal Examinador, aprueba el presente trabajo en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra:

(f): 

PhD Diego Manuel León Tapia

C.C.: 1711668895

(f): 

Msc. Maritza de los Angeles Mier Quiroz

C.C.: 1002878286

(f): 

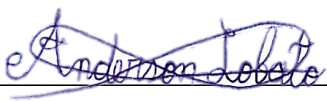
Ms. Edmundo Rene Recalde Posso

C.C.: 1001774494

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Anderson Hernán Lobato Quinteros, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilizations de sus obras o prestaciones a título gratuito y oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 14 de febrero de 2025

(f): _____

Anderson Hernán Lobato Quinteros

C.C.: 1003638614

AUTORÍA

Yo, Anderson Hernán Lobato Quinteros, portador de la cédula de ciudadanía N° 1003638614, declaro que el presente trabajo de investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

(f):.....

Anderson Hernán Lobato Quinteros

C.C.: 1003638614

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación, en primer lugar, a mi Dios, quien ha sido mi guía y fuente de sabiduría, permitiéndome asimilar los conocimientos impartidos por los docentes en su clases, que contribuirán a la comunidad y con ello se una influencia positiva para el desarrollo agrícola de nuestra nación.

A mis adorados padres Oscar Hernán Lobato Meneses y Olga Lidia Quinteros Morillo, quienes me dieron la vida y todas las oportunidades que me brindaron para poder cumplir y culminar mis estudios universitarios, ellos han sido el pilar fundamental durante el desarrollo de mi vida, siendo mis ejemplos a seguir, instruyéndome con sus buenos consejos e inculcándome valores desde el hogar, que me han formado como persona de bien.

Asimismo, dedico este trabajo a mis hermanos y familiares, cuyo respaldo incondicional ha sido fundamental para alcanzar con éxito la culminación de mis estudios.

Finalmente, a aquellos amigos que fui conociendo a lo largo de mi paso por la universidad, cuya amistad hizo que mi etapa universitaria fuera más amena y enriquecedora. También, extendiendo esta dedicatoria a todas aquellas personas cercanas que, de una u otra forma, creyeron en mi capacidad y me brindaron su apoyo y confianza a lo largo de mi formación profesional.

Anderson Hernán Lobato Quinteros

AGRADECIMIENTOS

Agradecido eternamente a mi a Dios por haber sido parte de mi vida por medio de su guía espiritual y otorgarme fortaleza en cada decisión importante de mi vida académica. Su infinita bondad me ha brindado salud, sabiduría y entendimiento, llenando mi camino de bendiciones que me permitieron superar cada obstáculo y alcanzar el éxito en mis estudios universitarios. Su presencia constante ha sido mi mayor promotor y apoyo en este desafiante recorrido, y gracias a su compañía he logrado culminar esta importante etapa de mi vida, con gratitud y esperanza hacia lo que el futuro depara.

A mis padres Oscar Hernán Lobato Meneses y Olga Lidia Quinteros Morillo por su constante apoyo y preocupación a lo largo de este camino, sin importar las dificultades que surgieron. A mi familia en general por estar todo el tiempo presente brindándome su respaldo incondicional.

A la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente, y a todos los docentes que, tanto dentro como fuera del aula, compartieron sus conocimientos y experiencias. En especial, mi agradecimiento a Valdemar Andrade por su valiosa instrucción para el desarrollo de los análisis estadísticos.

Expreso mi más sincero agradecimiento a todos mis amigos, quienes han sido una parte fundamental de mi vida estudiantil. Su apoyo incondicional en las tareas y compromisos académicos ha sido invaluable. Los llevaré siempre presentes en mi vida profesional, recordando con gratitud cada momento compartido y esperando que nuestra amistad siga presente, para poder seguir disfrutando de buenos momentos como amigos y compañeros leales en el ejercicio profesional.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	2
2 OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
2.3. Hipótesis	2
CAPÍTULO III	3
3 ESTADO DEL ARTE.....	3
3.1. Antecedentes.....	3
3.1.1. Producción de papa en Carchi.....	3
3.2. La papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	3
3.2.1. Origen y distribución	3
3.2.2. Clasificación Botánica	4
3.3. Descripción Botánica.....	4
3.4. Fases fenológicas.....	5
3.5. Spongospora o sarna polvosa (<i>Spongospora subterranea</i>)	5
3.5.1. Epidemiología	5
3.5.2. Ciclo de vida	6
3.5.3. Sintomatología	7
3.5.4. Factores que favorecen la infección.....	9

3.6.	Casos de estudio de control biológico para <i>Spongospora subterranea</i>	9
3.7.	Biofertilizantes.....	10
3.7.1.	Microorganismos benéficos: generalidades.	10
3.7.2.	<i>Trichoderma</i> spp.	11
3.7.3.	<i>Bacillus subtilis</i>	11
3.8.	Interacción, enmiendas cálcicas y microorganismos.....	11
3.9.	Relevancia socioeconómica.....	12
CAPÍTULO IV		13
4	MATERIALES Y MÉTODOS	13
4.1.	Materiales	13
4.1.1.	Materiales de campo	13
4.1.2.	Insumos	13
4.1.3.	Equipos y maquinaria	13
4.2.	Manejo del experimento	14
4.2.1.	Ubicación del área de estudio	14
4.3.	Diseño experimental	15
4.3.1.	Análisis funcional	15
4.3.2.	Análisis estadístico.....	15
4.3.3.	Unidades experimentales	15
4.3.4.	Tratamientos	16
4.3.5.	Distribución de las unidades experimentales	16
4.3.6.	Análisis de varianza (ANOVA).....	17
4.3.7.	Manejo del experimento	17
4.3.8.	Preparación del sitio experimental.....	17
4.4.	Manejo específico del experimento	18
4.4.1.	Aplicación de tratamientos	18
4.4.2.	Amontonamiento (retape)	19
4.4.3.	Deshierba y Rascadillo	19
4.4.4.	Fertilización complementaria (reabone)	19
4.4.5.	Aporque.....	19

4.4.6. Cosecha	20
4.5. Método de evaluación.....	20
4.5.1. Variables independientes	20
4.5.2. Variables dependientes	20
4.5.3. Porcentaje de emergencia	20
4.5.4. Altura de la planta	20
4.5.5. Incidencia de <i>Spongospora subterranea</i> en la raíz	20
4.5.6. Incidencia de <i>Spongospora subterranea</i> en tubérculos	21
4.5.7. Severidad de <i>Spongospora subterranea</i> en la raíz.....	21
4.5.8. Severidad de <i>Spongospora subterranea</i> en tubérculos.....	22
4.5.9. Rendimiento total en kilogramos por parcela neta	23
4.5.10. Rendimiento por categorías.....	24
CAPÍTULO V	25
5 Resultados y Discusión	25
5.1. Prueba de normalidad y homogeneidad de varianza	25
5.2. Porcentaje de emergencia (%)	25
5.3. Altura de planta (cm) a los 70, 90 y 105 días después de la siembra.	26
5.4. Incidencia de <i>Spongospora subterranea</i> en raíz.....	29
5.5. Incidencia de <i>Spongospora subterranea</i> en tubérculos	31
5.6. Severidad de <i>Spongospora subterranea</i> en raíz	33
5.7. Severidad de <i>Spongospora subterranea</i> en tubérculos.....	35
5.8. Rendimiento total	37
5.9. Rendimiento de papa por categorías: primera, segunda y tercera	39
CAPÍTULO VI.....	42
CONCLUSIONES	42
CAPÍTULO VII.....	43
RECOMENDACIONES	43
CAPÍTULO VIII	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	4
Tabla 2. Descripción del área de estudio.....	14
Tabla 3. Características del diseño experimental por parcela	15
Tabla 4. Descripción de tratamientos	16
Tabla 5. Esquema de análisis de varianza ANOVA.....	17
Tabla 6. Escala porcentual de la afectación de (<i>Spongospora subterranea</i>), en la raíz	22
Tabla 7. Escala porcentual para medir la severidad de (<i>Spongospora subterranea</i>) en tubérculos (<i>Solanum Tuberosum</i> L.)	23
Tabla 8. Escala para clasificar a los tubérculos en diferentes categorías de acuerdo a su peso y diámetro.....	24
Tabla 9. Prueba de normalidad y homogeneidad de varianza	25
Tabla 10. Porcentaje de emergencia (%), por tratamiento a los 35 días después de la siembra	26
Tabla 11. Análisis de varianza de la variable toma de altura de plantas de los 70 a los 105 días después de la siembra (cm).....	27
Tabla 12. Análisis de varianza de la variable incidencia de (<i>Spongospora subterranea</i>) evaluada en raíz (%).....	29
Tabla 13. Análisis de varianza de la variable incidencia de (<i>Spongospora subterranea</i>) evaluada en tubérculos (%)	31
Tabla 14. Análisis de varianza de la variable severidad de (<i>Spongospora subterranea</i>) evaluada en raíz (%).	33
Tabla 15. Análisis de varianza de la variable severidad de <i>Spongospora subterranea</i> evaluada en tubérculos (%)	35
Tabla 16. Análisis de varianza de la variable rendimiento total (t ha ⁻¹)	37
Tabla 17. Análisis de varianza de las variables rendimiento de papa primera, segunda y tercera	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases fenológicas del cultivo de papa de la variedad Capiro	5
Figura 2. Esporozoo de <i>Spongospora subterranea</i>	6
Figura 3. Ciclo de vida de <i>Spongospora subterranea</i>	7
Figura 4. Pústulas inmaduras de <i>Spongospora subterranea</i> en raíces de papa.....	8
Figura 5. Pústulas maduras en tubérculo de papa causadas por <i>Spongospora subterranea</i>	8
Figura 6. Imagen satelital de lote experimental	14
Figura 7. Distribución de las parcelas experimentales.....	16
Figura 8. Escala para la evolución de severidad de (<i>Spongospora subterranea</i>) en las raíces del cultivo de (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	22
Figura 9. Escala para la evaluación de (<i>Spongospora subterranea</i>) en tubérculos (<i>Solanum Tuberosum</i> L.)	23
Figura 10. Prueba de comparación múltiple de promedios Tukey al 5% para las variables de altura de plantas a los 70, a los 90 y a los 105 días después de la siembra (cm)	28
Figura 11. Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable incidencia de (<i>Spongospora subterranea</i>) en raíz (%).....	30
Figura 12. Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable incidencia de (<i>Spongospora subterranea</i>) evaluada en tubérculos (%).....	32
Figura 13. Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable severidad de (<i>Spongospora subterranea</i>) en raíz (%).....	34
Figura 14. Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable severidad de <i>Spongospora subterranea</i> en tubérculo (%)	36
Figura 15. Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable rendimiento total por tratamiento (t ha ⁻¹)	38
Figura 16. Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable rendimiento de papa primera, segunda y tercera (t ha ⁻¹)	40

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal, evaluar el efecto de la aplicación de enmiendas cálcicas y microorganismos benéficos como estrategia de control de incidencia y severidad de (*Spongospora subterranea*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) de la variedad Capiro. Los datos a ser evaluados fueron tomados durante el crecimiento, la tuberización y cosecha del cultivo. Se aplicó el diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA), con ocho tratamientos y tres repeticiones, con un total de 24 unidades experimentales. Los tratamientos fueron: T1 (10 [kg ha⁻¹] CaO); T2 (2 [t ha⁻¹] de CaCO₃); T3 (*Trichoderma* spp. 1x10⁻⁶); T4 (*Bacillus subtilis* 1x10⁻⁶); T5 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus subtilis* [1x10⁻⁶]); T6 ((*Trichoderma* spp. + *Bacillus subtilis*) [1x10⁻⁶] + 10 [kg ha⁻¹] CaO); T7 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus subtilis*) [1x10⁻⁶] + 2 [t ha⁻¹] de CaCO₃); y T8 (Testigo absoluto). Las variables en estudio fueron: altura de plantas, incidencia y severidad de (*Spongospora subterranea*) en raíz; incidencia y severidad de (*Spongospora subterranea*) en tubérculos; rendimiento total; y rendimiento de papa por categorías: primera, segunda y tercera. Con respecto a los resultados de incidencia y severidad en raíz, el tratamiento T8 presentó 19,58% y 10,10% respectivamente; en cuanto a la incidencia y severidad en tubérculos, los resultados arrojaron que T2 y T8, presentan 2,79% y 4,27% respectivamente. En resumen y considerando todas las variables, los mejores tratamientos son T6 y T7, con incidencia en raíces y tubérculos de 3,70% y 0,16% respectivamente, mientras que la severidad en raíces y tubérculos fue de 1,94% y 0,48% respectivo.

Palabras clave: *Trichoderma* spp, *Bacillus subtilis*, rendimiento, altura, crecimiento

ABSTRACT

The main objective of this research is to evaluate the effect of the application of calcium amendments *and* beneficial microorganisms as a strategy to control the incidence and severity of (*Spongospora subterranea*) in potato (*Solanum tuberosum L.*) crops of the Capiro variety. The data to be evaluated were collected during the growth, tuberization, and harvest stages of the crop. A completely randomized block design (CRBD) was applied, with eight treatments and three replications, resulting in a total of 24 experimental units. The treatments were: T1 (10 [kg ha⁻¹] CaO); T2 (2 [t ha⁻¹] of CaCO₃); T3 (*Trichoderma spp.* 1x10⁻⁶); T4 (*Bacillus subtilis* 1x10⁻⁶); T5 (*Trichoderma spp.* + *Bacillus subtilis* [1x10⁻⁶]); T6 ((*Trichoderma spp.* + *Bacillus subtilis*) [1x10⁻⁶] + 10 [kg ha⁻¹] CaO); T7 ((*Trichoderma spp.* + *Bacillus subtilis*) [1x10⁻⁶] + 2 [t ha⁻¹] of CaCO₃); and T8 (absolute control). The variables under study were: plant height, incidence and severity of (*Spongospora subterranea*) in roots; incidence and severity of (*Spongospora subterranea*) in tubers; total yield; and potato yield by categories: first, second, and third. Regarding the results for root incidence and severity, treatment T8 showed 19.58% and 10.10%, respectively. In terms of tuber incidence and severity, the results indicated that T2 and T8 showed 2.79% and 4.27%, respectively. In summary, and considering all variables, the best treatments were T6 and T7, with root and tuber incidence of 3.70% and 0.16%, respectively, while root and tuber severity were 1.94% and 0.48%, respectively.

Keywords: *Trichoderma spp.*, *Bacillus subtilis*, yield, height, growth

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La *Spongospora subterranea*, es un parásito obligado intracelular causante de “sarna polvorienta o pulverulenta”, una enfermedad que afecta al cultivo de tubérculos (*Solanum tuberosum* L.), a nivel global, causando efectos negativos en la economía asociada a su producción y comercialización (Acuña et al., 2022). La papa es el tercer cultivo más importante a nivel mundial dentro de la seguridad alimentaria (Devaux et al., 2020). Así mismo, el cultivo intensivo del tubérculo, ha favorecido la expansión de *Spongospora subterranea*, hacia nuevas zonas productoras, incrementando la gravedad de los brotes de la enfermedad (Merz, 2008). Generalmente, el desarrollo del patógeno ocurre en regiones templadas, pero ha prosperado en zonas más cálidas, debido al aumento de la humedad del suelo, producto de la irrigación de los campos agrícolas (Wallace et al., 1995). Sin embargo, existen otros factores que contribuyen con la propagación del patógeno, como el uso de tierras secas dotadas de riego, la utilización de variedades poco residentes, pero de alta demanda en el mercado, medidas ineficaces de detección y la falta de estrategias de control químico o biológico, estas limitaciones se deben a las características propias de *Spongospora subterranea*, como la formación de esporas de resistencia robustas y un ciclo de vida policíclico (Amponsah et al., 2021).

En ese sentido, el control de *Spongospora subterranea* representa un reto, debido a su capacidad para persistir en el suelo hasta por 10 años luego de la infección, pudiendo provocar pérdidas de hasta un 50% en cultivos de papa contaminados (Leon, 2020). Esta es una problemática significativa para los agricultores ecuatorianos dedicados al cultivo de papa, ya que el 63,1% de la producción nacional esta dada principalmente de las provincias de Carchi, Cotopaxi y Chimborazo, ubicadas en la región Sierra (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2024). Dentro del territorio de la provincia del Carchi, se cultivan 100 mil de las 300 mil toneladas de papa que se cosechan anualmente en el Ecuador (Basantes et al., 2020). Según Albuja et al., (2020) esto significaría una pérdida económica de alrededor de 20 millones de dólares para la provincia y los productores dedicados al cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Además, *Spongospora subterranea*, actúa como vector de virus perjudiciales para las plantas, como el virus “Mop Top” de la papa, lo que resalta la necesidad de encontrar soluciones sostenibles y ambientalmente responsables, que reduzcan el uso indebido de productos fitosanitarios aplicados al suelo, y promuevan su salud (Restrepo et al., 2009). Por lo tanto, la presente investigación tuvo como propósito evaluar la efectividad de la aplicación de microorganismos como *Trichoderma* spp. y *Bacillus subtilis*, junto con la aplicación de enmiendas cálcicas al suelo, como estrategias alternativas para el manejo de *Spongospora subterranea*, que buscan reducir la incidencia y severidad que ocasiona el parásito en tubérculo y raíces, además de mejorar la calidad y el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.).

CAPÍTULO II

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de calcio y microorganismos como estrategia de control de incidencia y severidad de (*Spongospora subterranea*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) de la variedad Capiro en la Provincia del Carchi.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la aplicación al suelo, de calcio (CaO) y CaCO_3 para reducir la incidencia y severidad de *Spongospora subterranea*.
- Valorar el efecto benéfico de la aplicación de los microorganismos eficientes de *Trichoderma spp.* y *Bacillus subtilis* al suelo, en el control de Spongospora (*Spongospora subterranea*) como una alternativa biológica ante la prevención y manejo del patógeno.
- Evaluar el efecto del control en la incidencia y severidad de *Spongospora subterranea*, con la interacción de microorganismos eficientes *Trichoderma spp.*; *Bacillus subtilis* y enmiendas cálcicas, como una alternativa integral para su control.

2.3. Hipótesis

Ho. La aplicación de calcio y microorganismos eficientes, no tiene efecto significativo, en la reducción de la incidencia y severidad de *Spongospora subterranea* en la variedad de papa Capiro en la provincia del Carchi.

Ha. La aplicación de calcio y microorganismos eficientes, tiene un efecto significativo, en la reducción de la incidencia y severidad de *Spongospora subterranea* en la variedad de papa Capiro en la provincia del Carchi.

CAPÍTULO III

3 ESTADO DEL ARTE

3.1. Antecedentes

3.1.1. Producción de papa en Carchi

En el Ecuador, el cultivo de papa tiene gran relevancia socioeconómica, puesto que para el año 2023, este cultivo aportó con el 1,4 % del Valor Agregado Bruto (VAB) Agropecuario nacional, equivalente aproximadamente a 115,82 millones de dólares, del los cuales la provincia del Carchi representó el 35,87 % del valor Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2023).

En este contexto, el cultivo de papa en la provincia del Carchi representa una de las actividades agrícolas más relevantes en las zonas rurales, donde el 60% de la agricultura familiar se dedica a su cultivo, pero su sustentabilidad económica se ha visto comprometida por mercados con sistemas de comercialización deficiente; sin embargo, eso no minimiza el hecho de que el rendimiento histórico del cultivo de papa en Carchi aumentó de 8,30 (t ha⁻¹) en 2012, a 18,84 (t ha⁻¹) para el año 2018, lo que evidencia una mejora en el sistema productivo y en el material genético, destacando que el aumento del rendimiento compensó la reducción del área de cultivo a nivel nacional que se redujo de 34 317 ha en el año 2012 a 22 099 ha en 2018 (Basantes et al., 2020).

Siguiendo esa misma tendencia, según la investigación de Marcelo et al., (2020), basada en los datos del INEC, en 2018 el área de cultivo de papa en la provincia del Carchi representaba el 29,57% del área nacional cultivada, pero que, aunque para el año 2019 la proporción se mantuvo, el rendimiento promedio en la provincia aumentó a 31,80 (t ha⁻¹), con un costo de producción que osciló entre 3694,97 a 4233,13 dólares por hectárea.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2024), en el año 2023 la provincia del Carchi representó el 28,4% del total de la producción nacional de papa, aportando aproximadamente 115 mil toneladas métricas del tubérculo, presentando el mayor rendimiento de 33,44 t ha⁻¹, mientras que el rendimiento promedio nacional se estableció en 26,48 t ha⁻¹, sin embargo, se estima que el rendimiento por hectárea nacional disminuyó en un 4,71% respecto al año anterior.

3.2. (*Solanum tuberosum* L.) - papa

3.2.1. Su origen y distribución

El tubérculo comestible (*Solanum tuberosum* L.), comenzó a ser domesticado en América del Sur, concretamente en Bolivia, entre los lagos Titicaca y Pompo, hace aproximadamente entre 10 000 a 7000 años; aunque el centro primario de diversificación de especies se encuentra en las zonas andinas que abarcan desde Colombia, pasando por Ecuador, Perú, y Bolivia, hasta el norte de Chile y Argentina; sin embargo, el cultivo de papa se propagó a Europa entre los años 1569 y 1579, tras la conquista española, convirtiéndose en uno de los cultivos más importantes de la región (Rodríguez, 2010).

3.2.2. Clasificación Botánica

De acuerdo con Márquez et al., (2020), la papa tiene la siguiente clasificación botánica (Tabla 1).

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de la papa (Solanum tuberosum L.)

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Subfamilia:	Solanoideae
Género:	<i>Solanum</i>
Especie:	<i>Tuberosum</i>
Nombre Común:	papa o patata

Nota. Tomado de “Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la papa (*Solanum Tuberosum* L.)”,(p. 3), por Márquez, Díaz y Roca, 2020, *Cultivos tropicales*, 41(1).

3.3. Descripción Botánica

La papa es una planta herbácea dicotiledónea que cuenta con un sistema aéreo y un sistema subterráneo rizomatoso el cual da origen a los tubérculos, donde su raíz se origina a partir del tubérculo usado como semilla y puede extenderse hasta 1 m de profundidad, tiene ramificaciones laterales, aunque suele ser débil, por lo que requiere un suelo con buenas propiedades físicas y químicas; el tallo, que incluye los tubérculos y estolones, es fuerte y puede alcanzar entre 0,5 y 1 metro de altura, siendo de color verde, marrón rojizo o morado, y presenta ramas laterales derivadas del tallo principal (Inostroza et al., 2022).

Los estolones de la papa son estructuras laterales de tallos que se desarrollan de manera horizontal bajo la superficie del suelo desde las yemas subterráneas del tallo, y en su extremo terminal forman un agrandamiento que da origen a los tubérculos; sin embargo, si un estolón queda expuesto, puede crecer verticalmente como un tallo con follaje normal (Gallegos et al., 2011). Los tubérculos, tallos modificados que actúan como principales órganos de

almacenamiento, se desarrollan en el extremo de los estolones y contienen yemas y ojos en su superficie, conectados por un sistema vascular. Su engrosamiento se debe a la proliferación del tejido de reserva, aumentando las células hasta 64 veces (Montesdeoca, 2005).

El follaje se distribuye a lo largo del tallo, alcanzando alturas entre 0,6 y 1,5 metros; las plantas maduras tienen hojas compuestas y pinnadas (Araujo et al., 2021). Las flores de la papa son bisexuales y están compuestas por cáliz, corola, estambres y pistilo, y su pedúnculo de inflorescencia se ramifica en varias estructuras como pedicelos, los cuales se desprenden cuando el fruto cae (Gallegos et al., 2011). El fruto es una baya de diversos tamaños y formas, generalmente de color verde pálido a oscuro, y contiene más de 200 semillas pequeñas y ovaladas, dependiendo de la fertilidad de la planta (Molina et al., 2004).

3.4. Fases fenológicas

Según Sifuentes et al., (2015), el ciclo del cultivo de la papa se divide en 10 fases fenológicas, las cuales se pueden observar en la imagen (Figura 1); estas etapas describen el desarrollo de la planta desde la siembra hasta la maduración y cosecha, permitiendo una mejor gestión del cultivo.

Figura 1.

Fases fenológicas del cultivo de papa de la variedad Capiro

ETAPA VEGETATIVA					ETAPA REPRODUCTIVA				
									
SEMILLA	0 (D.D.S)	25-35 (D.D.S)	40-50 (D.D.S)	60-70 (D.D.S)	75-90 (D.D.S)	105-120 (D.D.S)	135 -140 (D.D.S)	155-170 (D.D.S)	170-190 (D.D.S)
REPOSO	SIEMBRA	DESHIERBA	RASCADILLO- DESHIERBA	REABONE	APORQUE (INICIO DE FLORACIÓN)	FLORACIÓN	POST FLORACIÓN	MADUREZ FISIOLÓGICA	MADUREZ COMERCIAL
		EMERGENCIA	INICIO DE ESTOLONIZACIÓN	ESTOLONIZACIÓN CABEZA DE FOSFORO	INICIO DE CUAJADO Y CUAJADO	TUBERIZACIÓN Y LLENADO	TRASLOCACIÓN ENGROSE	ENGROSE	ENGROSE

Nota. Adaptado de “Fenología y tiempo en el manejo del riego y fertilización del cultivo de papa”, por E. Sifuentes, I. Ruelas, R. Cervantes, 2015, Biotecnia, 17(3).

3.5. Spongospora o sarna polvosa (*Spongospora subterranea*)

3.5.1. Epidemiología

Spongospora subterranea es un parásito intracelular obligado, que prospera en temperaturas de 12 y 23 °C, con alta humedad en suelo; es transmitido por tubérculos infectados usados en la siembra de papa; aunque, en un suelo infestado puede mantenerse en plantas hospederas, o

permanecer en estado de dormancia como esporas de resistencia si el ambiente no es el adecuado, en este último caso hasta por más de 10 años (Acuña et al., 2022). (Figura 2)

Figura 2.

Esporozoo de Spongospora subterranea



Nota. Adaptado de “Detección y cuantificación de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en plantas señuelo y cultivos de papa en Colombia mediante qPCR”(p. 121-136), por N. García, J. Morales, P. Gonzáles, & M. Marín, 2013, *Acta Biológica Colombiana*, 18(1).

La *Spongospora subterranea* tiene la capacidad de infectar los órganos subterráneos de la planta de papa, como raíces, estolones y tubérculos; donde al hacerlo, el patógeno provoca la estimulación del agrandamiento y la división celular en los tejidos afectados, lo que resulta en la aparición de síntomas, como la formación de agallas o tumores en dichos órganos, lo que a su vez, disminuye la capacidad de la planta para absorber nutrientes y agua (Falloon, 2008). Además, el estudio de Gilchrist et al., (2009), indica que la infección puede ser severa, incluso en suelos poco infestados, que presentan 1942 ± 226 quistosoros del patógeno por gramo de suelo.

3.5.2. Ciclo de vida

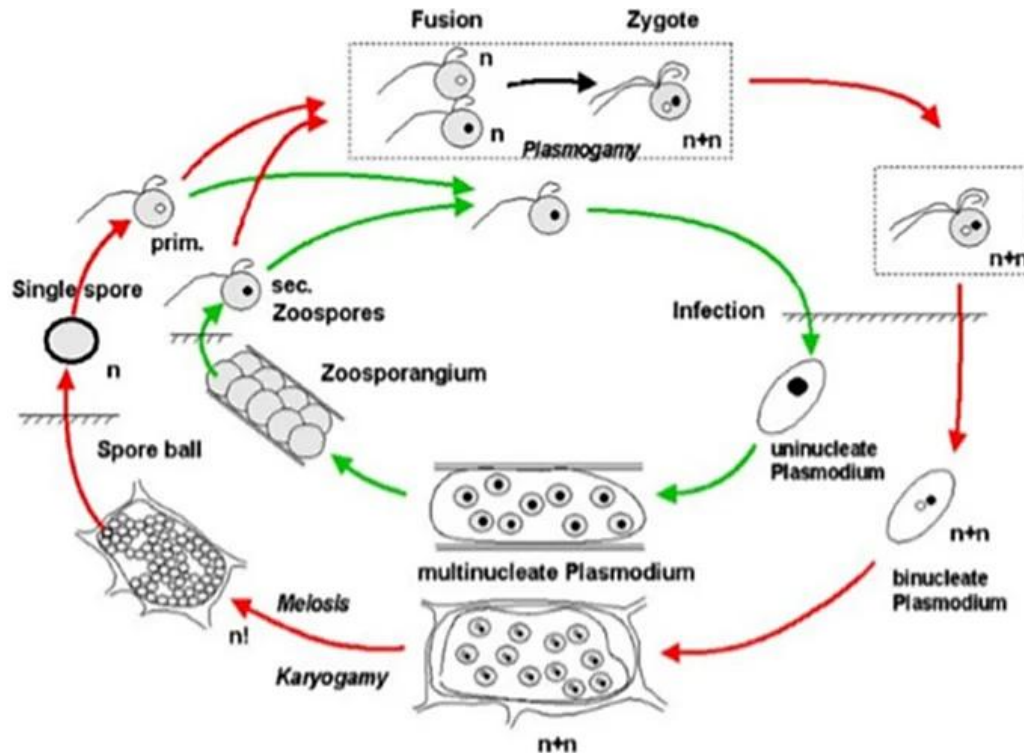
El ciclo de vida de *Spongospora subterranea* es de tipo policíclico compuesto por 2 fases; la fase asexual: también denominada zoosporangial, se caracteriza por la producción y la liberación de zoosporangios secundarios, cumpliendo un ciclo incompleto de vida; y la fase sexual o esporogénica: comprende el desarrollo de esporas en estado de reposo, la división en esporosoros, finalizando en esta etapa el ciclo de vida del patógeno; sin embargo, ambas fases inician con la infección de los tejidos de la planta hospedera, en este caso, los tubérculos y raíces (Merz, 2008). (Figura 3)

Las zoosporas de *Spongospora subterranea*, son atraídas por los exudados liberados de las raíces, y se adhieren a las células superficiales de los pelos radiculares, momento en el cual se forma una espora binucleada, que luego, una vez dentro de las células de la raíz, los zoosporangios liberan ocho nuevas zoosporas; además, el patógeno tiene la capacidad de producir grandes masas de zoosporas secundaria, lo que le permite realizar muchos ciclos de

infección dentro del huésped y facilitando la infección de plantas cercanas aprovechando pequeñas lesiones (Nitzan et al., 2008).

Figura 3.

Ciclo completo de vida de Spongospora subterranea



Nota. Adaptado de “Powdery scab of potato - Occurrence, life cycle and epidemiology” (p. 241–246), por U. Merz, 2008, *American Journal of Potato Research*, 85(4).

3.5.3. Sintomatología

Las plantas infectadas con *Spongospora subterranea*, presentan síntomas principalmente en los órganos subterráneos; en las raíces y estolones, una alta infección tiende a causar agallas y tumores que inicialmente se tornan de color blanco y que posteriormente se tornan marrones al alcanzan la madurez; aunque las agallas varían en tamaño y forma, estas pueden detectarse tan pronto como a los 15 y 45 días después de la siembra, aumentando su infestación a lo largo de todo el ciclo del cultivo; cabe mencionar que las agallas en los estolones son más pequeñas (Thangavel et al., 2015). (Figura 4)

Figura 4.

Pústulas inmaduras de Spongospora subterranea en raíces de papa



Nota. Adaptado de *Sarna polvorienta* [Fotografía], por I. Acuña, C. Sandoval, & C. Sepúlveda, 2022, INIA (https://enfermedadespapa.inia.cl/pub/Sarna_polvorienta.pdf)

Por otro lado, los síntomas en tubérculos se presentan a manera de pústulas de color marrón que pueden extenderse de 0,5 mm a 10 mm de diámetro, que en su interior contienen masas de esporas polvorienta, llegando a abrirse para liberar esporozoos al alcanzar la madurez (Genet et al., 2005). Generalmente, los tubérculos son susceptibles en las primeras etapas de crecimiento, aunque estas lesiones se desarrollan a los 60 días después de la inoculación o siembra, y en ocasiones estas pústulas no se abren, dándoles una coloración oscura, o bien se abren una vez que los tubérculos se almacenan, pueden llegar a contaminar tubérculos sanos (Villegas et al., 2008). (Figura 5).

Figura 5.

Pústulas maduras en tubérculo de papa causadas por Spongospora subterranea.



Nota. Adaptado de *Sarna polvorienta* [Fotografía], por I. Acuña, C. Sandoval, & C. Sepúlveda, 2022, INIA (https://enfermedadespapa.inia.cl/pub/Sarna_polvorienta.pdf)

Además, (Shah et al., 2012), en su investigación, da a conocer que las lesiones y daños provocados en raíces y tubérculos por la infección del *Spongospora subterranea*, puede reducir la capacidad de absorción de agua y nutrientes en dichos órganos, causando como consecuencia una reducción del rendimiento y promoviendo el enanismo de las plantas.

3.5.4. Factores que favorecen la infección

En términos generales, se establece que los factores que favorecen la inafectabilidad de *Spongospora subterranea*, están relacionados con el uso de semilla contaminada para la siembra de papa, lo que facilita la transmisión del patógeno. Por otro lado, las condiciones ambientales favorables incluyen temperaturas entre 15 a 23 °C, con fluctuaciones entre el día y la noche, alta humedad en suelo y la presencia de exudados de la raíces del hospedero, lo que lleva a la liberación de zoosporas desde los quistosoros hacia las raíz (Alzate et al., 2008).

La investigación de Graaf et al., (2005), menciona que la incidencia y la gravedad de la infección de plantas y tubérculos de papa por *Spongospora subterranea*, se ve incrementada debido a la alta humedad en suelo, por lo que las infecciones son más severas en suelos con mal drenaje, riego constante y condiciones de anegamiento, resultando en brotes más graves del parásito.

3.6. Casos de estudio de control biológico para *Spongospora subterranea*

En un estudio llevado a cabo en el Centro Agropecuario Paysandú, ubicado en el corregimiento de Santa Elena, Medellín, Colombia se evaluaron los efectos de *Trichoderma harzianum*, un consorcio de micorrizas, *Pseudomonas fluorescents*, viruta de pino y un tratamiento testigo en el control de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en papa Diacol Capiro; para lo cual se utilizó un (DCA), con cuatro repeticiones y cinco tratamientos; donde los resultados muestran que el testigo presenta una incidencia de 32%, obteniéndose diferencias significativas respecto a los demás tratamientos, donde la aplicación de *T. harzianum*, micorrizas y *P. fluorescents* fueron las más destacadas por la baja presencia de síntomas en raíces y tubérculos (Restrepo et al., 2009).

La investigación de Mesa et al., (2017), también se señala que *Spongospora subterranea*, es uno de los principales problemas que afectan la producción de papa y si difícil control efectivo, por lo que surge la necesidad de crear una alternativa de manejo con la utilización de *Trichoderma spp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Streptomyces spp.* y la evaluación de aditivos como: biocarbón, quitina y el quitosán; donde los resultados arrojados por la evaluación de las plantas a las 8 semanas después de la siembra, indican que la severidad en el desarrollo de agallas se redujo en la mayoría de tratamientos en un ($P>0,05$), siendo *Streptomyces spp.* el que mayor reducción obtuvo, hasta en un 51,41%.

El estudio evaluó seis aislados de *Trichoderma* y tres de *Bacillus subtilis*, aplicados individualmente y en combinaciones, para promover el crecimiento de frijoles secos y controlar el *damping-off* causado por *Rhizoctonia solani* en pepino. En cuanto al crecimiento, la combinación de *T. atroviride* cepa 6 y *B. subtilis* B69 mostró el mayor incremento en biomasa seca de las plántulas (+43.4% comparado con el control), resultado confirmado en estudios de rizotróf. En el control biológico, los aislados individuales de *T. harzianum* kmd, *T. atroviride* cepa 3A y *T. harzianum* cepa SY fueron los más efectivos, aumentando significativamente la

supervivencia de las plántulas frente a *R. solani*. Las combinaciones no superaron el efecto de los tratamientos individuales más efectivos (Yobo et al., 2011).

El estudio realizado por Simango y Van der Waals, (2017), evaluó seis tratamientos de suelo para controlar *Spongospora subterranea* en raíces y tubérculos de papa en invernadero. Los tratamientos incluyeron productos químicos (metam sodio, fluazinam), enmiendas (ZincMax, cianamida cálcica) y agentes biológicos (Biocult y una combinación de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma asperellum*). Todos redujeron significativamente la cantidad de zoosporangios en las raíces y el ADN de *S. subterranea* en el suelo en comparación con el control no tratado. Metam sodio redujo más la severidad e incidencia de la enfermedad, con una eficacia del 58% en la reducción de la severidad, seguido por fluazinam y ZincMax, ambos con una eficacia del 50%, mientras Biocult tuvo un 8% y la combinación de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma asperellum* alcanzó un 25% de eficacia en la reducción de la severidad. La cianamida cálcica mostró el mayor rendimiento en tubérculos, mientras que el metam sodio y el fluazinam fueron los más eficaces en reducir la severidad e incidencia de la enfermedad. Estos tratamientos representan alternativas prometedoras para el manejo integrado de *S. subterranea*.

El estudio analizó la efectividad de dos consorcios bacterianos para controlar *Spongospora subterranea* en papa orgánica (*Solanum tuberosum* var. andígena). El consorcio C1, compuesto por *Bacillus subtilis*, *B. megaterium* y *B. thuringiensis*, logró una reducción significativa en la incidencia de pústulas (4,5%) y en el número de quistosoros en el suelo, superando al consorcio C2 (*Pseudomonas fluorescens* y *P. moraviensis*) y al testigo (23,8% de incidencia). Aunque C2 presentó el mayor rendimiento en tubérculos, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en esta variable. Se concluye que el consorcio C1 es una alternativa prometedora para el manejo integrado de *Spongospora subterranea* (Ortiz y Rodríguez, 2021).

3.7. Biofertilizantes

Los biofertilizantes son productos formulados con uno o varios microorganismos benéficos, principalmente se utilizan hongos y bacterias, que incrementan la disponibilidad de nutrientes para las plantas, por lo que ofrecen ventajas como una producción que conlleva menor costo, la protección del medio ambiente y el aumento de la fertilidad y biodiversidad del suelo, que de acuerdo a su uso predominante, se los clasifican en cuatro grupos: fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, captadores de fósforo, promotores del crecimiento vegetal y protectores de la rizosfera (Beltrán & Bernal, 2022).

3.7.1. Microorganismos benéficos: generalidades.

En general se conocen como microorganismos benéficos a aquellos organismos microscópicos capaces de generar efectos positivos en el entorno que habitan, incluyendo sistemas y organismos biológicos, donde destacan sus capacidades de control biológico en plagas; siendo parte de este grupo los virus, hongos y bacterias, los cuales se han convertido en alternativas ecológicas fácilmente aplicables a manera de, biopesticidas, bioinsecticidas, bioestimulante, entre otros usos dentro del mundo agrícola (Rojas et al., 2016).

3.7.2. *Trichoderma* spp.

Trichoderma spp. es un hongo que puede utilizarse ampliamente como un agente biocontrolador capaz de aprovechar los nutrientes que otros hongos patógenos necesitan para sobrevivir; además este hongo tiene como ventaja, su gran resistencia a condiciones ambientales extremas, a fungicidas, y su alta viabilidad en la mayoría de los sustratos, en gran parte por su capacidad reproductiva, por ello, ha sido utilizado para el control de enfermedades que causan pudrición de la raíz a nivel de suelo tales como: *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Pythium* (Infante et al., 2009).

El género *Trichoderma* tiene la capacidad de producir compuestos como enzimas líticas, antibióticos y compuestos de bajo peso molecular, los cuales facilitan la penetración de hifas de *Trichoderma* spp. he inhiben el crecimiento y desarrollo de patógenos, que, por otra parte, estos compuestos actúan como factores que estimulan el desarrollo de las plantas y su nutrición (Hernández et al., 2019).

3.7.3. *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis es una bacteria Gram positiva con forma de bacilo que habita y se desarrolla en un pH de 4,2 y 9,7, a temperaturas de entre 28 y 35 grados centígrados, tiene buena capacidad antifúngico y establece asociaciones benéficas con las raíces de la planta, pudiendo fijar nitrógeno en el suelo y solubilizar fosfatos para mejorar su asimilación, además, sintetiza y emite ácido indol acético a la planta y produce fitohormonas que estimulan la elongación de las raíces (Cruz et al., 2021)

La colonización del sistema radicular de las plantas por *Bacillus subtilis*, es una asociación benéfica que da lugar a la formación de una biopelícula, la cual se ve influenciada por los exudados de radicales y los quimiorreceptores de las bacterias, que luego coloniza las raíces a manera de enjambre (González et al., 2022). Sin embargo, dicha interacción también genera la producción de antibióticos, sideróforos, enzimas líticas y toxinas, que evitan el establecimiento de patógenos, además, la biopelícula puede actuar como una barrera física, que puede producir sustancias como, butanediol y acetoina, que promueven la floración, cuaje y maduración de frutos (Villarreal et al., 2018).

3.8. Interacción, enmiendas cálcicas y microorganismos

El calcio desempeña un papel fundamental en el desarrollo y funcionamiento de las plantas, no solo como un nutriente esencial para la estabilidad estructural de las paredes celulares, sino también como un regulador clave en numerosos procesos fisiológicos, su disponibilidad en el suelo y su absorción por las raíces en forma de Ca^{2+} influyen directamente en la fortaleza de los tejidos vegetales, la señalización celular y la resistencia a factores de estrés (Gómez et al., 2021) Además, la dinámica del calcio también participa en los sistemas de comunicación secundaria que existen entre los pelos radicales y el suelo o sustrato, vía por donde se da paso al ingreso de nutrientes desde el exterior al interior de las plantas, y tiene la capacidad de corregir la acidez y estructura del suelo al inmovilizar elementos como el Al^{+3} , y controlar la permeabilidad del suelo (Amponsah et al., 2022).

El uso combinado de enmiendas cálcicas y microorganismos tiene un potencial sinérgico en la supresión de patógenos. En estudios previos, se ha observado que la aplicación de cal agrícola a razón de (2 t ha⁻¹), junto con hongos del género *Trichoderma* 1x10⁹ resultó en una reducción significativa de la incidencia de enfermedades en cultivos de papa. El calcio no solo mejoró las condiciones físicas del suelo, sino que también aumentó la colonización por parte de los hongos benéficos, lo que maximizó su capacidad de competir con patógenos como *Spongospora subterranea* (Piña et al., 2019).

3.9. Relevancia socioeconómica

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la provincia del Carchi, es una de las actividades agrícolas más expandidas dentro de la provincia, así también, requieren de mayor inversión económica para los productores, quienes, en las últimas décadas, se han enfrentado al ataque de *Spongospora subterranea*, que afecta negativamente en la producción del tubérculo y por ende, reduce su valor comercial en el mercado (INEC, 2024). Con este propósito, y con el fin de brindar un aporte al Plan Nacional Agropecuario, dispuesto por el Ministerio de la Agricultura, se ha propuesto el desarrollo de este ensayo experimental, que busca encontrar una forma más rentable, eficiente e integral, para controlar el ataque, severidad e incidencia de *Spongospora subterranea* en papa, mediante la aplicación de microorganismos benéficos y enmiendas clásicas, que buscan enfrentar el ataque del patógeno al mismo tiempo que aumentan el rendimiento del cultivo (Albuja et al., 2020).

CAPÍTULO IV

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

- Equipos de información (libro de campo, computadora)
- Materiales de oficina (Impresora, papel, otros)
- Software del programa Excel
- Software XLSTAT (Version 2024.3.0.1423) (Licencia b1672737-bf0f-472b-a655-46d8039fd97)

4.1.1. Materiales de campo

- Cinta métrica
- Balanza
- Bomba de mochila
- Traje protector
- Mascarillas
- Guantes
- Azadas
- Piola
- Botas de uso agrícola
- Estacas
- Rótulos de identificación

4.1.2. Insumos

- Fertilizante edáfico (100 N, 200 P₂O₅, 60 K₂O, 40 S, 40 Mg) kg ha⁻¹
- Semilla de papa Capiro certificada (INIAP)
- Fungicidas
- Plaguicidas

4.1.3. Equipos y maquinaria

- Tractor agrícola y aperos
- Bomba estacionaria para fumigación

4.2. Manejo del experimento

4.2.1. Ubicación del área de estudio

Tabla 2.

Descripción del área de estudio

<i>Información</i>	<i>Lugar</i>
<i>Provincia</i>	Carchi
<i>Cantón</i>	Espejo
<i>Parroquia</i>	San Isidro
<i>Sector</i>	La Ranchería
<i>Latitud</i>	0°36'10,4" Norte
<i>Longitud</i>	78°00'35,3" Oeste
<i>Temperatura promedio anual</i>	12,3 °C
<i>Precipitación promedio anual</i>	878,0 mm/año
<i>Humedad relativa promedio</i>	70,30%
<i>Altitud (m.s.n.m.)</i>	3010

Nota. Adaptado de “Análisis económico de cultivos andinos presentes en las provincias de Imbabura y Carchi –Ecuador”, (p. 9), por L. Albuja, T. Viscaíno, J. Argón, 2020, *Revista Argentina de economía agraria*, 21(1).

Figura 6.

Imagen satelital de lote experimental



Nota. Obtenido de Google-maps, 2024 (<https://www.google.com.ec/maps/>)

4.3. Diseño experimental

Para la investigación se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), conformado por tres bloques con ocho tratamientos.

4.3.1. Análisis funcional

- Prueba de normalidad de *Shapiro-Wilk*
- Prueba de normalidad de promedios *Tukey* al 5%
- Coeficiente de variación

4.3.2. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, los datos que se obtuvieron del desarrollo de la investigación, fueron tabulados y procesados por medio del software de Lumivero, (2025) *XLSTAT stadistical and data análisis solution*. New York, USA. <https://www.xlstat.com/es/>, mientras que para cada variable se realizó el análisis estadístico a fin de determinar la normalidad de los datos, a través de la prueba *Shapiro-Wilk*, se estableció el análisis de Varianza (ANOVA), y se realizó la prueba *Tukey* al 5% al existir significancia entre los diferentes tratamientos.

4.3.3. Unidades experimentales

Los tamaños de las unidades experimentales fueron de 45 m².

Tabla 3.

Características del diseño experimental por parcela

Características de la Unidad Experimental (Parcela)					
Densidad de siembra		Tamaño de la unidad experimental		Número de surcos	Número de plantas por unidad
	Entre plantas (m)	Entre surcos (m)	Largo por ancho (m)		
Papa	0,6	1,2	8,40 m x 5,40 m.	7	63

El diseño para la Unidad Experimental o parcela, estuvo conformado por 7 surcos de 5,40 m de longitud, con un espacio entre surcos de 1,20 m y un espacio de 0,6 m entre plantas, de acuerdo a lo estipulado por e (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias [INIAP] et al., 2011, 2021). Además, consta de 63 plantas por parcela.

4.3.4. Tratamientos

Tabla 4.

Descripción de tratamientos

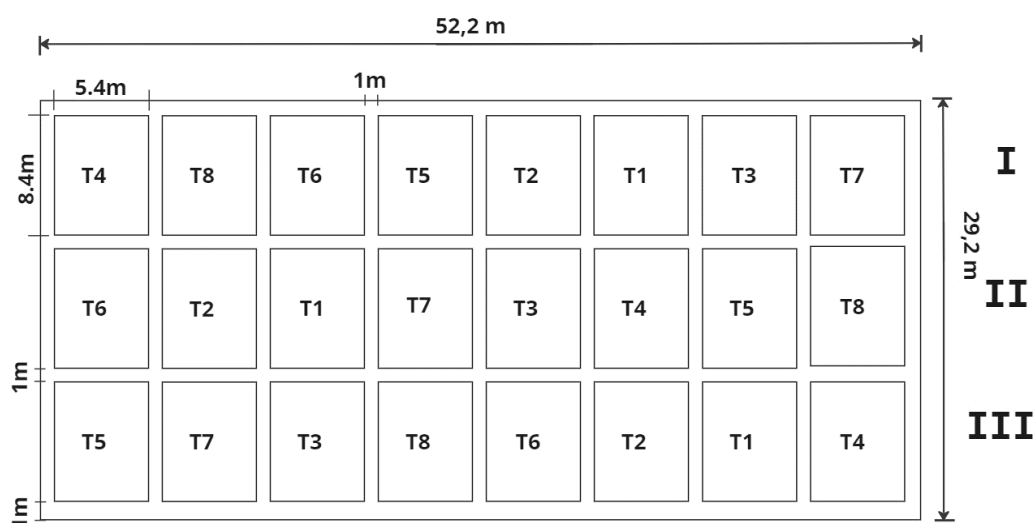
<i>Tratamientos</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>
T1	CaO (calcio líquido)	10 kg ha ⁻¹
T2	Carbonato de calcio (CaCO ₃)	2 t ha ⁻¹
T3	<i>Trichoderma</i> spp.	1x10 ⁶
T4	<i>Bacillus subtilis</i>	1x10 ⁶
T5	(<i>Trichoderma</i> spp. + <i>Bacillus subtilis</i>) 1x10 ⁶	1x10 ⁶ ; 1x10 ⁶
T6	(<i>Trichoderma</i> spp. + <i>Bacillus subtilis</i>) 1x10 ⁶ + CaO 10 kg ha ⁻¹ (calcio líquido)	1x10 ⁶ ; 1x10 ⁶ ; 10 kg ha ⁻¹
T7	(<i>Trichoderma</i> spp. + <i>Bacillus subtilis</i>) 1x10 ⁶ + CaCO ₃ 2 t ha ⁻¹	1x10 ⁶ ; 1x10 ⁶ ; 2 t ha ⁻¹
T8	Testigo absoluto	

Nota. Adaptado de “*Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura” (p. 4), por Y. Gonzáles, J. Ortega, M. Anducho, Y. Mercado, 2022, *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 1(25).

4.3.5. Distribución de las unidades experimentales

Figura 7.

Distribución de las parcelas experimentales



4.3.6. Análisis de varianza (ANOVA)

Se empleó el análisis de varianza ANOVA. La prueba Tukey al 5% (0,05) se utilizó para la comparación estadística de los resultados promedios.

Tabla 5.

Esquema de análisis de varianza ANOVA

<i>Fuente de variación</i>	<i>Grados de libertad</i>
<i>Total</i>	23
<i>Tratamientos</i>	7
<i>Bloques</i>	2
<i>Error experimental</i>	14

4.3.7. Manejo del experimento

La investigación se llevó a cabo en campo e incluyó la ejecución de labores como la preparación mecánica del terreno, la siembra, el aporque, la aplicación de controles fitosanitarios y la recolección de datos de las variables en investigación.

Sin embargo, antes del desarrollo de la investigación, se realizaron diversas actividades previas, tales como el muestreo y análisis del suelo, el cálculo de la fertilización, la dosificación del fertilizante edáfico, la delimitación de la parcela, la extracción y reproducción de los microorganismos.

4.3.8. Preparación del sitio experimental

- **Selección del sitio para la implementación del ensayo**

El estudio se lo realizó en el Sector La Ranchería, parroquia San Isidro, cantón Espejo, provincia del Carchi, donde el lote fue seleccionado, debido a que previamente presentó infestación del patógeno en cultivos de papa establecidos anteriormente. Mediante el método de conteo por cámara de Neubauer, siguiendo el protocolo de Muñoz y Rodríguez, (2021), se determinó la presencia de esporas a razón de 15×10^6 por gramo de suelo, luego de haber analizado las muestras de suelo en laboratorio. Las muestras se disolvieron en 1g de suelo en 20 ml de agua destilada, y se tintaron con azul de tripano, realizando la posterior observación en microscopio óptico con aumento de 20x. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Thangavel et al., (2015), quien resalta que un suelo con historial de infección por *Spongospora subterranea*, es propenso a presentar un mayor ataque del patógeno en los nuevos tubérculos, incluso si el número de esporas es bajo, como 1942 esporas por gramo.

- **Delimitación del ensayo y muestreo de suelo**

El área delimitada para la investigación fue de 1524,24 m². En el lugar se realizó el muestreo de suelo según lo recomendado por la guía técnica de Mendoza y Espinoza, (2017), quienes

indican que las muestras de suelo deben tomarse 30 días antes del establecimiento del cultivo, a una profundidad de 20 cm, donde el muestreo se lo realizó en zigzag, con un número de entre 15 submuestras por lote, las cuales se mezclaron uniformemente, de donde se extrajo la muestra final de 500 g de suelo, para luego ser enviado al laboratorio acreditado “Santa Catalina” en Quito, donde se determinaron los niveles de N, P, K, Ca, Mg, S, pH, CE, MO y la determinación de la conformación del suelo. (ANEXO 2).

- **Preparación del suelo**

Previo a la instalación del ensayo, se realizó la mecanización del suelo utilizando rastra de tiro y subsolador tratando de evitar el desplazamiento de tierra debido a que el lote presenta una pendiente. Es un suelo de tipo andisol, medianamente ligero, con abundante materia orgánica (8,87%). Esta actividad se la ejecutó de la siguiente manera: dos pases de rastra 60 días antes de la siembra; dos pases de subsolador 30 días después del pase de rastra; y nuevamente dos pases de rastra, luego de 5 días del pase del subsolador. Todo esto con la finalidad de descomponer las malezas, soltar el suelo, evitando su desplazamiento, y al día siguiente del último pase de rastra, poder hacer el trazado de los surcos.

- **Trazado de unidades experimentales**

Los surcos se trazaron a una distancia de 1,20 m entre surcos, con una longitud de 5,40 m y una distancia entre plantas de 60 cm, en cada unidad experimental. La delimitación de las áreas de cada unidad experimental, se la realizó con la ayuda de estacas y piola, dejando caminos de 1 m, para separar cada unidad experimental. Adicionalmente, se colocaron letreros que identificaban cada uno de los tratamientos.

- **Manejo de semilla**

La semilla de papa de la variedad Capiro utilizada en la siembra de las parcelas experimentales es certificada y fue obtenida en el INIAP, por lo que solo fue expuesta a luz indirecta hasta que los brotes alcanzaron el tamaño adecuado para la siembra.

- **Semilla y siembra**

Para la investigación se utilizó semilla certificada de papa de la variedad Capiro, que de acuerdo con Fabián Montesdeoca, (2005), debe tener un peso promedio de 60 g por tubérculo, con un número promedio de 6 brotes cortos (2 cm) y vigorosos.

En cuanto a la siembra, esta se la realizó de acuerdo con INIAP et al., (2021), sembrando a razón de una semilla por golpe o una semilla por sitio de siembra, a una profundidad de 10 cm, una separación entre surcos de 1,20 m y la distancia entre plantas se estableció en 0,60 m, en función de la topografía del terreno, ya que presenta una pendiente, facilitando así el control fitosanitario y la toma de datos (Almeida et al., 2016).

4.4. Manejo específico del experimento

4.4.1. Aplicación de tratamientos

Los tratamientos se aplicaron en tres ocasiones, la primera aplicación se realizó al momento de la siembra, con la finalidad de prevenir el ataque de *Spongospora subterranea* durante la

emergencia del cultivo, ya que como lo indica Acuña et al., (2022), el patógeno puede infectar a la planta tan pronto como se realiza la siembra. La segunda aplicación se realizó a los 40 días después de la siembra (después de la deshierba), y la tercera aplicación se la realizó a los 65 días después de la siembra, luego de la fertilización complementaria (reabone), en relación a Gómez et al., (2008), manifestando que las raíces de la planta pueden sufrir algún daño por la manipulación de las azadillas, lo que favorece el ingreso o la proliferación del patógeno en las raíces; por lo tanto, la aplicación de los tratamientos puede prevenir el ingreso del patógeno a la planta. Cabe mencionar que las raíces de las plantas se mantienen susceptibles al ataque del patógeno independientemente de su edad, pudiendo presentar zoosporas a los 45 días después de la siembra (Thangavel et al., 2015).

4.4.2. Amontonamiento (retape)

Es una labor que se hace comúnmente realizada en la provincia de Carchi a los 15 días después de la siembra, con el objetivo de controlar las malezas y permitir la incorporación de la fertilización mineral edáfica a todos los tratamientos (Pumisacho y Sherwood, 2002). De acuerdo con la recomendación del laboratorio de suelos de la Estación Experimental “Santa Catalina” INIAP, se debe aplicar el 53% de la dosis de fertilización sugerida, correspondiente a nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5), y potasio (K_2O); a razón 66, 174 y 12 ($kg\ ha^{-1}$), respectivamente.

4.4.3. Deshierba y Rascadillo

La deshierba es una labor que se la realizó a los 35 días después de la siembra; mientras que el rascadillo se efectuó a los 45 días después de la siembra, ambas labores tienen como objetivo remover la capa superficial del suelo para controlar las malezas y permitir que el suelo se airee (INIAP et al., 2021).

4.4.4. Fertilización complementaria (reabone)

El reabone es un acumulamiento abundante de tierra alrededor de las plantas y a lo largo del surco, labor que se realizó a los 60 días después de la siembra, sirve para proporcionar sujeción a la planta, soltando el suelo, eliminando malezas y permitir la incorporación de la fertilización mineral complementaria, correspondiente al 47 % restante de la dosis de fertilización recomendada, obtenida de los resultados arrojados del análisis de suelo, realizado por el laboratorio de suelo del INIAP de la estación “Santa Catalina” ubicada en Quito (INIAP et al., 2011).

4.4.5. Aporque

El aporque se lo efectuó a los 95 días después de la siembra, levantando una capa de tierra sobre el surco de papa con la ayuda de un azadón, a fin de cubrir los estolones y tubérculos, para evitar que sean alcanzados por la luz solar, ayudando de esta manera a crear un ambiente óptimo

para el llenado o tuberización, controlando malezas, proporcionando firmeza a la planta y facilitar la cosecha (Gallegos et al., 2011).

4.4.6. Cosecha

La cosecha debe llevarse a cabo cuando los tubérculos alcanzan su madurez fisiológica, la cual se puede comprobar mediante los siguientes indicadores: plantas amarillas y secas, tubérculos maduros sin desprendimiento de la piel, y finalización del ciclo vegetativo, que según Montesdeoca, (2005), esto ocurre aproximadamente a los 150 días después de la siembra. Sin embargo, INIAP et al., (2021), señala que la cosecha puede tardarse hasta los 180 días después de la siembra, especialmente en pisos altitudinales desde de los 3000 m.s.n.m., como en el que se encontraba ubicado el ensayo.

4.5. Método de evaluación

4.5.1. Variables independientes

- Variedad de papa Capiro, certificada
- Cal agrícola (CaCO_3)
- Pasta cálcica (CaO)
- *Trichoderma spp.* 1×10^6
- *Bacillus subtilis* 1×10^6

4.5.2. Variables dependientes

4.5.3. Porcentaje de emergencia

El porcentaje de emergencia se evaluó en una sola ocasión, a los 35 días después de la siembra, siguiendo lo mencionado por Montesdeoca, (2005). Para determinar el porcentaje de emergencia, se realizó un conteo de las plantas emergidas en cada una de las parcelas, y se relacionaron con el número total de semilla sembradas, luego, el resultado obtenido se lo expresó en (%) (Nolasco et al., 2016).

4.5.4. Altura de la planta

La altura de las plantas, según la investigación de Gilchrist et al., (2011), se midió en tres ocasiones, a los 70, 90 y 105 días después de la siembra, ya que su medición está relacionada con la afectación de las plantas por *Spongospora subterranea*. Los datos se tomaron de todas las 63 plantas de cada tratamiento, y consistió en medir la altura desde la base de los tallos hasta el ápice, utilizando el centímetro como unidad de medida.

4.5.5. Incidencia de *Spongospora subterranea* en la raíz

La incidencia de *Spongospora subterranea* en raíces se evaluó a los 180 días, con el objetivo de obtener los resultados más exactos posibles al evaluar la totalidad de las plantas,

considerando el número de plantas infectadas respecto al número total de plantas por tratamiento, para luego establecer el porcentaje de incidencia (Restrepo et al., 2009).

Para el cálculo se aplicó la fórmula que se muestran a continuación:

$$\text{Incidencia de raíces} = \frac{\text{Número de plantas por parcela que presentaron síntomas en raíz}}{\text{Número total de plantas por parcela}}$$

Nota. (Restrepo et al., 2009)

La variable se evaluó por una sola ocasión a los 180 días después de la siembra (dds); tomando los datos de todas las plantas (63 plantas) que componen cada parcela. La evaluación se la llevó a cabo durante la cosecha, identificando el número de plantas con presencia de agallas en las raíces y comparando estos resultados con el número total de plantas sembradas en cada parcela, expresando los resultados en porcentaje.

4.5.6. Incidencia de *Spongospora subterranea* en tubérculos

La incidencia de *Spongospora subterranea* se evaluó tomando en cuenta el número de tubérculos infectados respecto al número total de tubérculos obtenido por planta, esta evaluación se aplicó en cada tratamiento para luego obtener su resultado en porcentaje (Restrepo et al., 2009).

Se aplicó la fórmula que se muestran a continuación:

$$\text{Incidencia en tubérculos} = \frac{\text{Número de tubérculos por planta que presentaron síntomas}}{\text{Número total de tubérculos por planta}}$$

Nota. (Restrepo et al., 2009)

Esta variable se evaluó en una sola ocasión a los 180 días después de la siembra (dds); tomando los datos de todas las plantas (63 plantas) de cada parcela. Para ello, los tubérculos de cada planta cosechada fueron dispersados en el suelo, teniendo cuidado de retirar toda la tierra para mejorar la visualización y poder verificar la presencia de tumores en cada uno de los tubérculos, para luego comparar el número de tubérculos infectados con el número total de tubérculos.

4.5.7. Severidad de *Spongospora subterranea* en la raíz.

La severidad del daño radicular causado por (*Spongospora subterranea*), se evaluó a la cosecha a los 180 días después de la siembra en todas las plantas (63 plantas) de cada parcela. Para ello se empleó una escala de puntuación visual según Ramírez et al., (2013), que va de 1 a 5; donde 1 señala un daño radicular de 1 – 5 %, indicándose como una infección Leve; y 5 señala un porcentaje mayor al 50 %, considerándose una infección Muy Grave. (Tabla 6) y (Figura 8)

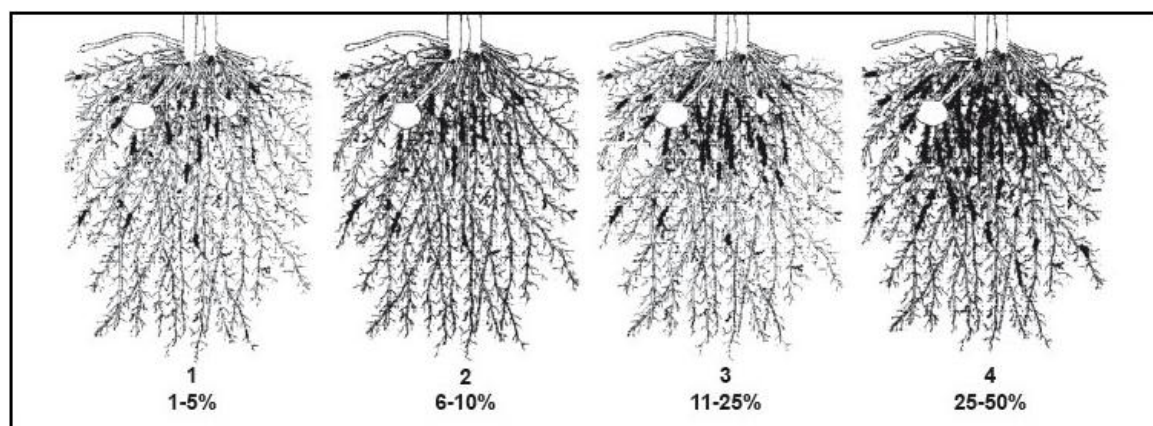
Tabla 6.

*Escala porcentual de la afectación de (*Spongospora subterranea*), en la raíz*

Escala	Daño radicular (%)	Equivalencia
1	1-5%	Leve
2	6-10%	Moderado
3	11-25%	Moderadamente grave
4	25-50%	Grave
5	>50%	Muy grave

Nota. “Uso de esquejes de tallo lateral para evaluar la resistencia de genotipos de *Solanum phureja* a *Spongospora subterranea* f. sp. *Subterranea*”, por L. Ramírez, M. Zuluaga, P. Gonzalez, 2013, *In Tropical Plant Pathology*, 38(4).

Figura 8. *Escala para la evolución de severidad de (*Spongospora subterranea*) en las raíces del cultivo de (*Solanum tuberosum* L.)*



Nota. “Uso de esquejes de tallo lateral para evaluar la resistencia de genotipos de *Solanum phureja* a *Spongospora subterranea* f. sp. *Subterranea*”, por L. Ramírez, M. Zuluaga, P. Gonzalez, 2013, *In Tropical Plant Pathology*, 38(4).

4.5.8. Severidad de *Spongospora subterranea* en tubérculos

La severidad del daño en tubérculos se evaluó en todas las plantas (63 plantas) de cada parcela, a los 180 días después de la siembra (al momento de la cosecha), en la cual cada tubérculo infectado, en cada planta, fue evaluado de forma individual utilizando una escala de puntuación visual, que va desde 1 a 4; donde 1 representa un daño de 0 - 1 %, indicando una infección baja; y la escala 4 representa un daño del 50 %, lo que se considera una infección Muy Severa (%) (Gabriel et al., 2017). Para ello se aplicó la escala visual porcentual descrita en la (Tabla 7) y (Figura 9).

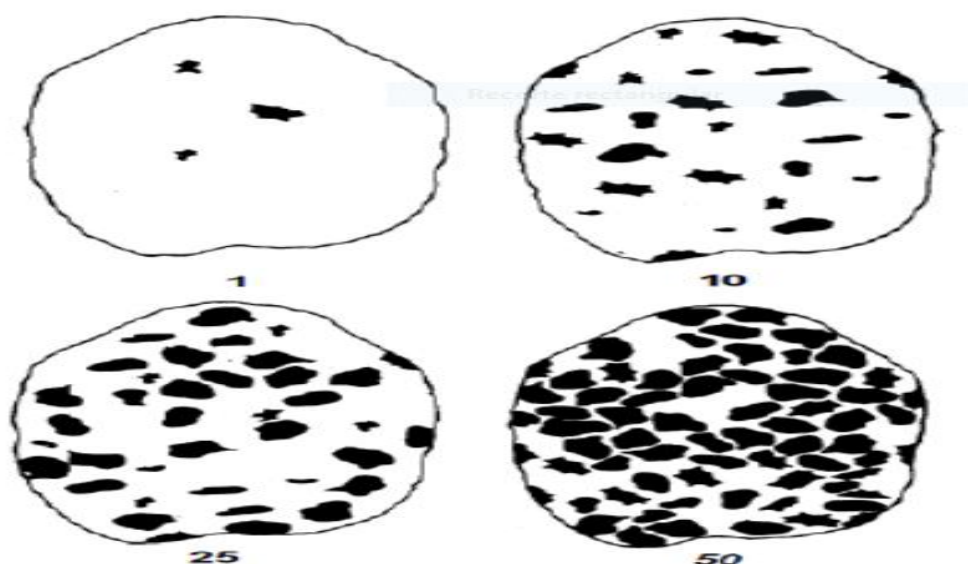
Tabla 7.

Escala porcentual para medir la severidad de (Spongospora subterranea) en tubérculos (Solanum Tuberosum L.)

Escala	Daño de tubérculos (%)	Equivalencia
1	0-1%	Baja
2	2-10%	Ligera
3	11-25%	Severa
4	26-50%	Muy severa

Nota. Adaptado de “Manual de evaluación para enfermedades de cultivos”, por J. Gabriel, Ñ. Ortuño, M. Vera, & C. Castro, 2017, *Grupo COMPAS*.

Figura 9. *Escala para la evaluación de (Spongospora subterranea) en tubérculos (Solanum Tuberosum L.)*



Nota. Adaptado de “Manual de evaluación para enfermedades de cultivos”, por J. Gabriel, Ñ. Ortuño, M. Vera, & C. Castro, 2017, *Grupo COMPAS*.

4.5.9. Rendimiento total en kilogramos por parcela neta

Para el cálculo de esta variable se cosecharon todas las 63 plantas que conforman cada parcela a los 180 días después de la siembra al ser una variedad tardía, el peso obtenido en (kg), luego, se lo expresó como rendimiento en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$), en concordancia con el ensayo realizado por Leal et al., (2017).

4.5.10. Rendimiento por categorías.

Se llevó a cabo una clasificación en tres categorías según las características físicas, en función de lo descrito por INIAP et al., (2021) y la escala mostrada a continuación: (Tabla 8)

- **Primera.** - Tubérculos que alcanzaron los 120 g o más, que no tuvieron deformaciones.
- **Segunda.** - Tubérculos con un peso de 90 g, redondos y sin deformaciones.
- **Tercera.** - Tubérculos con un peso de 25 g o menos.

De cada categoría se obtuvo el peso de los tubérculos en kilogramos, por cada una de las unidades experimentales, de acuerdo con lo propuesto por Cortez, (2017). Para facilitar la sistematización de los datos, los resultados se expresaron en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$), además se realizó un análisis estadístico del rendimiento en las categorías (primera, segunda, y tercera).

Tabla 8.

Escala para clasificar a los tubérculos en diferentes categorías de acuerdo a su peso y diámetro

Categorías	Diámetro (mm).	Peso (g)
Primera	80 a más	120 o más
Segunda	60-80	90
Tercera	60 o menos	25

Nota. Adaptado de *Etapa vegetativa: brotación de la semilla* (p. 21), por INIAP, 2021, Manual del cultivo de papa para pequeños productores .

CAPÍTULO V

5 Resultados y Discusión

5.1. Prueba de normalidad y homogeneidad de varianza

Tabla 9.

Prueba de normalidad y homogeneidad de varianza

Variables	Observaciones	Promedio	Desviación estándar	Shapiro_test	p-valor	Levene test	
						F (valor crítico)	p-valor (bilateral)
ALTURA 70 dds (cm)	24	60,57	4,92	0,96	0,41	0,22	0,97
ALTURA 90 dds (cm)	24	65,23	4,89	0,97	0,74	0,65	0,71
ALTURA 105 dds (cm)	24	66,52	5,13	0,97	0,74	0,68	0,69
INCIDENCIA RAIZ (%)	24	10,19	5,21	0,96	0,36	0,35	0,92
INCIDENCIA TUBERCULO (%)	24	1,65	0,99	0,97	0,69	1,05	0,44
SEVERIDAD RAIZ (%)	24	5,63	3,09	0,99	0,99	0,64	0,72
SEVERIDAD TUBERCULO (%)	24	2,40	1,31	0,98	0,88	2,21	0,09
RENDIMIENTO (t ha ⁻¹)	24	39,62	5,78	0,97	0,60	0,58	0,76
PAPA PRIMERA (t ha ⁻¹)	24	25,36	3,70	0,97	0,60	0,58	0,76
PAPA SEGUNDA (t ha ⁻¹)	24	11,09	1,62	0,97	0,60	0,58	0,76
PAPA TERCERA (t ha ⁻¹)	24	3,17	0,46	0,97	0,60	0,58	0,76

Luego de realizada la prueba de normalidad por medio del test de Shapiro-Wilk, se observa que los datos provienen de una distribución normal, puesto que el valor de la probabilidad es superior al $p > 0,05$. De la misma forma, el test de homogeneidad de varianza de Levene, determina que las variables propuestas para el experimento tienen homogeneidad en las varianzas.

5.2. Porcentaje de emergencia (%)

El porcentaje de emergencia, determinó que las aplicaciones de las enmiendas cálcicas y los microorganismos que comprenden los tratamientos T1 (10 kg ha⁻¹ CaO); T2 (2t ha⁻¹ CaCO₃); T3 (*Trichoderma* spp. 1x10⁶); T4 (*Bacillus subtilis* 1x10⁶); T5 (*Trichoderma* spp. 1x10⁶ + *Bacillus subtilis* 1x10⁶); T6 (10 kg ha⁻¹ CaO + (*Trichoderma* spp. 1x10⁶ + *Bacillus subtilis* 1x10⁶); T7 (2t ha⁻¹ CaCO₃ + *Trichoderma* spp. 1x10⁶ + *Bacillus subtilis* 1x10⁶); y el T8 (Testigo absoluto); no tuvieron diferencias significativas en cuanto al número de plantas emergidas en las parcelas experimentales, en vista de que todos los tratamientos presentaron un 100% de emergencia. (Tabla 10)

Tabla 10.

Porcentaje de emergencia (%), por tratamiento a los 35 días después de la siembra

Tratamientos	Repet. I	Repet. II	Repet. III	Suma	Promedio
T1	100	100	100	300	100
T2	100	100	100	300	100
T3	100	100	100	300	100
T4	100	100	100	300	100
T5	100	100	100	300	100
T5	100	100	100	300	100
T7	100	100	100	300	100
T8	100	100	100	300	100

El alto porcentaje de emergencia de los tubérculos se le ve atribuido a la alta calidad de la semilla utilizada, puesto que se emplearon semillas certificadas para realizar el experimento. Esta afirmación es respaldada por el estudio de (Cortez, 2017), quien reportó que el uso de semillas certificadas de tubérculos alcanza una emergencia superior al 97% en los ensayos de campo. Así mismo (Guerrero et al., 2019), señala que una buena humedad del suelo puede influir significativamente en la emergencia, alcanzando hasta un 70,37% en su evaluación a los 25 días después de la siembra, manejando niveles de humedad entre el 27% y el 29%. Por su parte (Tuquerrez et al., 2023), destaca que las semillas certificadas de papa presentan una menor susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades, incluso en las etapas iniciales del cultivo.

Con esto se concluye que, los resultados obtenidos reflejan que las semillas certificadas utilizadas en el ensayo son de excelente calidad, como lo demuestra el 100% de emergencia alcanzado en todas las parcelas. Este desempeño puede deberse a la adecuada humedad del suelo en las zonas altas, como por la resistencia propia de las semillas al ataque de plagas, siendo factores importantes que favorecieron la germinación de los tubérculos.

5.3. Altura de planta (cm) a los 70, 90 y 105 días después de la siembra.

El análisis de varianza (Tabla 11) para la altura de las plantas a los 70, a los 90 y a los 105 días después de la siembra (cm), muestran que existieron diferencias altamente significativas para los tratamientos en estudio, y no se presenta diferencia estadísticas para los bloques. El promedio de la altura para estas variables es 60,57 (cm); 65,23 (cm); y 66,52 (cm) respectivamente. El coeficiente de variación para los datos de estas variables es de 1,46 (%); 2,55 (%); y de 1,71 (%), lo que demuestra una poca dispersión de datos en comparación a sus promedios respectivos. (Tabla 11)

Tabla 11.

Análisis de varianza de la variable toma de altura de plantas de los 70 a los 105 días después de la siembra (cm)

<i>Fuente</i>	<i>Altura a los 70 dds</i>			<i>Altura a los 90 dds</i>		<i>Altura a los 105 dds</i>	
	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F. cal</i>	<i>CM</i>	<i>F. cal</i>	<i>CM</i>	<i>F. cal</i>
<i>Modelo</i>	9	60,68	77,98 ***	56,83	20,53 ***	65,32	50,20 ***
<i>Total, corregido</i>	23						
<i>Tratamientos</i>	7	77,98	100,20 ***	72,13	25,05 ***	82,90	63,71 ***
<i>Bloques</i>	2	0,15	0,19 ns	3,28	1,18 ns	3,80	2,92 ns
<i>Error</i>	14	0,78		2,77		1,30	
<i>Promedio (cm)</i>		60,57		65,23		66,52	
<i>CV (%)</i>		1,46		2,55		1,71	

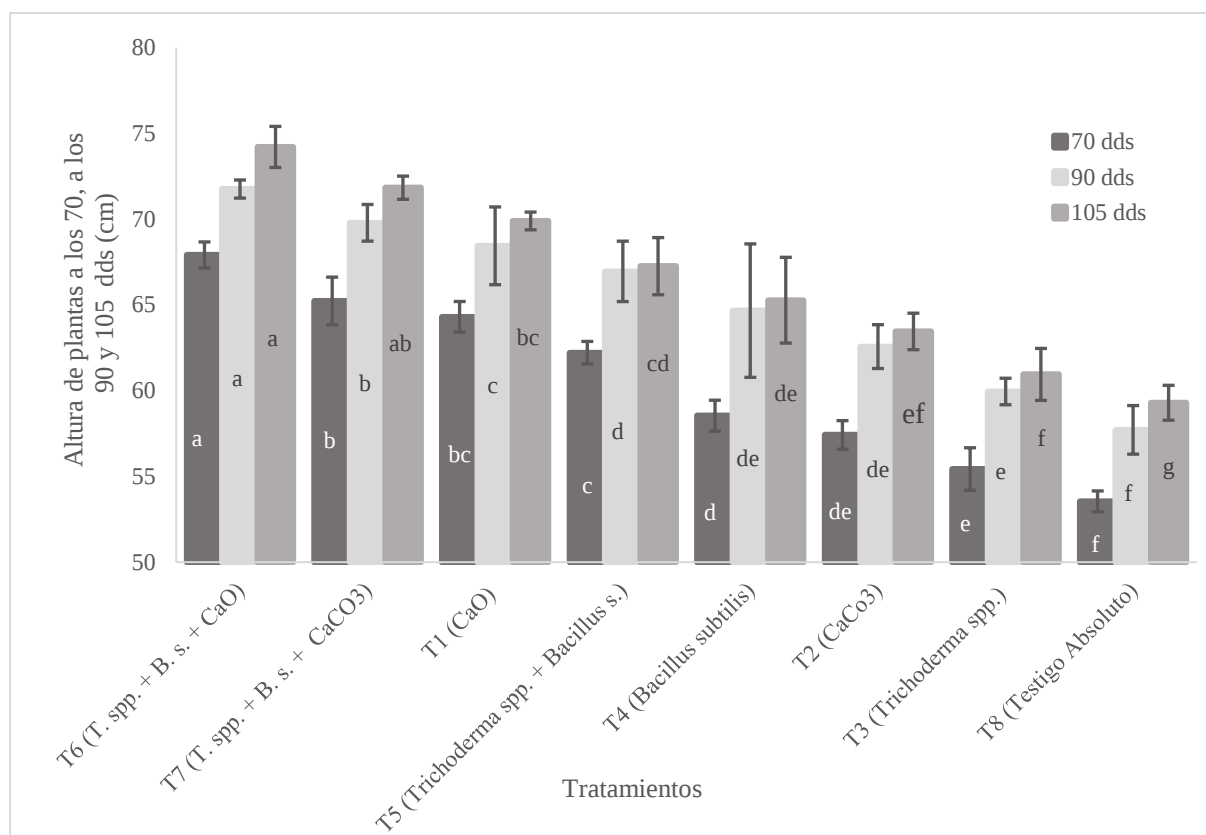
Calculado contra el modelo $Y = Media(Y)$

*Signification codes: $0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ^\circ < 1$*

Al realizar la comparación por medio de la prueba de Tukey al 5% (Figura 10) de los tratamientos evaluados en las variables altura de plantas a los 70; a los 90 y a los 105 días después de la siembra (cm), podemos señalar que a los 70 días, se identificaron ocho rangos de significancia, siete a los 90 días y ocho a los 105 días después de la siembra. El tratamiento T6 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus subtilis* + CaO) presentó la mayor altura promedio de 69,70 cm a los 70 días después de la siembra, en comparación al tratamiento T8 (Testigo absoluto) que registró una menor altura promedio de 53,54 cm. A los 90 días después de la siembra el tratamiento T6 presentó una altura promedio de 72,75 cm, mientras que el tratamiento T8 registró una menor altura promedio de 57,71 cm. A los 105 días después de la siembra T6 registra la mayor altura con promedio de 74,20 cm, muy superior a T8, que presento una menor altura con promedio de 59,29 cm. En general se aprecia que la altura de las plantas con el tratamiento T6 es superior en un 21,30%, en comparación con los resultado del tratamiento T8.

Figura 10.

Prueba de comparación múltiple de promedios Tukey al 5% para las variables de altura de plantas a los 70, a los 90 y a los 105 días después de la siembra (cm)



La aplicación combinada de enmiendas cálcicas y microorganismo (biofertilizantes) han demostrado ser confiables, ya que el calcio en la mezcla actúa como regulador de pH, mejora la estructura del suelo y optimiza la conductividad eléctrica en la zona radicular, como lo destacan (Calva y Espinosa, 2017). Además, González et al., (2022), señala que los microorganismos *Bacillus subtilis* y *Trichoderma spp.* inducen en las plantas la producción de fitohormonas como ácido indolacético, ácido antranílico, ácido giberélico, auxinas y citoquininas, así como fitoalexinas asociadas al mecanismo de defensa de las plantas, lo que les da la capacidad de mantenerse más jóvenes y vigorosas por más tiempo, antes de comenzar la senescencia.

Esto coincide con los hallazgos de Beltrán y Bernal., (2022), quienes definen a los biofertilizantes como productos elaborados a partir de microorganismos benéficos, principalmente hongos y bacterias, que mejoran la disponibilidad de nutrientes, mejorando la biodiversidad del suelo, colonizando la rizosfera, e impulsando el crecimiento vegetativo. Por su parte, Herrera et al., (2013) destaca que el uso de enmiendas cálcicas incrementa el pH del suelo, beneficiando la actividad microbiana, favoreciendo su dispersión y permanencia en la rizosfera, en suelos con pH cercanos a 7. Por otro lado, Labrada et al., (2014), señalan que la producción de ácido cítrico y ácido ascórbico por las bacterias, en cultivos de solanáceas, participa en procesos metabólicos que mejoran la calidad de las plantas, aumentando la longitud y el diámetro del tallo.

En conclusión, las aplicaciones combinadas de enmiendas cálcicas y biofertilizantes, como

Bacillus subtilis y *Trichoderma spp.*, demuestran ser una estrategia eficaz para mejorar el desarrollo y la productividad de los cultivos, por un lado, el calcio mejora las propiedades físico químicas del suelo, por si parte los microorganismos promueven la producción de fitohormonas y otros compuestos que estimulan el desarrollo vegetal. Esto se ve demostrado en el desarrollo evolutivo que presentan los tratamientos T6 y T7 evaluados a los 70, 90 y 105 días después de la siembra, los cuales presentan las mayores alturas de 67,90 a 74,20 (cm) y de 65,22 a 71,83 (cm) respectivamente; siendo evidente el efecto de las ftohormonas en el incremento de la tasa fotosintética, la división celular y elongación del tallo.

5.4. Incidencia de *Spongospora subterranea* en raíz

El análisis de varianza para la variable incidencia de *Spongospora subterranea* en raíz (%) (Tabla 12), muestra que existieron diferencias altamente significativas para los tratamientos en estudio, y no se presenta diferencia significativa para los bloques. El promedio de incidencia en raíz para esta variable es de 10,19 (%). El coeficiente de variación para esta variable es de 14,28 %, lo que demuestra una poca dispersión de datos en comparación al promedio.

Tabla 12.

*Análisis de varianza de la variable incidencia de (*Spongospora subterranea*) evaluada en raíz (%)*

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Modelo</i>	9	594,818	66,091	31,255	<0,0001	***
<i>Total, corregido</i>	23	624,423				
<i>Tratamientos</i>	7	590,829	84,404	39,915	<0,0001	***
<i>Bloques</i>	2	3,989	1,995	0,943	0,413	ns
<i>Error</i>	14	29,604	2,115			
<i>Promedio (%)</i>	10,19					
<i>CV (%)</i>	14,28					

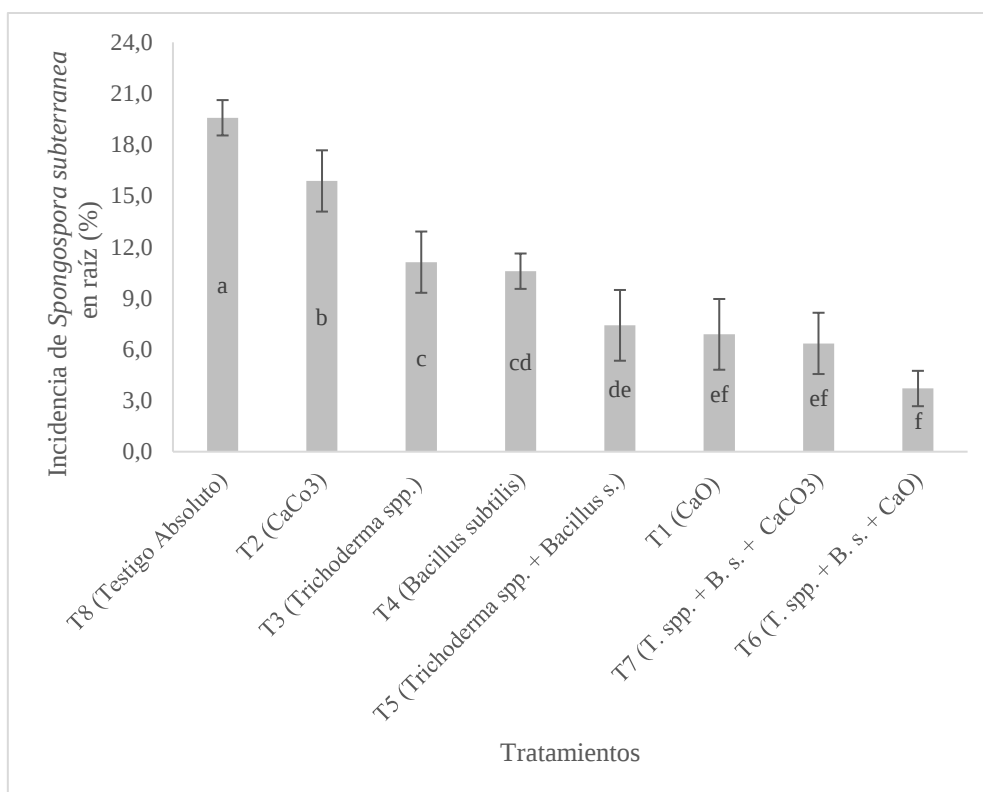
Calculado contra el modelo $Y=Media(Y)$

*Signification codes: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1*

La prueba de Tukey al 5% de los tratamientos para la variable incidencia de *Spongospora subterranea* en la raíz de la planta (%) (Figura 11), muestra la existencia de siete rangos de significancia, donde el tratamiento T8 (Testigo absoluto) con rango a), presenta la mayor incidencia en la raíz con un promedio del 19.58 %, siendo un valor muy superior al de su contraparte, el tratamiento T6 (*Trichoderma spp.* + *Bacillus subtilis* + CaO) con rango f), que presenta la menor incidencia con un promedio de 3,70%. Esto muestra que T8 resulta afectado con un 15,88% más que el tratamiento T6.

Figura 11.

*Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable incidencia de (*Spongospora subterranea*) en raíz (%)*



En un estudio realizado por Araujo et al., (2011), se determinó que la incidencia de *Spongospora subterranea*, en las raíces tiene relación con el pH, es decir, la incidencia aumenta al elevarse el pH del suelo, y disminuye cuando el pH del suelo baja; sin embargo, los resultados del tratamiento T8, T2 y T1 contradicen este hecho. Además, Acuña et al., (2022), menciona que la incidencia de *Spongospora subterranea*, se ve influenciada por los exudados de las raíces, que aumentan de acuerdo con el incremento del pH y la disponibilidad de nutrientes que esto supone.

Por su parte Camacho et al., (2015), indica que las enmiendas líquidas de calcio son mucho más asimilables por las plantas, que las enmiendas sólidas como el carbonato de calcio. Así mismo, el trabajo realizado por Ferro et al., (2024), denota que dichas enmiendas líquidas elevan el pH del suelo de manera rápida y son de fácil aplicación. Moreno et al., (2021), también señala que la rápida asimilación del calcio tiene efectos positivos en la protección general de la planta, puesto que participa más activamente en la comunicación celular, las respuestas al estrés, engrosamiento de la pared celular, la división y expansión de las células vegetales a nivel radicular, dificultado el ingreso de patógenos, efecto que se refleja en el tratamiento T1.

Por otro lado, Rojas et al., (2009), en su investigación, demuestra que el uso combinado de calcio y *Trichoderma spp.* tiende a mejorar el grosor de la pared y el tamaño de las células vegetales a nivel radicular, aumentando la longitud y el número de raíces de las plantas. Esto corrobora lo expuesto por Piña et al., (2019), quien señala la importancia de la incorporación de calcio al suelo, en el desarrollo y la proliferación de los microorganismos. Sumado a ello, Mesa et al., (2017), expresa que la aplicación combinada de *Trichoderma spp* y *Bacillus*

subtilis, tiene gran impacto en la disminución del ataque y la incidencia de patógenos en el sistema radicular; por lo que no es de extrañar que los tratamientos T6 y T7 presenten la menor incidencia de todos los tratamientos.

A manera de conclusión, se puede afirmar, que, si bien se pensaba que al aumento del pH aumentaba la incidencia de *Spongospora subterranea*, influenciada por los exudados radiculares, los tratamientos T8 y T2, demuestran lo contrario al compararlo con el tratamiento T1, lo que indica que la rápida asimilación de la pasta cálcica de T1 mejoró el grosor de la pared celular, dificultando la infección de las raíces. En el mismo sentido, los tratamientos T6 y T7, se vieron beneficiados con la incorporación de las enmiendas cálcicas, sumado a la interacción de los microorganismos *Trichoderma spp* y *Bacillus subtilis*, que participan de forma activa en el control biológico de patógenos, lo que les dio la ventaja como estrategia de control de la incidencia, especialmente el tratamiento T6.

5.5. Incidencia de *Spongospora subterranea* en tubérculos

En el análisis de varianza para la variable incidencia de *Spongospora subterranea*, en los tubérculos (%) (Tabla 13), se observa la existencia de una diferencia altamente significativa para los tratamientos, y no existe diferencia significativa para los bloques. El promedio de incidencia de esta variable es de 1,65%. El coeficiente de variación es de 7,84%, demostrando poca dispersión de los datos respecto al promedio.

Tabla 13.

*Análisis de varianza de la variable incidencia de (*Spongospora subterranea*) evaluada en tubérculos (%)*

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Modelo</i>	9	22,369	2,485	148,149	<0,0001	***
<i>Total, corregido</i>	23	22,604				
<i>Tratamientos</i>	7	22,356	3,194	190,364	<0,0001	***
<i>Bloques</i>	2	0,013	0,007	0,398	0,679	ns
<i>Error</i>	14	0,235	0,017			
<i>Promedio (%)</i>	1,65					
<i>CV (%)</i>	7,84					

Calculado contra el modelo $Y=Media(Y)$

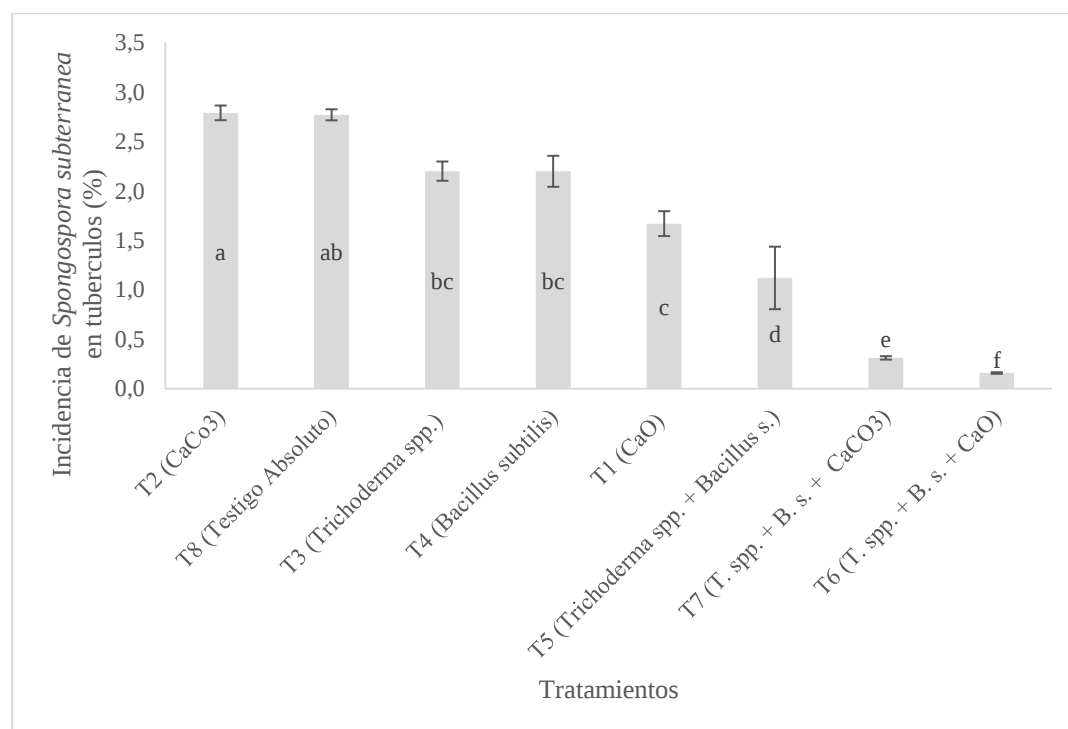
*Signification codes: $0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ^ \circ < 1$*

La comparación mediante la prueba de Tukey al 5% de los tratamientos en la variable incidencia de *Spongospora subterranea* en el tubérculo (%) (Figura 12), determinó la presencia de siete rangos de significancia. El tratamiento con mayor incidencia en tubérculos es T2 (CaCO₃) de

rango a), con un promedio de 2,79%; sin embargo, el de menor incidencia resultó ser el tratamiento T6 (*Trichoderma spp.* + *Bacillus subtilis* + CaO) de rango f), con un promedio de incidencia de y 0,16%. Por otro lado, el tratamiento T8 (Testigo absoluto) no presentó diferencia significativa respecto a T2.

Figura 12.

*Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable incidencia de (*Spongospora subterranea*) evaluada en tubérculos (%)*



En este contexto los tratamientos T2 y T8 presentan el mayor porcentaje de incidencia en tubérculos, lo cual puede explicarse por la capacidad de los esporozoos de *Spongospora subterranea*, para infectar a los tubérculos, esto en relación a lo descrito por Shi et al., (2023), quien menciona que las precipitaciones facilitan la migración de las esporas adheridas a las raíces de las plantas infectadas hacia los tubérculos, favoreciendo su desarrollo debido a la alta humedad en el suelo. Además, Shah et al., (2012), menciona que la mayor infección de tubérculos ocurre en temperaturas de entre 9 a 17 °C, debido a que las bajas temperaturas estimulan la liberación de zoosporas incluso sin la presencia de un hospedero.

Por su parte, el tratamiento T5 es el tercer mejor tratamiento, ya que Villarreal et al., (2018) encontró que la acción simbiótica de la interacción de *Trichoderma spp.* con *Bacillus subtilis*, tienen mejor acción de control biológico, que su aplicación individual, ya que juntos crean una biopelícula que actúa como escudo físico y biológico, compuesto por micelio. De la misma forma, Hernández et al., (2019), manifiesta que dicho micelio, presenta flagelos sintetizados capaces de producir antibióticos, enzimas líticas, y toxinas que atacan a los agentes patógenos cercanos al sistema radicular. Si bien la combinación de estos microorganismos genera un impacto positivo en la incidencia de los tubérculos, el trabajo de Hoyos et al., (2009), indica que su capacidad reproductiva se alcanza de forma óptima en suelos con pH neutro, lo que se

ve reflejado en los tratamientos T6 y T7, implementan enmiendas cálcicas y presentan la menor incidencia en los tubérculos.

Con base en los resultados, se puede decir que el manejo integrado de microorganismos *Trichoderma spp.* y *Bacillus subtilis*, junto con las enmiendas cálcicas de CaCO_3 o CaO , es la estrategia más eficiente para reducir la incidencia de *Spongospora subterranea* en tubérculos, al generar un ambiente desfavorable y con pocos nutrientes para el desarrollo del patógeno, sin embargo, este efecto se ve maximizado con la reducción del pH del suelo mediante el uso de las enmiendas cálcicas. Situación contraria que se presenta en los tratamientos T2, T8, T3, T4 y T1.

5.6. Severidad de *Spongospora subterranea* en raíz

El análisis de varianza para la variable severidad de *Spongospora subterranea* en raíz (%) (Tabla 14), muestra que existieron diferencias altamente significativas para los tratamientos en estudio, y no se presenta diferencia significativa para los bloques. El promedio de severidad para esta variable es de 5,63 (%). El coeficiente de variación para esta variable es de 9,83%, que demuestra poca dispersión de datos en comparación al promedio.

Tabla 14.

Análisis de varianza de la variable severidad de (*Spongospora subterranea*) evaluada en raíz (%).

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values signification codes
Modelo	9	9,950	1,106	162,836	<0,0001	***
Total, corregido	23	10,045				
Tratamientos	7	9,932	1,419	208,989	<0,0001	***
Bloques	2	0,018	0,009	1,300	0,303	ns
Error	14	0,095	0,007			
Promedio (%)	5,63					
CV (%)	9,83					

Calculado contra el modelo $Y = \text{Media}(Y)$

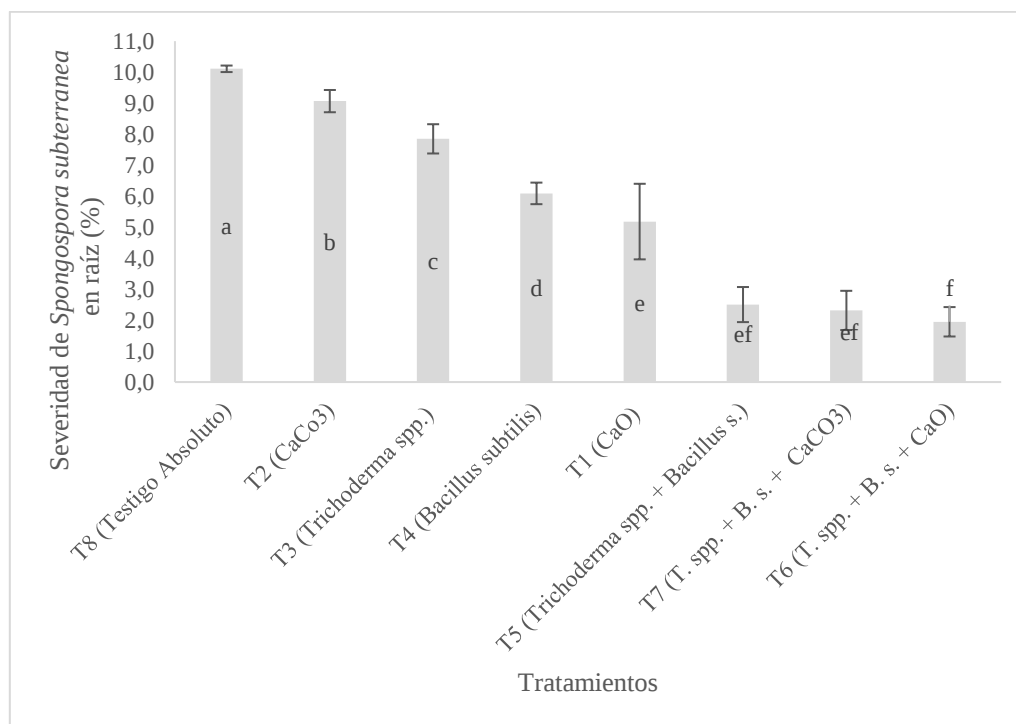
Signification codes: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

La prueba de Tukey al 5% de los tratamientos evaluados en la severidad de *Spongospora subterranea* en la raíz de la planta (%) (Figura 13), muestra que existen siete rangos de significancia. El tratamiento con mayor severidad es T8 (Testigo absoluto) de rango a), con un promedio de 10,11%, por otro lado, el tratamiento de mayor beneficio es T6 (*Trichoderma spp.* + *Bacillus subtilis* + CaO) de rango f), el cual presentó el menor ataque de severidad en raíces

con un promedio de 1,94%. Esto indica la superioridad del T6, puesto que reduce la infección en un 8,17% en comparación con el tratamiento T8.

Figura 13.

*Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable severidad de (*Spongospora subterranea*) en raíz (%)*



En los tratamientos T8 y T2, presentan el mayor porcentaje de síntomas visibles de severidad de *Spongospora subterranea* en la raíz, lo cual se atribuye a la ausencia de microorganismos benéficos en el suelo, lo que coincide con, Ferro et al., (2024), quien indica que las enmiendas cálcicas de carbonato de calcio mejoran el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes, pero no poseen efectos antagónicos hacia patógenos de suelo. De manera similar, Araujo et al., (2011), afirma que las variaciones del pH en el suelo no afectan significativamente la severidad del patógeno. Por su parte, Amponsah et al., (2023), menciona que el metabolito L-glutamina derivado de los exudados radiculares, es el principal desencadenante de la liberación de zoosporas, desde las esporas en reposo, aumentando su motilidad hacia las raíces de las plantas huésped.

Por otro lado, los tratamientos T5, T6 y T7 presentan los menores porcentajes de severidad en las raíces, en gran parte al control biológico activo ejercido por los microorganismos; de acuerdo a, Villarreal et al., (2018), menciona que la bacteria *Bacillus subtilis* actúa como un agente biocontrolador al colonizar las raíces, formando una barrera física que responde a los exudados radiculares. Así mismo, Infante et al., (2009), señala que el hongo *Trichoderma spp.* compete con los fitopatógenos por nutrientes y estimula la respuesta sistémica del hospedero a nivel radicular. De forma complementaria, Duque et al., (2009), demuestra en su investigación, que la aplicación de microorganismos biocontroladores limita la infección por *Spongospora subterranea*, lo que redujo significativamente la formación de agallas y tumores en las raíces.

Según los resultados obtenidos, se puede concluir que el sistema radicular de las plantas infectadas no presentó un desarrollo severo de tumores o agallas en los tratamientos que incluyen microorganismos y enmiendas cálcicas. Sin embargo, aunque T8 se empleó como tratamiento de testigo absoluto, este tampoco superó el 10% de severidad, lo cual refleja una infestación leve, probablemente atribuible a la buena calidad de la semilla empleada.

5.7. Severidad de *Spongospora subterranea* en tubérculos

El análisis de varianza para la variable severidad de *Spongospora subterranea* en tubérculos (%) (Tabla 15), muestra que existieron diferencias altamente significativas para los tratamientos en estudio, mientras que no se presentaron diferencia significativa para los bloques. El promedio severidad para esta variable es de 2,40 (%). El coeficiente de variación es de 13,66 %, lo que demuestra poca dispersión de datos en comparación al promedio.

Tabla 15.

Análisis de varianza de la variable severidad de Spongospora subterranea evaluada en tubérculos (%)

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Modelo</i>	9	38,231	4,248	39,371	<0,0001	***
<i>Total, corregido</i>	23	39,742				
<i>Tratamientos</i>	7	38,149	5,450	50,511	<0,0001	***
<i>Bloques</i>	2	0,082	0,041	0,380	0,691	ns
<i>Error</i>	14	1,511	0,108			
<i>Promedio (%)</i>	2,40					
<i>CV (%)</i>	13,66					

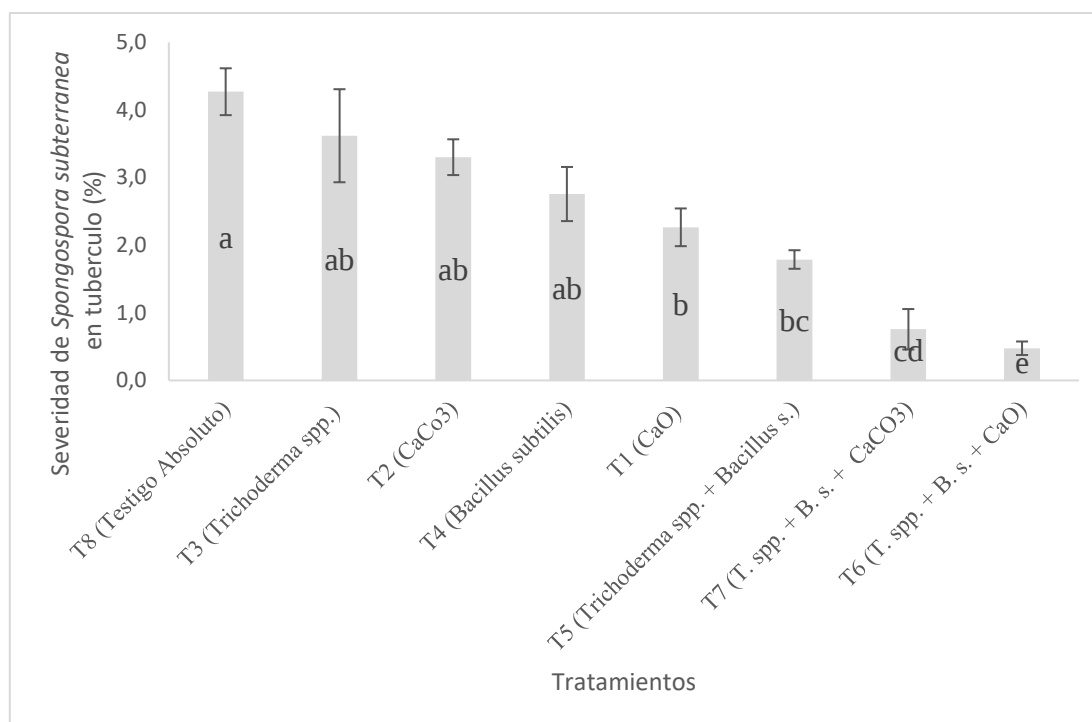
Calculado contra el modelo $Y = Media(Y)$

*Signification codes: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1*

Al comparar por medio de la prueba de Tukey al 5% los tratamientos en la variable severidad de *Spongospora subterranea* en los tubérculos (%) (Figura 14), podemos afirmar que, existen seis rangos de significancia. El tratamiento con mayor porcentaje de severidad es el tratamiento T8 (Testigo absoluto) de rango a), con un promedio del 4,27%; mientras que el tratamiento T6 (*Trichoderma spp.* + *Bacillus subtilis* + CaO) de rango e), presenta la menor severidad con un promedio de 0,40%. Esto muestra la baja eficacia del tratamiento T8, para la reducción de la severidad en tubérculos, en comparación a T6 que redujo la severidad en un 3,87%.

Figura 14.

Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable severidad de Spongospora subterranea en tubérculo (%)



El tratamiento T8 presenta el mayor porcentaje de severidad de *Spongospora subterranea* en tubérculos, lo que demuestra su susceptibilidad ante la infección del patógeno, en comparación con los tratamientos a los que se les aplicó las medidas de biocontrol con microorganismos, en concordancia con lo señalado por Arango et al., (2012), quien menciona que los microorganismos biocontroladores pueden proteger a los tubérculos contra este tipo de infecciones debido a la alta producción de enzimas quitinasas y celulasas que crea un ambiente hostil para las zoosporas que puedan liberarse, ya que pueden llegar a afectar la estructura celular externa del patógeno al estar compuestas por celulosa, proteína, quitinas y glucanos. De manera similar, Falloon et al., (2016), afirma que la severidad de *Spongospora subterranea* afecta negativamente el desarrollo y el aspecto visual de los tubérculos, disminuyendo su valor comercial. Además, Gómez et al., (2008), indica que la variedad de papa Capiro puede alcanzar hasta un 30% de severidad bajo condiciones favorables para el patógeno.

El tratamiento que presentó menor porcentaje de severidad fue el tratamiento T6, debido a que es un tratamiento integral, que según, Yobo et al., (2011); el uso combinado de *Trichoderma* spp. con *Bacillus subtilis* potencia la supresión del ataque de patógenos gracias a una mayor producción de fitohormonas. Esto, combinado con la aplicación de pasta cálcica, genera un mayor crecimiento, colonización y adaptación de los microorganismos al suelo y al cultivo (Millán et al., 2011). Por otro lado, Rojas et al., (2009), menciona que la susceptibilidad de los frutos puede aumentar debido a la deficiencia de calcio y el mínimo grosor de la pared celular, lo que explica los resultados del tratamiento T1, que utiliza una enmienda cálcica más asimilable que T2, y en cuestión presenta menor severidad. Mientras que Gilchrist et al., (2009), destaca que la severidad se agrava en función de las condiciones del suelo, principalmente por la concentración de Al^{+3} , que puede exacerbar la infección.

Con los datos obtenidos, se concluye que la severidad de *Spongospora subterranea* en tubérculo está influenciada por la presencia de aluminio Al^{+3} , pero que se inmoviliza con la aplicación de calcio. Mientras que los microorganismos limitan el movimiento del patógeno en el suelo y su migración hacia los tubérculos. Por ende, la aplicación integral reduce significativamente la severidad en los tubérculos, al impedir que las esporas de *Spongospora subterranea* accedan a los nutrientes necesarios y limitar su capacidad de motilidad, dificultando su adhesión a los tubérculos.

5.8. Rendimiento total

El análisis de varianza para la variable rendimiento total por tratamiento ($t\ ha^{-1}$) (Tabla 16), muestra que existieron diferencias altamente significativas para los tratamientos en estudio, y no se presentan diferencias significativas para los bloques. El promedio del rendimiento total para esta variable es de 39,62 ($t\ ha^{-1}$). El coeficiente de variación para esta variable es de 2,10%, lo que demuestra una poca dispersión de datos en comparación al promedio.

Tabla 16.

Análisis de varianza de la variable rendimiento total ($t\ ha^{-1}$)

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Modelo</i>	9	757,689	84,188	122,057	<0,0001	***
<i>Total, corregido</i>	23	767,345				
<i>Tratamientos</i>	7	754,172	107,739	156,202	<0,0001	***
<i>Bloques</i>	2	3,517	1,758	2,549	0,114	ns
<i>Error</i>	14	9,656	0,690			
Promedio ($t\ ha^{-1}$)	39,62					
CV (%)	2,10					

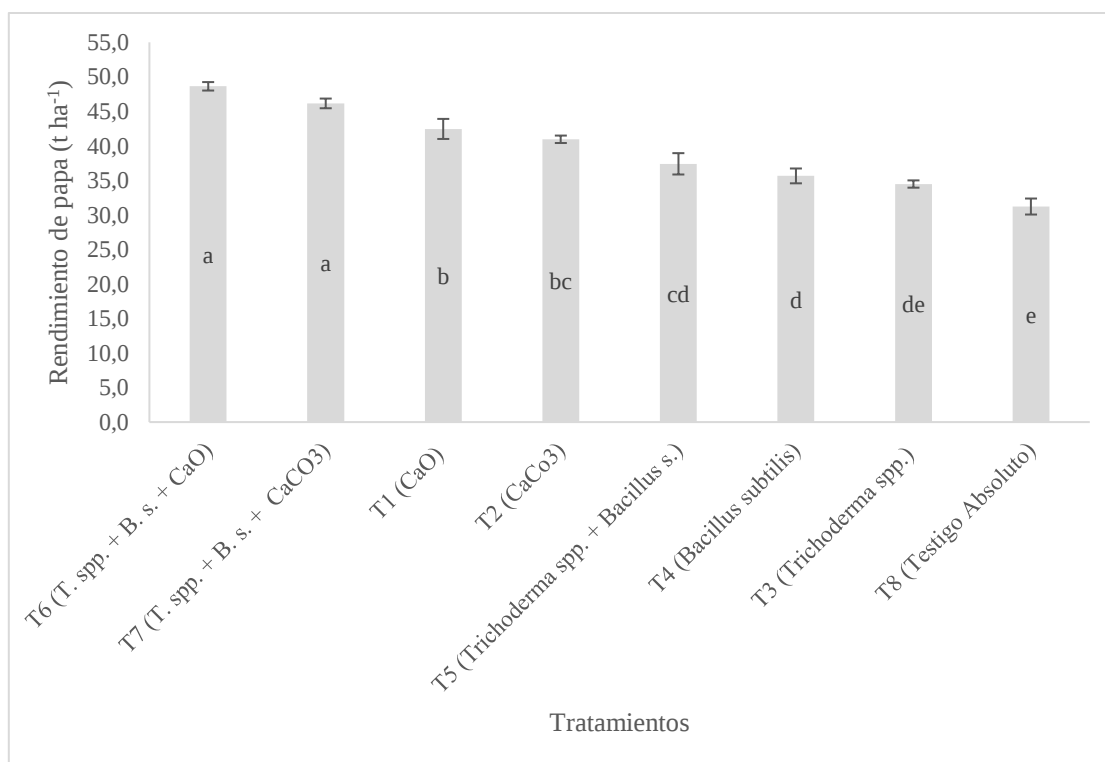
Calculado contra el modelo $Y=Media(Y)$

*Signification codes: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1*

La comparación realizada con la prueba de Tukey al 5% de los tratamientos evaluados en el rendimiento total ($t\ ha^{-1}$) (Figura 15), muestra la existencia de siete rangos de significancia. Los tratamientos con mayor rendimiento y de rango a) son los tratamientos T6 (*Trichoderma spp.* + *Bacillus subtilis* + CaO) y T7 (*Trichoderma spp.* + *Bacillus subtilis* + $CaCO_3$) con promedios de 48,63 $t\ ha^{-1}$; 46,16 $t\ ha^{-1}$ respectivamente y no presentan diferencias significativas. En cuanto que el peor tratamiento es T8 (Testigo absoluto) de rango e), presentando el menor rendimiento con un promedio de 31,22 $t\ ha^{-1}$. Es decir, el tratamiento T6 aumento el rendimiento del cultivo en un 35,80%, en comparación con el tratamiento T8.

Figura 15.

Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable rendimiento total por tratamiento (t ha⁻¹)



De acuerdo con la investigación de Cano, (2011), *Trichoderma spp.* y *Bacillus subtilis*, tienen la capacidad de potenciar la nutrición de las plantas debido a su capacidad para la solubilización de fósforo y la fijación de nitrógeno disponibles para las plantas, lo que se traduce a un aumento potencial del rendimiento de los cultivos; como se observa en el tratamiento T5 superior a sus individuales T4 y T3. Además, estos resultados respaldan lo señalado por Pazos et al., (2016), quien afirma que los biofertilizantes son una alternativa biológica y sostenible respecto a los fertilizantes minerales o una herramienta clave para la reducir su uso a largo plazo.

Por otra parte, los tratamientos compuestos únicamente por enmiendas cálcicas (T1 y T2), también influyen significativamente en el rendimiento, lo que concuerda con Piña et al., (2019), quien demostró que la aplicación de calcio al suelo, en forma de enmiendas, mejora la disponibilidad de nutrientes asimilables, gracias al incremento del pH y la mejora de la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Por su parte Amponsah et al., (2021), también menciona que el calcio en su forma ionizada Ca^{+2} , llegan a alterar los patrones de natación de las zoosporas, limitando la infección del patógeno, y por otro lado participa en la comunicación de suelo raíz. En contraste, los tratamientos T5, T4 y T3, no alcanzaron por sí solos rendimientos similares a T1 y T2, lo que podría explicarse por lo señalado por Mamani et al., (2012), quien indica que *Trichoderma spp.* y *Bacillus subtilis*, se desarrollan óptimamente en temperaturas de 25 a 35 °C y un pH entre 4,5 a 9. Sin embargo, el (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2019) informa que la temperatura promedio anual en la zona del experimento es de 12,3 °C, lo que relentizaría la proliferación microbiana. Adicionalmente Leal et al., (2017), señala que la interacción entre microorganismos y calcio en

la rizosfera contribuye al control de patógenos, promueven el desarrollo radicular, mejora la nutrición y estimula la liberación de hormonas de crecimiento, favoreciendo la tuberización y aumentando el rendimiento; situación que se refleja en los tratamientos T6 y T7. Los rendimientos de estos tratamientos resultan ser competitivos a nivel internacional, tal como se indica en el trabajo de Cortez, (2017), donde se reporta que los rendimientos promedio por hectárea en países como Estados Unidos, Argentina, Chile, Brasil y Bolivia, son de 46,44 t ha⁻¹; 29,25 t ha⁻¹; 23,79 t ha⁻¹; 18,39 t ha⁻¹; y de 5,45 t ha⁻¹, respectivamente.

Con estos resultados, podemos concluir que la aplicación integral de microorganismo *Trichoderma spp.*, *Bacillus subtilis* y enmiendas cálcicas, no solo incrementan la productividad y el rendimiento a nivel nacional, sino también, pone en competencia a los rendimientos de países vecinos como Brasil y Chile, además, esta estrategia promueve la reducción del uso excesivo de fertilizantes minerales para optimizar el rendimiento del cultivo de papa.

5.9. Rendimiento de papa por categorías: primera, segunda y tercera

El análisis de varianza para las variables rendimiento de papa primera, segunda y tercera (t ha⁻¹) (Tabla 17), muestra que existieron diferencias altamente significativas para los tratamientos en estudio, y no se presenta diferencia significativa para los bloques. El promedio del rendimiento para estas variables es de 25,36 (t ha⁻¹); 11,09 (t ha⁻¹); y 3,17 (t ha⁻¹) respectivamente. El coeficiente de variación para estas variables es de 2,10% lo que demuestra una poca dispersión de datos en comparación al promedio.

Tabla 17.

Análisis de varianza de las variables rendimiento de papa primera, segunda y tercera

Fuente	GL	R. papa primera		R. papa segunda		R. papa tercera	
		CM	F. cal	CM	F. cal	CM	F. cal
Modelo	9	35,75	72,262 ***	6,97	24,789 ***	0,74	44,584 ***
Total, corregido	23						
Tratamientos	7	45,88	92,720 ***	8,94	31,803 ***	0,94	56,929 ***
Bloques	2	0,33	0,658 ns	0,07	0,239 ns	0,02	0,285 ns
Error	14	0,49		0,28		0,02	
Promedio (t ha ⁻¹)		25,77		11,60		3,26	
CV (%)		2,73		4,57		3,95	

Calculado contra el modelo $Y = Media(Y)$

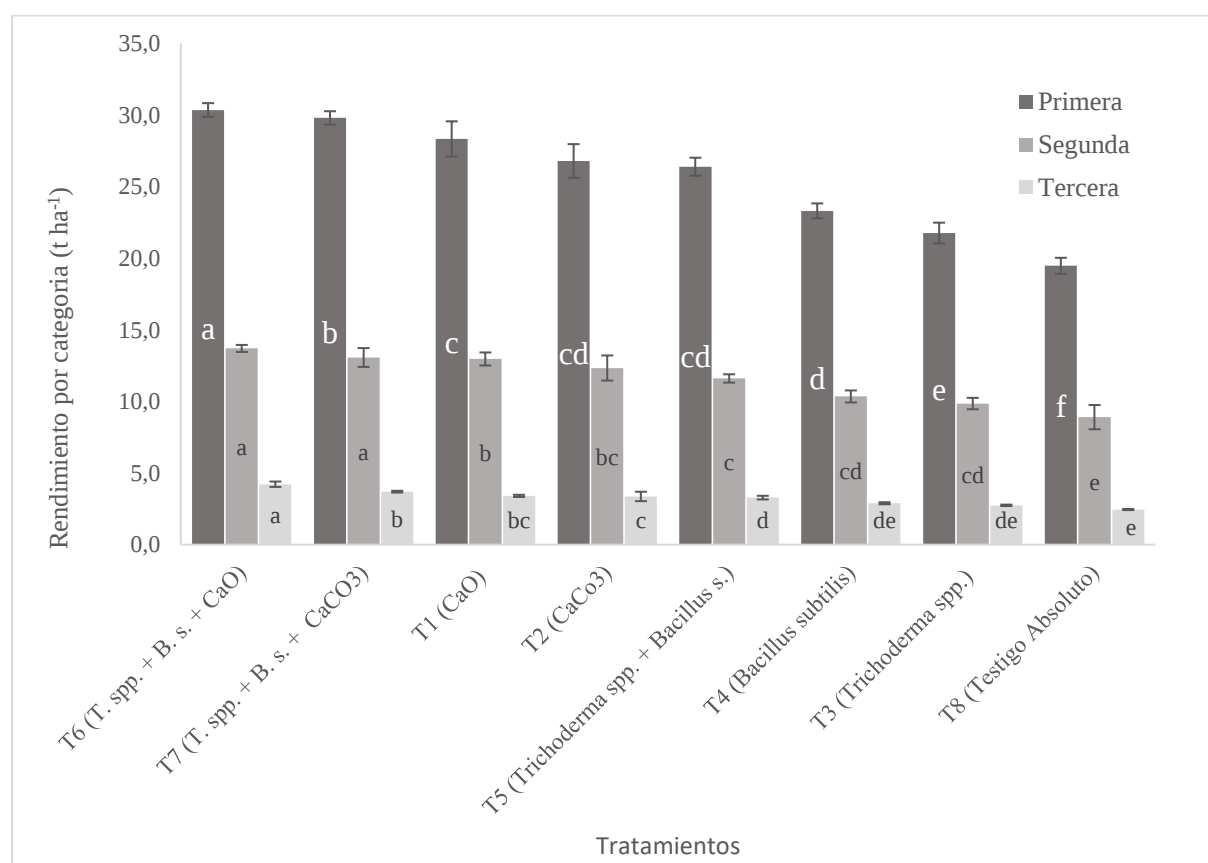
Signification codes: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1

Al comparar por medio de la prueba de Tukey al 5% los tratamientos evaluados en el rendimiento de papa de primera, segunda y tercera categoría (t ha⁻¹) (Figura 16), podemos afirmar, que existe siete rangos de significancia para las categorías de papa primera y tercera, y también seis rangos

para la categoría segunda. El tratamiento con mayor rendimiento en la categoría de papa primera, es T6 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus subtilis* + CaO), con un promedio de 30,35 t ha⁻¹, mientras que el tratamiento con menor rendimiento es T8 (Testigo absoluto), con un promedio de 19,47 t ha⁻¹. En la categoría de papa segunda, los tratamientos con mejor rendimiento son T6 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus subtilis* + CaO) y T7 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus subtilis* + CaCO₃), ya que no presentan diferencias significativas, con promedios de 13,70 t ha⁻¹ y 13,07 t ha⁻¹ respectivamente; mientras que el peor rendimiento corresponde al tratamiento T8 (Testigo absoluto), con un promedio de 8,90 t ha⁻¹. En la categoría de papa tercera, el mejor tratamiento es nuevamente T6 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus subtilis* + CaO), con un rendimiento promedio de 4,22 t ha⁻¹, mientras que el tratamiento con menor rendimiento es T8 (Testigo absoluto) con un promedio de 2,45 t ha⁻¹. En términos generales, se observar que la aplicación del tratamiento T6 incrementa el rendimiento en 35,84% para la categoría de papa primera, en un 35,04% para la categoría de papa segunda y en un 41,94% para la categoría de papa tercera, en comparación a sus respectivos rendimientos en el tratamientos T8.

Figura 16.

Prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey al 5% para la variable rendimiento de papa primera, segunda y tercera (t ha⁻¹)



El mayor rendimiento en papa de la categoría primera se obtuvo en los tratamientos T6 y T7, debido a la aplicación de microorganismos biocontroladores de *Spongospora subterranea*, como lo menciona, González et al., (2022); *Trichoderma* spp. y *Bacillus subtilis*, tienen la capacidad de poner en disposición macronutriente y micronutrientes como hierro, magnesio y manganeso que contribuyen al desarrollo de estolones fuertes y evitan la deformación del tubérculo. De igual manera Arango et al., (2012), destaca que el uso de microorganismo mejora

el llenado, aumenta el número y el tamaño de tubérculos, gracias a la acción de la fitohormona giberelina.

Por su parte Amponsah et al., (2022), resalta la importancia de la interacción del calcio con la rizosfera, señalando que el calcio (Ca^{+}) en las plantas también actúa como mensajero secundario que potencializa la comunicación entre suelo y raíz, incrementando el ingreso de nutrientes hacia la planta; situación que se refleja en los tratamientos T1 y T2, que presentan rendimientos superiores en comparación con aquellos con aplicación única de microorganismos y en comparación al testigo. Sin embargo, Nielsen y Larsen, (2004); indica que el hongo *Trichoderma spp.* favorece el desarrollo radicular y la resistencia a estrés abiótico; y que al igual que *Bacillus subtilis*, puede producir ácido indolacético, ácido antranílico, ácido giberélico, y citoquininas. Esto, según Yobo et al., (2011), mejora la capacidad fotosintética de la planta, lo que se traduce en una mayor tuberización, efecto evidente en el rendimiento de los tratamientos T5, T4 y T3, respecto al testigo T8. De acuerdo a Simango, (2017), estos resultados sugieren que el desarrollo de tubérculos se ve limitado por la calidad del suelo, ya que las enmiendas cálcicas contribuyen a mejorar sus condiciones físicas, químicas y la disponibilidad de nutrientes. Por otro lado Nitzan et al., (2008) y, Strydom et al., (2024), afirman que la infección por *Spongospora subterranea* en las plantas de papa afecta la formación de estolones, la absorción de nutrientes y la capacidad fotosintética, disminuyendo el rendimiento final del cultivo; como se observa en el tratamiento T8.

Con base en los resultados de los rendimientos por categorías, se concluye que los tratamientos integrales T6 y T7 tienen mejores rendimientos en papa de categoría primera y segunda en comparación con T1 y T2, debido a un mejor desarrollo radicular promovido por los microorganismos, lo que mejora la comunicación entre el suelo y la raíz sin incrementar el riesgo de infección por *Spongospora subterranea*, mediante la vía de comunicación secundaria que supone la incorporación de calcio. Por otro parte, los tratamientos que contienen únicamente microorganismos, no presentan diferencias significativas en el rendimiento de papa segunda y tercera. Es decir, que la combinación microbiana del tratamiento T5 presenta un rendimiento mayor en papa primera, en comparación a sus aplicaciones individuales T4 y T3, sin embargo, los rendimientos de papa segunda y tercera, permanecen similares.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- El estudio encontró que las enmiendas cálcicas y los microorganismos aplicados durante la siembra no tuvieron un impacto significativo en el porcentaje de emergencia de las plantas, debido a la alta calidad genética y sanitaria de la semilla certificada de papa utilizada de la variedad Capiro, proporcionada por INIAP, alcanzando un 100% de emergencia en todos los tratamientos.
- Los tratamientos con enmiendas cálcicas, particularmente CaO resultó ser el cuarto mejor tratamiento para la reducción de incidencia y severidad de *Spongospora subterranea*, actuando como un preventivo, al ser de rápida disponibilidad, contribuyendo al fortalecimiento de las paredes celulares vegetales, dificultando la colonización del patógeno tanto en raíces como en tubérculos. Por su parte el CaCO_3 , resultó ser menos efectivo debido a su lenta asimilación, lo que limita la comunicación celular y las respuestas al estrés. Mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo, pero con ello incrementan los exudados radiculares facilitando la infestación del patógeno.
- La aplicación de los microorganismos *Trichoderma* spp. y *Bacillus subtilis* mostró resultados positivos en la protección del sistema radicular y los tubérculos. Su aplicación combinada fue significativamente superior a sus aplicaciones individuales, generando una biopelícula protectora, compitiendo por espacio y nutrientes al aprovechar los exudados radiculares, lo que sumado a la producción de fitohormonas (ácido antranílico, fitoalexinas y toxinas), les otorga una gran capacidad antagónica frente a *Spongospora subterranea*.
- La acción combinada de (*Trichoderma* spp. y *Bacillus subtilis*) con enmiendas cálcicas (CaO), fue la estrategia más eficaz, optimizando el control de *Spongospora subterranea*. La interacción simbiótica entre los microorganismos tiene efectos positivos de biocontrol que, junto con el calcio, mejoran el pH y las condiciones del suelo. Esto maximiza la capacidad de proliferación microbiana, potenciando la colonización de las raíces y tubérculos, contribuyendo al fortalecimiento físico de las plantas, y mejorando el sistema fotosintético, lo que resultó en una baja significativa de incidencia y severidad del patógeno, además permitió alcanzar el mayor rendimiento total de (48,63 t ha⁻¹).

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar calcio líquido en la siembra, ya que puede proporcionar un fortalecimiento de la estructura celular de la planta y reducir la susceptibilidad contra *Spongospora subterranea* durante los primeros 15 días posteriores a la siembra.
- La aplicación de microorganismos debe realizarse cuando el suelo presente condiciones de humedad óptimas, preferiblemente en combinación con productos ricos en calorías, como melaza, esto favorecerá la proliferación de los microorganismos, especialmente en zonas altas donde las temperaturas sean inferiores a 15 °C, para evitar pérdidas de efectividad en el control de *Spongospora subterranea* debido a las condiciones climáticas.
- Para la evaluación de incidencia y severidad de *Spongospora subterranea*, es necesario evaluar cada planta individualmente, lavando las raíces y tubérculos con agua limpia hasta eliminar los residuos de suelo, esto permitirá observar con mayor claridad de los síntomas de la enfermedad y mejorar la precisión de los datos sobre la infección.
- Utilizar semilla de papa certificada de alta calidad, que garantice la uniformidad del cultivo y minimizar errores experimentales. Esto reduce la variabilidad en el número de plantas por parcela y minimiza el riesgo de introducir enfermedades o factores externos que puedan interferir en los resultados del estudio.
- Se recomienda usar equipos específicos para la aplicación de cada tratamiento, o en caso de no contar con equipos diferentes, se debe realizar una limpieza exhaustiva con detergentes adecuados, para evitar contaminación cruzada y asegurar la validez de los resultados.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, I., Sandoval, C., & Sepúlveda, C. (2022). *Sarna polvorienta*. https://enfermedadespapa.inia.cl/pub/Sarna_polvorienta.pdf
- Albuja, L., Vizcaíno, T., & Argón, J. (2020). Análisis económico de cultivos andinos presentes en las provincias de Imbabura y Carchi-Ecuador. *Revista Argentina de Economía Agraria*, 21(1). <https://raea.org.ar/revistaaaarg/article/view/38/34>
- Amponsah, J., Tegg, R. S., Thangavel, T., & Wilson, C. R. (2021). Moments of weaknesses – exploiting vulnerabilities between germination and encystment in the Phytomyxea. *Biological Reviews*, 96(4), 1603–1615. <https://doi.org/10.1111/brv.12717>
- Amponsah, J., Tegg, R. S., Thangavel, T., & Wilson, C. R. (2022). Subversion of Phytomyxae Cell Communication With Surrounding Environment to Control Soilborne Diseases; A Case Study of Cytosolic Ca²⁺ Signal Disruption in Zoospores of *Spongospora subterranea*. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.754225>
- Andrés Araujo, Juan León, & Jorge Andrade Piedra. (2021). *Manual del cultivo de papa para pequeños productores*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5672>
- Andrés Felipe Restrepo Duque, José Miguel Cotes Torres, & Sonia Jaramillo Villegas. (2009). Efecto de dos microorganismos y un consorcio de micorrizas en combinación con viruta de pino sobre el control de sarna polvosa (*Spongospora subterranea*) en papa. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 62(2), 5047–5054. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n2/a03v62n2.pdf>
- Basantes, F., Aragón Suárez, J. P., Albuja Illescas, L. M., & Vásquez Hernández, L. del R. (2020). Diagnóstico de la situación actual de la producción y comercialización de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en la Zona 1 del Ecuador. *E-Agronegocios*, 6(2), 103–120. <https://doi.org/10.18845/ea.v6i2.5103>
- Beltrán-Pineda, M. E., & Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1). <https://doi.org/10.21789/22561498.1771>
- Calva, C., & Espinosa, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana Effect of four liming materials on acidity control of a soil from Loreto, Orellana. *Ecuador Siembra*, 4(1), 110.
- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 15–31. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262011000200003&lng=en&nrm=iso&tlang=es
- Catucumbamba Tuquerrez, G. K., Narváez Pavón, G. A., Escobar Moya, J. C., & Hwan Park, C. (2023). Effect of use of Certified Seed to Increase Potato (*Solanum Tuberosum*) Production in Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 8310–8326. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8412

- De Almeida, F. M., Arzuaga Sánchez, J., Torres De La Noval, W., & Cabrera Rodríguez, J. A. (2016). Effects of different plant spacings and seed tuber sizes on some morpho-productive characteristics of potato in Huambo, Angola. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 88–95. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1452.1842>
- Devaux, A., Goffart, J. P., Petsakos, A., Kromann, P., Gatto, M., Okello, J., Suarez, V., & Hareau, G. (2020). Global food security, contributions from sustainable potato agri-food systems. In *The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind* (pp. 3–35). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5_1
- Elizabeth Gilchrist, Sonia Jaramillo Villegas, & Sebastián Reynaldi. (2009). *Spongospora subterranea forma especial subterranea*. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a05v62n1.pdf>
- Esteban Alzate Velez, D., Maria Hoyos Carvajal, L., & Paola González Jaimes, E. (2008). FACTORES QUE INCIDEN EN LA LIBERACIÓN DE ZOOSPORAS DE Spongospora. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 61(2), 4503–4510. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n2/a04v61n2.pdf>
- Fabián Montesdeoca, I. M. (2005). *Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de papa de calidad*. www.pnrtpapa.org.ec
- Falloon, R. E. (2008). Control of powdery scab of potato: Towards integrated disease management. *American Journal of Potato Research*, 85(4), 253–260. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9022-6>
- Gabriel J., Ortuño N., Vera M., & Castro C. (2017). *Manual de evaluación para enfermedades de cultivos-Última versión*. Grupo COMPAS. https://www.researchgate.net/publication/317356316_Manual_para_evaluacion_de_danos_de_enfermedades_en_cultivos_agricolas
- Gallegos, P., Montenegro, F., Falconí, C., & Velasteguí, R. (2011). *El cultivo de papa*. https://quickagro.edifarm.com.ec/pdfs/manual_cultivos/PAPA2011.pdf
- Genet, R. A., Falloon, R. E., Braam, W. F., Wallace, A. R., Jacobs, J. M. E., & Baldwin, S. J. (2005). *Resistance to Powdery Scab (Spongospora subterranea) in Potatoes-A Key Component of Integrated Disease Management*. https://www.actahort.org/books/670/670_5.htm
- Gilchrist, E., Soler, J., Merz, U., & Reynaldi, S. (2011). Powdery scab effect on the potato *Solanum tuberosum* ssp. *andigena* growth and yield. In *Tropical Plant Pathology* (Vol. 36, Issue 6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1982-56762011000600002>
- González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M. A., & Mercado-Flores, Y. (2022). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 25. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>
- Guerrero-Guio, J. C., Cabezas Gutiérrez, M., & Galvis Quintero, J. H. (2019). Efecto de dos sistemas de riego sobre la producción y uso eficiente del agua en el cultivo de papa variedad diacol capiro. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(1), 41–52. <https://doi.org/10.22490/21456453.3080>

- INEC. (2024). *Boletín técnico*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Boletin_tecnico_ESPAC_2023.pdf
- Infante, D., Martínez, B., González, N., & Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*, 24(1), 14–21. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522009000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- INIAP, Araujo Jaramillo, Marco Cartagena, & Yamil Everaldo. (2021). *Manual N o 78 Programa Nacional de Raíces y Tubérculos-papa Manual del cultivo de papa para pequeños productores*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5672>
- INIAP, Hernán M., & Lucero Pintado. (2011). *MANUAL 90 pdf*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2395/1/MANUAL%2090%20pdf.pdf>
- Inostroza, J., Méndez, P., & Sotomayor, L. (2022). *I. Botánica y morfología de la papa*. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/1009be55-01c2-4209-9d1f-086ead54f25a/content#:~:text=La%20papa%20es%20una%20planta,de%20crecimiento%20arrosetado%20o%20semiarrosetado.>
- Iván Cruz-Cárdenas, C., Zelaya Molina, L. X., Sandoval Cancino, G., de los Santos Villalobos, S., Rojas Anaya, E., Fernando Chávez Díaz, I., & Ruíz Ramírez, S. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12, 899–913. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v12n5/2007-0934-remexca-12-05-899.pdf>
- Jazmín Hernández-Melchor, D., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019). *Trichoderma: Importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial*. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., Ex Agro-Ciencia*, 35(1), 98–112.
- Jonhy Cortez. (2017). Rendimiento de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) con la aplicación de tierra negra y fertilizantes inorgánicos. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(2), 56–62. http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v4n2/v4n2_a08.pdf
- Juan de Dios Molina, Boanerge Santos, & Lesbia Aguilar. (2004). *Guía MIP en el cultivo de la papa*. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10M722.pdf>
- Juan Granda. (2019). *INAMHI-TemperaturaMedia-2019Diciembre*.
- Leal-Almanza, J., Gutiérrez-Coronado, M. A., Castro-Espinoza, L., Lares-Villa, F., Cortes-Jiménez, J. M., & De Los Santos-Villalobos, S. (2017). Microorganismos promotores de crecimiento vegetal con yeso agrícola en papa. *Agrociencia*, 52(3), 1149–1159. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n8/1405-3195-agro-52-08-1149.pdf>
- Luis Ernesto Rodríguez. (2010). *Origen y evolución de la papa cultivada*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-99652010000100002&script=sci_arttext
- Lumivero. (2025). *XLSTAT 2024 (Version 2024.3.0.1423)*. XLSTAT stadistical and data analysis solution. New York, USA. <https://www.xlstat.com/es/>
- MAG. (2023). *Boletín situacional cultivo de papa*. <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/situacionales-agricolas/situacional-papa>

- Mamani-Rojas, J. Limachi-Villalba, & N. Ortuño-Castro. (2012). *Use of native Microorganisms as Growth Promoters and Biocontrol Agents for Diseases in Native Potato Crops*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512156>
- Manuel Pumisacho, & Stephen Sherwood. (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>
- Márquez-Vasallo, Y., Luis Salomón-Díaz, J., & Acosta-Roca, R. (2020). Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). In *Cultivos Tropicales* (Vol. 41, Issue 1). <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Mendoza, R. B., & Espinoza, A. (2017). *Guía Técnica para Muestreo de Suelos ASA AGUA Y SUELO PARA LA AGRICULTURA*. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Merz, U. (2008). Powdery scab of potato - Occurrence, life cycle and epidemiology. *American Journal of Potato Research*, 85(4), 241–246. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9019-1>
- Mesa, P., García, C., & Cotes, A. M. (2017). En búsqueda de una alternativa de manejo del camanduleo de la papa ocasionada por *Spongospora subterranea*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 378–386. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.6150>
- Millán, G., Vázquez, M., Terminiello, A., & Sbuscio, D. S. (2011). Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. *CI. SUELO (Argentina)*, 28(3), 131–140. <https://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v28n2/v28n2a02.pdf>
- Moreno Gómez, T., Hernández-Pérez, A., Sandoval-Rangel, A., Robledo-Torres, V., Mendoza-Villarreal, R., & González Fuentes, J. A. (2021). Interacción entre calcio y boro en el crecimiento y contenido mineral de plantas de pimiento morrón. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3). <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2813>
- Nielsen, S. L., & Larsen, J. (2004). Two *Trichoderma harzianum*-based bio-control agents reduce tornato root infection with *Spongospora subterranea* (Wallr). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 111(2), 145–150. http://www.jstor.orgURL:http://www.jstor.org/stable/43215572http://www.jstor.org/stable/43215572?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents
- Nitzan, N., Cummings, T. F., Johnson, D. A., Miller, J. S., Batchelor, D. L., Olsen, C., Quick, R. A., & Brown, C. R. (2008). Resistance to root gall caused by the powdery scab pathogen *Spongospora subterranea* in potato. *Plant Disease*, 92(12), 1643–1649. <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-12-1643>
- Nolasco-Guzmán, V., Gloria Calyecac-Cortero, H., Muñoz-Orozco, A., Miranda-Rangel, A., & Axayacatl Cuevas-Sánchez, J. (2016). Experimental evaluation of seed germination and emergence in purging nut from Totonacapan. In *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (Vol. 7). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000801959#:~:text=Porcentaje%20de%20emergencia%3A%20se%20determin%C3%B3,las%20hojas%20cotiledonares%20plenamente%20desarrolladas.
- Ortiz Muñoz, Y. D., & Rodríguez Rodríguez, L. F. (2021). Eficiencia de dos consorcios bacterianos para el control de *Spongospora subterranea* f sp. *subterranea* en

- cultivos de papa Solanum tuberosum var. andígena. *Temas Agrarios*, 26(2), 157–164. <https://doi.org/10.21897/rta.v26i2.2742>
- Pazos-Rojas, L. A., Morales-García, Y. E., & Baez, A. (2016). *Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde Vianey Marin-Cevada Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*. <https://www.researchgate.net/publication/311900407>
- Piña-Ramírez F.J., Soto-Parra J.M, Garcia-Muñoz S.A, & Perez-Leal R. (2019). Aplicaciones de enmiendas orgánicas y microorganismos para optimizar parámetros del suelo y rendimiento del nogal pecanero. *Biológico Agropecuario*, 7. <https://revistabioagro.mx/index.php/revista/article/view/24/44>
- Ramírez, L. A., María Zuluaga, C., Paola Gonzalez, E., Marín, M. A., Morales, J. G., Núñez, C. E., & Cotes, J. M. (2013). Uso de esquejes de tallo lateral para evaluar la resistencia de genotipos de *Solanum phureja* a *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*. In *Tropical Plant Pathology* (Vol. 38, Issue 4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1982-56762013005000018>
- Rojas, V., Ulacio, D., Sanabria, E., María, Y., & Jiménez, A. (2009). Efecto del calcio, *Trichoderma* y brócoli en la pared y área celular del ajo para el control de la pudrición blanca. *Centro Invest. Biol*, 43(2), 183–195. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/104716221/150-libre.pdf?1691023416=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEfecto_del_calcio_Trichoderma_y_brocoli.pdf&Expires=1732293956&Signature=N30NnZd-TL2bkDK5R49pVzEivMhO23ybuivuR8s8SGeynr7xDTw~v~Y9JcjfDu9GVn5~shNygauxxTfY4dsYt-a9dw5swaCiK6e36PlzSS~ZeSlKnRvOVGhxEjtelba-yKwTggJq4pYDurQ4-Xjx~Vh82VSWwRpS8GqSlRgQsu2vGr4DzdKRpiC2ynuIRTI85gkTOlXr6iJ2FnSz9PdbHIXa-a7tuaWZZzl~NteoU3F9eeiDVyvg1~Xz10faoHoMkJvHRRcOuShenlg-MP3M55VvxeqWY268nRbVaVIsf4seHRVbLne-yLLxqMRFFEwaZe5z0pzUBOLS1p0vOWDHW__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Sebastián Gómez Acosta, Lilliana M. Hoyos Carvajal, & Elena Paola González Jaimes. (2008). *Estudios de infección de spongospora subterranea en papa*. 7, 9–18. <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/108/85>
- Shah, F. A., Falloon, R. E., Butler, R. C., & Lister, R. A. (2012). Low amounts of *Spongospora subterranea* sporosorus inoculum cause severe powdery scab, root galling and reduced water use in potato (*Solanum tuberosum*). *Australasian Plant Pathology*, 41(2), 219–228. <https://doi.org/10.1007/s13313-011-0110-6>
- Sifuentes Ibarra, E., Del, J., Ruelas Islas, R., Cervantes, J. M., Talamantes Castorena, I., Palacios Mondaca, C. A., & Valenzuela López, B. E. (2015). Fenología y tiempo en el manejo del riego y fertilización del cultivo de papa. *Biotecnia*, 17. www.biotecnia.uson.mx
- Simango, K., & van der Waals, J. E. (2017). Effects of Different Soil Treatments on the Development of *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* in Potato Roots and Tubers in the Greenhouse. *Potato Research*, 60(1), 47–60. <https://doi.org/10.1007/s11540-017-9340-5>
- Soler Arango, J., Gilchrist Ramelli, E., & Carlos Pérez Naranjo, J. (2012). Evaluation of microorganisms with potential for plant growth promotion and biological control of

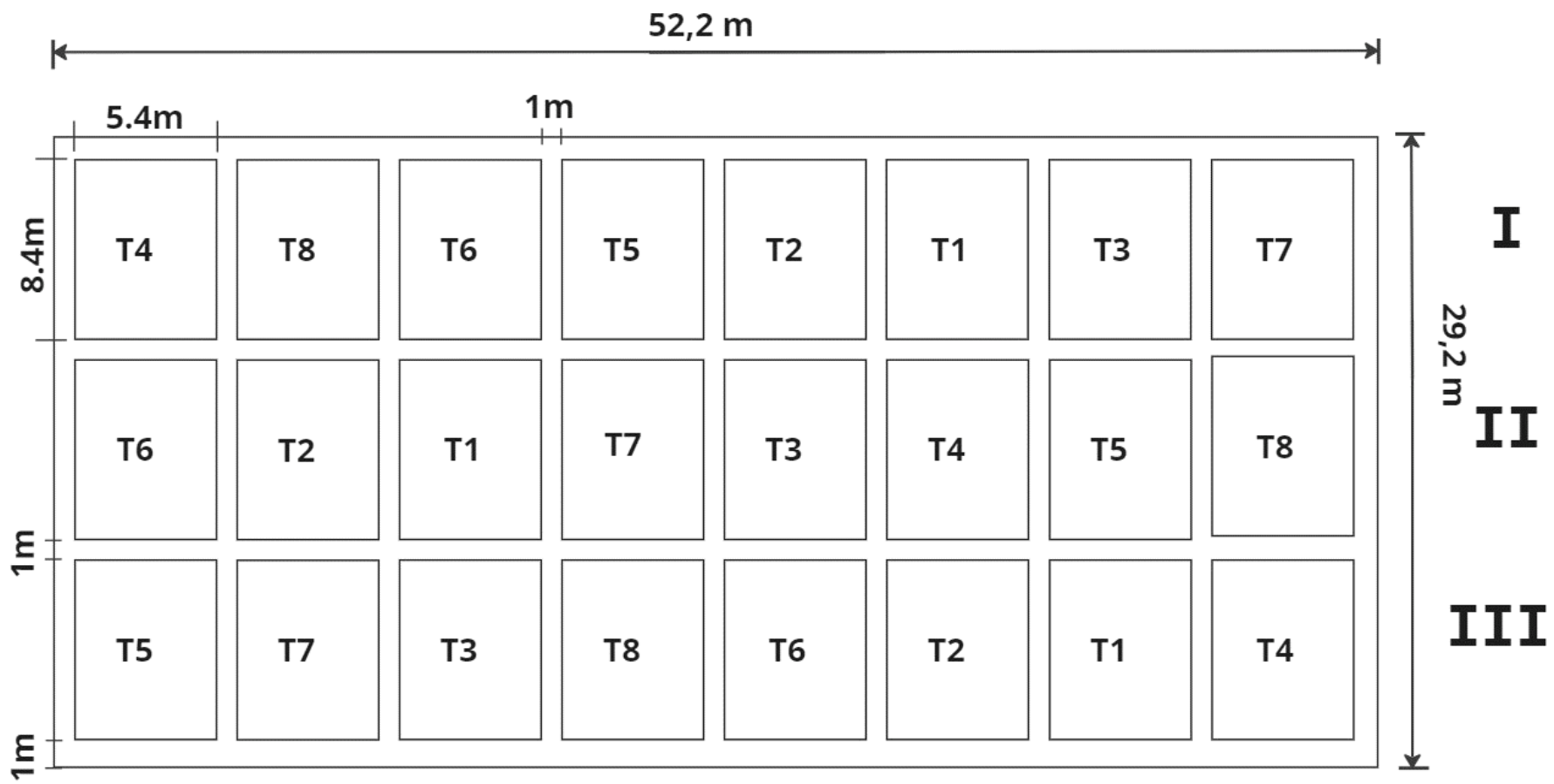
- Spongospora subterranea. *Rev. Colomb. Biotechnol*, 14(1), 157.
<http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a14.pdf>
- Strydom, R. F., Wilson, C. R., Tegg, R. S., Balendres, M. A., & van der Waals, J. E. (2024). Advancements in Spongospora subterranea: Current Knowledge, Management Strategies, and Research Gaps. *Potato Research*. <https://doi.org/10.1007/s11540-024-09701-8>
- Thangavel, T., Tegg, R. S., & Wilson, C. R. (2015). Monitoring Spongospora subterranea development in potato roots reveals distinct infection patterns and enables efficient assessment of disease control methods. *PLoS ONE*, 10(9).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137647>
- Van De Graaf, P., Lees, A. K., Wale, S. J., & Duncan, J. M. (2005). Effect of soil inoculum level and environmental factors on potato powdery scab caused by Spongospora subterranea. *Plant Pathology*, 54(1), 22–28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2005.01111.x>
- Villarreal-Delgado, M. F., Villa-Rodríguez, E. D., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Parra-Cota, F. I., & De los Santos-Villalobos, S. (2018). El género Bacillus como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 36(1).
<https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>
- Villegas, S. J., Alberto, G., Avendaño, P., María, L., & Carvajal, H. (2008). Variación morfológica de quistosoros de Spongospora subterranea (Wallr.) Lagerh f. sp. subterranea. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(2), 4511–4517.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472008000200005&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Wallace, A., Williams, N. A., Lowe, R., & Harrison, J. G. (1995). Detection of Spongospora subterranea using monoclonal antibodies in ELISA. In *Plant Pathology* (Vol. 44).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02788.x>
- Yelinda Araujo, Clifford Peña, Rosaima García, & Mario Dávila. (2011). Uso de azufre en suelos contaminados con Spongospora subterranea (Wallr.). *Revista Forestal Venezolana*, 55.
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/35568/articulo2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Yobo, K. S., Laing, M. D., & Hunter, C. H. (2011). Effects of single and combined inoculations of selected Trichoderma and Bacillus isolates on growth of dry bean and biological control of Rhizoctonia solani damping-off. *African Journal of Biotechnology*, 10(44), 8746–8756.
<https://doi.org/10.5897/ajb10.2213>

ANEXOS

ANEXO 1. Entrada de datos

Tratamientos	BLOQUES	EMERGENCIA %	ALTURA 70 dds	ALTURA 90 dds	ALTURA 105 dds	TUBERCULO (%)	IA RAIZ (%)	TUBERCULO (%)	D RAIZ (%)	RENDIMIEN TO T/ha	PAPA PRIMERA T/ha	PAPA SEGUNDA T/ha	PAPA TERCERA T/ha
1	1	100	64,23	70,50	70,13	1,56	4,76	2,06	6,33	43,87	28,07	12,28	3,51
1	2	100	63,54	68,33	69,36	1,78	7,94	2,54	5,00	41,35	26,47	11,58	3,31
1	3	100	65,12	66,50	70,18	1,67	7,94	2,19	4,20	42,15	26,98	11,80	3,37
2	1	100	57,45	63,19	62,67	2,71	14,29	3,56	9,22	41,00	26,24	11,48	3,28
2	2	100	58,14	61,26	63,17	2,84	17,46	3,25	9,27	41,42	26,51	11,60	3,31
2	3	100	56,67	63,24	64,50	2,82	15,87	3,10	8,70	40,46	25,90	11,33	3,24
3	1	100	55,94	59,16	62,33	2,11	12,70	3,48	7,38	34,97	22,38	9,79	2,80
3	2	100	54,17	60,29	60,83	2,22	9,52	3,10	8,17	34,05	21,79	9,53	2,72
3	3	100	56,18	60,39	59,67	2,28	11,11	4,29	8,00	34,42	22,03	9,64	2,75
4	1	100	58,79	68,27	67,17	2,36	11,11	2,94	5,83	35,61	22,79	9,97	2,85
4	2	100	57,64	61,43	65,83	2,12	11,11	2,98	6,43	34,73	22,23	9,72	2,78
4	3	100	59,18	64,28	68,76	2,11	9,52	2,35	6,00	36,62	23,44	10,25	2,93
5	1	100	61,57	65,24	67,50	1,40	6,35	1,68	2,50	36,28	23,22	10,16	2,90
5	2	100	62,34	67,32	62,80	1,12	9,52	1,76	2,00	37,01	23,68	10,36	2,96
5	3	100	62,71	68,29	65,50	0,84	6,35	1,92	3,00	38,93	24,91	10,90	3,11
6	1	100	68,34	71,89	73,12	0,16	4,76	0,46	2,33	48,59	31,10	13,61	3,89
6	2	100	67,13	72,13	74,27	0,15	3,17	0,57	1,50	48,11	30,79	13,47	3,85
6	3	100	68,24	71,23	75,23	0,17	3,17	0,40	2,00	49,19	31,48	13,77	3,94
7	1	100	65,67	70,62	72,21	0,29	7,94	0,46	2,60	45,89	29,37	12,85	3,67
7	2	100	66,17	68,76	71,14	0,32	6,35	0,84	1,67	45,71	29,26	12,80	3,66
7	3	100	63,83	69,96	72,13	0,32	4,76	0,97	2,67	46,86	29,99	13,12	3,75
8	1	100	53,24	58,67	59,17	2,82	19,05	4,05	10,00	30,25	19,36	8,47	2,42
8	2	100	54,16	58,17	58,46	2,72	20,63	4,14	10,15	31,11	19,91	8,71	2,49
8	3	100	53,21	56,30	60,24	2,76	19,05	4,62	10,17	32,29	20,67	9,04	2,58

ANEXO 2. Disposición de los tratamientos



ANEXO 3. Análisis de suelo

MC-LASPA-2201-01

	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua. Tels. (02) 3007284 / (02)2504240 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec		

INFORME DE ENSAYO No: 24-0011

NOMBRE DEL CLIENTE: Lobato Meneses Oscar Hernan PETICIONARIO: Lobato Meneses Oscar Hernan EMPRESA/INSTITUCIÓN: Lobato Meneses Oscar Hernan DIRECCIÓN: Parroquia San Isidro	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 09/01/2024 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 13:40 FECHA DE ANÁLISIS: 15/01/2024 FECHA DE EMISIÓN: 02/02/2024 ANÁLISIS SOLICITADO: S4
---	---

Análisis			pH			N		P		S				K		Ca		Mg		Zn		Cu		Fe		Mn		Ca/Mg		Mg/K		Ca+Mg/K		Σ Bases	MO		CO.*		Textura (%)				IDENTIFICACIÓN
						ppm		ppm		ppm		ppm		meq/ 100g		meq/ 100g		meq/ 100g		ppm		ppm		ppm		ppm						meq/ 100g		%		%		Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural		
24-0054			5,51	Me Ac		660,61	A	134,71	A	21,40	M	0,45	B	1,96	A	17,17	A	2,75	A	8,0	A	12,3	A	1723	A	32,4	A	6,24	1,40	10,15	21,89	8,87	A		36	36	28	FRANCO-ARCILLOSO	Oscar 1				

Análisis	Al+H*	Al*	Na*	C.E. *	N. Total*	N-NO3*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	IDENTIFICACION
	ppm	ppm	meq/ 100g		%	ppm	meq/ 100g	ppm	ppm		

OBSERVACIONES:

* Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA			
pH =	Suelo: Agua (1:2,5)	P K Ca Mg =	Olsen Modificado
S.B =	Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn =	Olsen Modificado
		B =	Curcumina

INTERPRETACION		
pH	Elemento	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	AI = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)	

ABREVIATURAS	
C.E. =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasion
Al+H =	Titulación NaOH

INTERPRETACION		
Al+H, Al y Na	C.E.	M.O y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino
T = Tóxico		M. = Medio
		A = Alto



RESPONSABLE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo
 NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electronico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la informacion.
 * Opiniones de interpretación ,etc,que se indican en este informe constituye una guía para el cliente.

ANEXO 4. Recomendación de fertilización por parte del INIAP

Muestra No.	Cultivo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mg	FERTILIZANTE (Fuente)	CANTIDAD Sacos de 50kg	ÉPOCA Y FORMA DE APLICACIÓN
		Kg/ha							
24-0054	PAPA	100	200	60	40	40	Amontonamiento (retape)		Al retape aplicar (21 días después de la siembra) el 52,63 % a chorro continuo al fondo del surco los 6 sacos de 50 kg del 18-46-0 y 2.42 sacos del 10-30-10 de 50 kg
							18-46-0	6.00	
							10-30-10	2.42	
							Fertilización complementaria (reabone)		
							10-30-10	1.58	
							0-0-18-17-14	4	Al Reabone (60 días después de la siembra) aplicar el 47.37 % al cuello de la planta, que consiste en 1,58 sacos del 10-30-10 de 50 kg, 4 sacos de 0-0-18-17-14 de 50 kg, un saco de 46-0-0 de 50 kg y un saco de 12-8-6 (3-25) de 50 kg.
							46-0-0	1	
							12-8-6 (3-25)	1	

OBSERVACIONES: Para corregir deficiencias de micronutrientes, principalmente Zn, Mn y B, se recomienda aplicar abonos foliares compuestos o en forma de bioestimulantes aplicados de acuerdo con la etapa fenológica de las plantas. Realizarse cada 15 días.

ANEXO 5. Cálculo de la Fertilización Edáfica en kg ha⁻¹ para el ensayo

N	P2O5	K2O	Mg	S
100	200	60	40	40
100	200	60	40	40
			Retape	Reabone
6	18 - 46 - 0		6,00	0,00
4	10 - 30 - 10		2,42	1,58
4	0 - 0 - 18 - 17 - 14		0,00	4,00
1	46 - 0 - 0		0,00	1,00
1	12 - 8 - 6 (3 - 25)		0,00	1,00
16	Sacos de 50 kg		8,42	7,58

Cálculo para el área neta del ensayo 1088,64 m²
 RETAPE 52,63%

18-46-0		
6 sacos de 50 kg		
300 kg	10 000 m²	
x	1088,64 m²	
x=	32,66 kg	18-46-0

10 - 30 - 10		
2,42 sacos de 50 kg		
121 kg	10 000 m²	
x	1088,64 m²	
x=	13,17 kg	10 - 30 - 10

Cálculo para el área por parcela del ensayo 45.36 m²
 RETAPE 52,63%

18-46-0		
32,66 kg	1088,64 m²	
x	45,36 m²	
x=	1,36 kg	18-46-0
10 - 30 - 10		
13,17 kg	1088,64 m²	
x	45,36 m²	
x=	0,55 kg	10 - 30 - 10

ANEXO 6. Cálculo de la fertilización edáfica para la fertilización complementaria (reabone)

Cálculo para el área neta del ensayo 1088,64 m²

APORQUE 42,37%

10 - 30 - 10		
1,58 sacos de 50 kg		
79 kg	10 000 m ²	
x	1088,64 m ²	
x=	8,60 kg	10 - 30 - 10

0-0-18-17-14		
4 sacos de 50 kg		
200 kg	10 000 m ²	
x	1088,64 m ²	
x=	21,77 kg	0-0-18-17-14

46-0-0		
1 saco de 50 kg		
50 kg	10 000 m ²	
x	1088,64 m ²	
x=	5,44 kg	46-0-0

12-8-6 (3-25)		
1 saco de 50 kg		
50 kg	10 000 m ²	
x	1088,64 m ²	
x=	5,44 kg	12-8-6 (3-25)

Cálculo para el área por parcela del ensayo 45.36 m²

APORQUE 42,37%

10 - 30 - 10		
8,60 kg		
1088,64 m ²		
x	45,36 m ²	
x=	0,36 kg	10 - 30 - 10

0-0-18-17-14		
21,77 kg		
1088,64 m ²		
x	45,36 m ²	
x=	0,91 kg	0-0-18-17-14

46-0-0		
5,44 kg		
1088,64 m ²		
X	45,36 m ²	
x=	0,23 kg	46-0-0

12-8-6 (3-25)		
32,66 kg		
1088,64 m ²		
x	45,36 m ²	
x=	0,23 kg	12-8-6 (3-25)

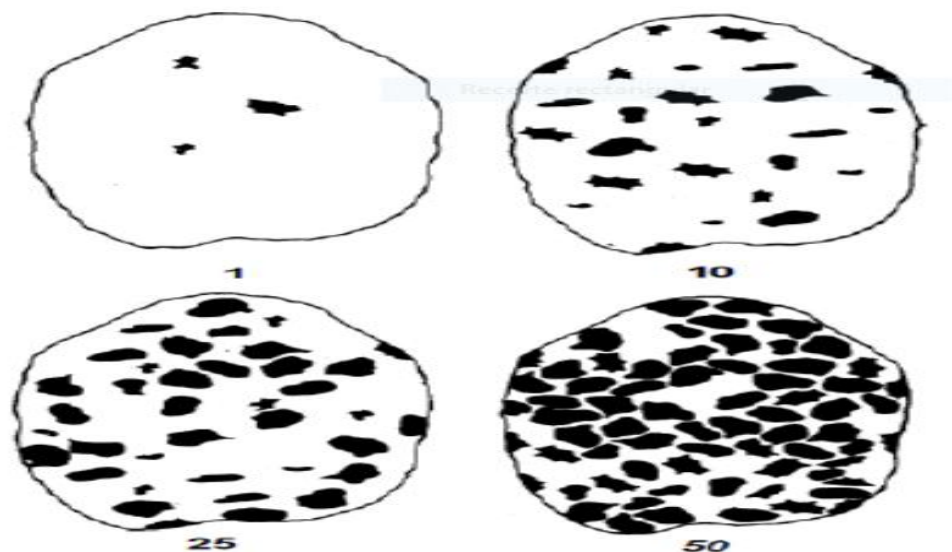
ANEXO 7. Escala porcentual para medir la severidad de la *Spongospora subterranea* en los tubérculos

Escala porcentual para medir la severidad de *Spongospora* subterránea en tubérculos (*Solanum Tuberosum* L.)

Escala	Daño de tubérculos (%)	Equivalencia
1	0-1%	Libre
2	2-10%	Ligera
3	11-25%	Severa
4	26-50%	Muy severa

Nota. Adaptado de “Manual de evaluación para enfermedades de cultivos”, por J. Gabriel, N. Ortuño, M. Vera, & C. Castro, 2017, *Grupo COMPAS*.
https://www.researchgate.net/publication/317356316_Manual_para_evaluacion_de_danos_de_enfermedades_en_cultivos_agricolas

Escala para la evaluación de (*Spongospora subterranea*) en tubérculos (*Solanum Tuberosum* L.)



Nota. Adaptado de “Manual de evaluación para enfermedades de cultivos”, por J. Gabriel, N. Ortuño, M. Vera, & C. Castro, 2017, *Grupo COMPAS*.
https://www.researchgate.net/publication/317356316_Manual_para_evaluacion_de_danos_de_enfermedades_en_cultivos_agricolas

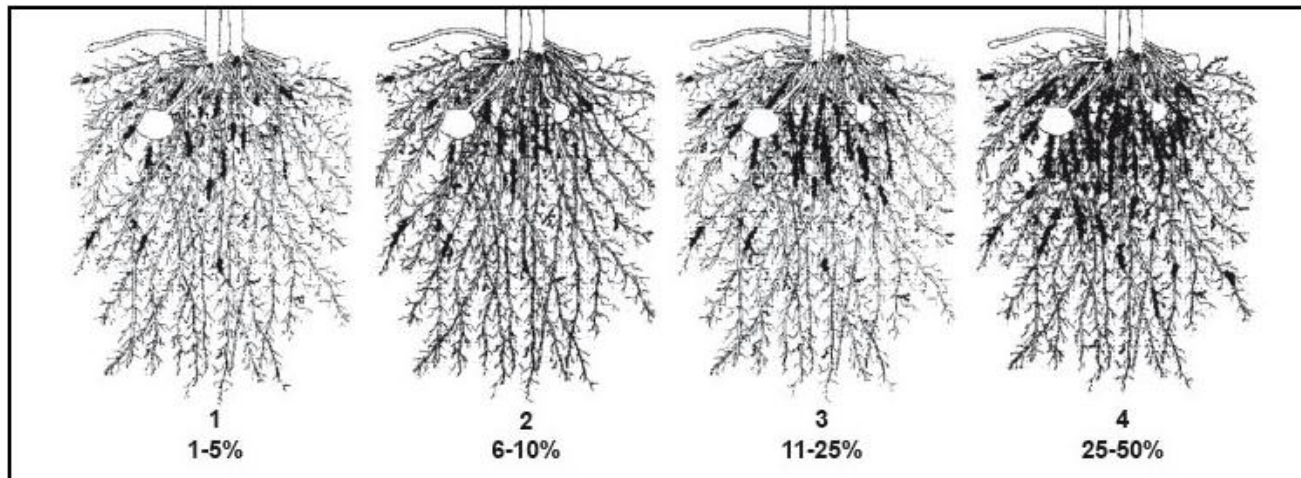
ANEXO 8. Escala porcentual para medir la severidad de la *Spongospora subterranea* en la raíz

Escala porcentual de la afectación de *Spongospora subterranea*, en la raíz

Escala	Daño radicular (%)	Equivalencia
1	1-5%	Leve
2	6-10%	Moderado
3	11-25%	Moderadamente grave
4	25-50%	Grave
5	>50%	Muy grave

Nota. Adaptado de “Uso de esquejes de tallo lateral para evaluar la resistencia de genotipos de *Solanum phureja* a *Spongospora subterranea* f. sp. *Subterranea*”, por L. Ramírez, M. Zuluaga, P. Gonzalez, E. Marín, 2013, *In Tropical Plant Pathology*, 38(4).

Escala para la evolución de severidad de *Spongospora subterranea* en las raíces del cultivo de (*Solanum tuberosum* L.)



Nota. Adaptado de “Uso de esquejes de tallo lateral para evaluar la resistencia de genotipos de *Solanum phureja* a *Spongospora subterranea* f. sp. *Subterranea*”, por L. Ramírez, M. Zuluaga, P. Gonzalez, E. Marín, 2013, *In Tropical Plant Pathology*, 38(4).

ANEXO 9. Análisis económico de los tratamientos mediante la relación beneficio/costo (t ha⁻¹).

VARIEDAD	TRATAMIENTOS	RENDIMIENTO t ha⁻¹	INGRESO BRUTO	COSTOS DE PRODUCCIÓN	INGRESO NETO	RELACIÓN BENEFICIO/COSTO
Capiro	T1	44,70	16953,01	13776,73	3176,28	1,23
	T2	42,90	16270,34	1366,04	14904,30	11,91
	T3	34,36	13031,41	13013,36	18,05	1,00
	T4	36,54	13858,21	13102,71	755,50	1,06
	T5	41,28	15655,78	13349,09	2306,69	1,17
	T6	48,27	18306,82	14092,14	4214,68	1,30
	T7	46,53	17647,03	13786,38	3860,65	1,28
	T8	30,82	11688,78	12499,27	-810,49	0,94

ANEXO 10. Siembra de papa, a una semilla por golpe



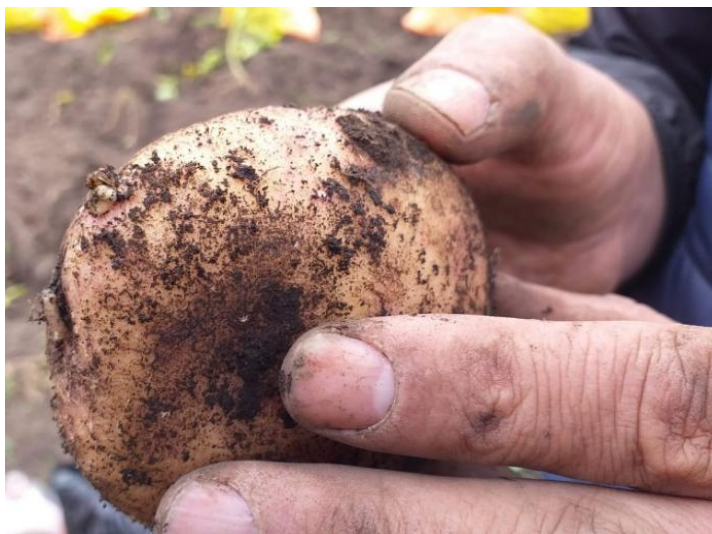
ANEXO 11. Toma de altura de plantas a los 70, 90 y 105 días después de la siembra.



ANEXO 12. Evaluación de *Spongospora subterranea* en raíces



ANEXO 13. Evaluación de *Spongospora subterranea* en tubérculos



ANEXO 14. Rendimiento total en (t ha⁻¹) y por categoría

