

UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA
PROYECTO DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO
CONTROL BIOLÓGICO DE *Phytophthora infestans* EN EL
CULTIVO DE *Solanum tuberosum* MEDIANTE
MICROORGANISMOS ANTAGONISTAS EN LA
PROVINCIA DE LUYA, REGIÓN AMAZONAS

Autor: Alex Rolando Quispe Aguilar.

Asesor:

CHACHAPOYAS - PERÚ

2025

1. Título

Control biológico de *Phytophthora infestans* en el cultivo de *Solanum tuberosum* mediante microorganismos antagonistas en la provincia de Luya, región Amazonas.

2. Problema de investigación

¿Cuáles son los microorganismos antagonistas más efectivos para el control de *Phytophthora infestans* en el cultivo de *Solanum tuberosum* mediante control biológico en la provincia de Luya, región Amazonas?

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Evaluar la efectividad de los microorganismos antagonistas en el control biológico de *Phytophthora infestans* en el cultivo de *Solanum tuberosum* en la provincia de Luya, región Amazonas.

3.2. Objetivo específicos

- Determinar microorganismos antagonistas más efectivos para inhibir el desarrollo de *Phytophthora infestans* en campo y laboratorio.
- Determinar el resultado de los microorganismos antagonistas en la reducción de la incidencia y severidad de *Phytophthora infestans* en el cultivo de papa.
- Determinar las concentraciones de microorganismo antagonistas para el control de *Phytophthora infestans* en el cultivo de papa.

4. Antecedentes de la investigación

En diversos estudios se ha demostrado la efectividad de los microorganismos antagonistas, como *Trichoderma sp.*, en el control de enfermedades fúngicas que afectan cultivos importantes como la papa y el cacao. (Rokaya et al., 2023), en su investigación cuyo objetivo fue determinar la efectividad de *Trichoderma sp.* en el control de la racha de la papa, realizaron ensayos con 39 aislamientos en condiciones naturales de Nepal. Los resultados mostraron que el aislamiento TL1-2A fue el más eficaz, logrando una reducción de la incidencia de la enfermedad entre un 37,3% y un 40,2%, y un aumento significativo en el rendimiento de los tubérculos, entre un 46,4% y un 72,3%. De manera similar,

Villamil Carvajal et al., (2015), en su estudio cuyo objetivo fue evaluar la acción antagonista de dos microorganismos autóctonos (*Trichoderma* sp. y *Bacillus* sp.) para el control de *Moniliophthora roreri* (Monilia del cacao) aplicado en campo, utilizaron cuatro tratamientos: T1 (H5), T2 (H20), T3 (B3, bacteria *Bacillus* sp.) y T4 como testigo. Los resultados mostraron que T1 redujo la severidad del daño en los frutos en un 19,5% en la parte externa y un 11,2% en la interna; T2 redujo un 28% y 19,5%, respectivamente, mientras que T3 mostró una reducción de 3,5% y 8,5%. De estos, el tratamiento T2 (H20, *Trichoderma* sp.) fue el más efectivo, destacándose como el que proporcionó el mejor control contra *Moniliophthora roreri* cuando se aplicó en campo.

Por otro lado, Chumpitaz Bermejo, (2019), investigó la eficiencia antagonista de actinomicetos rizosféricos para el control de la racha de la papa en la región de Cabana – Ayacucho. Para determinar su eficiencia se aislaron 32 sepas utilizando medios de cultivos como agar Avena y agar Centeno. Los resultados indicaron que el 71.9% de las cepas inhibieron el crecimiento del oomiceto en agar Avena, mientras que el 31.3% lo hizo en agar Centeno. Además, se observó que todas las cepas presentaron actividad amilolítica y que el 50% mostró actividad celulolítica. Se concluye que los antagonistas tienen un potencial para inhibir el desarrollo de *Phytophthora infestans*.

Martínez Falcón, (2018), en su tesis, estudió el efecto de *Trichoderma harzianum* en el control de *Phytophthora infestans* en tres variedades de papa en la localidad de Mayobamba. La investigación se llevó a cabo bajo un diseño completamente aleatorio, evaluando la severidad de la enfermedad mediante el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC) y la producción por hectárea. Los resultados indicaron que las dosis de 115 y 86 kg/ha de *Trichoderma harzianum*, aplicadas a la variedad Yungay, fueron las más efectivas, alcanzando un AUDPC de 244.50 y elevados rendimientos de 12,496.50 y 12,774.20 kg/ha, respectivamente. En conclusión, la aplicación de dosis elevadas de *Trichoderma harzianum* contribuye a un mejor control de *Phytophthora infestans*.

En otro enfoque, (Saldaña et al., 2006), en su estudio con el objetivo de analizar la eficacia de microorganismos antagonistas como *Trichoderma* sp. y bacterias contra *Phytophthora infestans*, realizaron ensayos en hojas desprendidas, en invernadero y en campo. Los resultados obtenidos en 2001 mostraron que las mezclas de *Pseudomonas* fueron más eficaces, inhibiendo al patógeno, mientras que en 2002 la mezcla de *PsBurkholderia* (Ps-Bu) redujo significativamente el progreso de la enfermedad. En conclusión, los antagonistas demostraron un mejor desempeño en invernadero, aunque con una eficacia inferior a la de los fungicidas. Se sugiere que el potencial de estos microorganismos se utilice en zonas con baja presión de la enfermedad.

Finalmente, Goñas Goñas et al., (2017), en su estudio cuyo objetivo fue determinar los efectos de cinco antagonistas (*Clonostachysrosea*, *Trichoderma viride*, *T.asperellum*, *T.lignorum* y *T.harzianum*) en condiciones in vitro para el manejo de la pudrición gris en fresa. El diseño empleado fue bajo el método de cultivos duales, con 6 tratamientos y 5 repeticiones. Los resultados mostraron que el antagonista *Trichoderma* presento un mayor porcentaje para la inhibición del patógeno; a diferencia de *Clonostachys spp.* inhibió parcialmente el crecimiento de *Botrytis spp.* Concluyendo que las especies de *Trichoderma* son potenciales agentes de control biológico.

5. Hipótesis

El control biológico de *Phytophthora infestans* en el cultivo de *Solanum tuberosum* mediante microorganismos antagonistas en la provincia de Luya, región Amazonas, será más efectivo en la reducción de la incidencia de la enfermedad y en el aumento del rendimiento de los tubérculos en comparación con los métodos convencionales de control.

6. Metodología

6.1. Población, muestra y muestreo

Población: La población estará compuesta por el conjunto de parcelas productoras de papa de los distritos de Conila, Trita y Luya.

Muestra: Estará compuesta por 6 parcelas de papa en los distritos de Conila, Trita y Luya, donde se identifique la presencia de *Phytophthora infestans*.

Criterios de inclusión: Se evaluarán parcelas de papa ubicadas en Conila, Trita y Luya , que presenten síntomas visibles de *Phytophthora infestans* confirmados mediante diagnóstico visual o pruebas de laboratorio y contar con productores dispuestos a colaborar a compartir información sobre sus prácticas agrícolas.

Criterios de exclusión: Se evitará tomar parcelas que estén tratadas con fungicidas de amplio espectro.

Muestreo: El muestreo será probabilístico, debido a que tomará muestras del cultivo de papa de formar al azar de las parcelas representativas para la recolección de mico organismos antagonistas y de *Phytophthora infestans*.

6.2. Variables de estudio

6.2.1. Variables independientes

- Cultivo de papa
- Microorganismos antagonistas

6.2.2. Variable dependiente

- Fenología de la producción de papa :
- Altura de la planta (cm).
- Número de hojas por planta.
- Días al inicio de tuberización
- Días al inicio de floración
- Peso total de tubérculos por planta (kg/planta).
- Número de tubérculos por planta

- Contenido de clorofila
- Porcentaje de daño por *Phytophthora infestans* en hojas
- Porcentaje de daño por *Phytophthora infestans* en tubérculos
- Inhibición de la incidencia y severidad de *Phytophthora infestans*.

6.3. Métodos

6.3.1. Tipo y nivel de la investigación

De tipo de investigación aplicada, ya que se basará en el uso de conocimiento previos de microorganismo antagonistas, así como técnicas y métodos pre establecidos para evaluar su potencial ante el control de *Phytophthora infestans*.

De nivel experimental, ya que se manipulará la variable independiente (cepas antagonistas de *Phytophthora infestans*) y se medirá su nivel de significancia sobre la variable dependiente (Fenología del cultivo y Inhibición de la incidencia y severidad de *Phytophthora infestans*) en papa en *in vitro* y luego en campo (utilización de macetas).

6.3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación que se adoptará es cuasi-experimental, ya que se aplicarán tratamientos específicos (inóculos de microorganismos antagonistas contra *Phytophthora infestans*) y se evaluarán sus efectos en comparación con un grupo control, sin inoculación.

6.3.3. Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos

Método y técnica: Para realizar esta investigación se empleará un método experimental con técnicas de observación directa y de análisis cuantitativo y cualitativo para medir las variables de interés. El método incluye la recopilación de datos tanto en campo como en laboratorio, utilizando equipos e instrumentos especializados para garantizar una mayor eficacia.

6.3.5. Procedimiento e Instrumentos para recopilación de datos

Para la variable independiente

Primera fase: Antagonismo de microorganismo contra *Phytophthora infestans*

Colecta en campo: La recolección de muestras se llevará a cabo tanto del suelo como órganos de la planta infectados. Para los órganos infectados se realizará un muestreo manual, asegurándose de desinfectar previamente a las personas encargadas de la recolección y colocando las muestras en bolsas herméticas. Para la muestra del suelo se empleará una pala desinfectada antes de cada muestreo, descartando los primeros 5 cm de la capa superficial del suelo, y luego se tomarán las muestras, que serán colocadas en bolsas herméticas (200 g por muestra). Todas las muestras estarán debidamente identificadas y serán llevadas al Laboratorio de Investigación en Sanidad Vegetal (LABISANV) para su análisis.

Aislamiento:

La metodología a utilizar para el aislamiento de organismo antagonistas como para el patógeno, se utilizará la técnica de diluciones en serie.

Para los tejidos infectados de la planta, se realizarán aproximadamente 15 cortes en forma de cuadros de 1 cm². Estos fragmentos se colocarán en tubos Falcon de 50 ml que contendrán 25 ml de una solución de NaCl al 2%. A partir de esta preparación, se procederá a efectuar diluciones seriadas en un rango de 10⁻¹ a 10⁻⁴.

Para las muestras de suelo se pesará 10 g de cada una y estas serán disueltas en 90 ml de agua. A partir de ello se realizará diluciones seriadas de 10⁻¹ a 10⁻⁴ (Bustamante, 2015).

Para el cultivo de microorganismos a partir de diluciones, se empleará el sustrato APD, incubando las placas a 25°C durante un periodo de 3 a 7 días. Al finalizar este tiempo, se procederá a observar las características culturales

de las colonias desarrolladas, como su forma, color, textura y otros aspectos relevantes para su identificación (Islachin, 2022).

Identificación: Se realizará la identificación preliminar de las cepas utilizando técnicas morfológicas o pruebas moleculares en PCR.

Caracterización: Realiza pruebas preliminares para evaluar la capacidad de antagonismo de las cepas (Prueba de competencia en placa Petri).

Conservación de cepas: Los cultivos de las cepas con capacidad antagonista y el patógeno se conservarán en ambientes de baja temperatura.

Test de fenotipado: Para ello se inoculará *Phytophthora infestans* en medio de cultivo PDA, colocando un disco de 5 mm de micelio a 2 cm del borde de la placa de Petri. Después de 2 días de incubación, se inoculará un disco de 5 mm de un microorganismo antagonista, a una distancia equidistante del patógeno. Las placas se incubarán a una temperatura controlada de 20-25°C con un ciclo de luz/oscuridad de 12 horas (Lozoya-Saldaña et al., 2005). Para evaluar la capacidad de inhibición del antagonista se utilizará la siguiente formula dada por (García-Ordaz et al., 2021)

$$\text{Inhibición (\%)} = \frac{C - T}{C} \times 100$$

Donde

C: Diámetro del micelio en la placa de Petri del tratamiento control (en mm).

T: Es el diámetro del micelio en la caja de Petri del tratamiento con el antagonista (en mm).

Para la variable dependiente

Segunda fase: Inoculación de antagonistas

El efecto de los microorganismos antagonistas contra *Phytophthora infestans* en el cultivo de papa, se evaluará mediante un ensayo bajo condiciones de invernadero. En esta fase, se determinará el efecto de los cultivos seleccionados de microorganismos antagonistas con mayor capacidad de inhibir el crecimiento de *Phytophthora infestans* durante la primera fase de evaluación in vitro.

El ensayo consistirá en aplicar los microorganismos antagonistas seleccionados en el suelo y de manera foliar en macetas, que estarán constituidos por tierra agrícola. Se utilizará un diseño experimental de DCA. Los tratamientos incluirán los diferentes cultivos de antagonistas más un tratamiento testigo (sin inoculación de antagonistas).

Antes de la siembra, se realizará un análisis físico-químico del suelo en el Laboratorio de Investigación en Suelos y Aguas (LABISAG) para garantizar condiciones de crecimiento controladas. Las plantas de papa se inocularán con los antagonistas seleccionados al momento de la siembra en las macetas y luego se aplicarán de forma foliar conforme a las etapas fenológicas del cultivo.

Durante el ensayo, se medirán las variables dependientes en las fases vegetativa y productiva de la planta. En la fase vegetativa, se evaluarán parámetros de crecimiento como la altura de la planta, el número de hojas, entre otros, comenzando con la aparición de las primeras hojas verdaderas. En la fase productiva, se evaluará el peso y número de tubérculos por repetición. Este ensayo permitirá determinar la efectividad de los antagonistas en el control de *Phytophthora infestans* y su influencia en el crecimiento y rendimiento del cultivo de papa, así como la incidencia y severidad de la enfermedad.

Establecimiento del cultivo

Preparación de sustrato

Esta actividad es una de las principales labores agrícolas en la producción de papa, con el objetivo de acondicionar el suelo según las necesidades del cultivo (INIA, 2013).. Para establecer las papas, se utilizará una mezcla de tierra agrícola suelta, pajilla de arroz y arena en una proporción de 3:2:1, la cual será posteriormente combinada e incorporada en las bolsas.

Fertilización

La cantidad y tipo de fertilizante varían según la fertilidad del suelo, el clima y las necesidades nutricionales del cultivo (Arcos Pineda et al., 2020). Según La Torre, 2012 ,los requerimientos de la papa son 110-200-140 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

Evaluación de las variables de estudio:

Altura de la planta (cm): Medida desde la base del tallo principal hasta la yema terminal, cada 15 días después de la siembra.

Número de hojas por planta: Conteo total de hojas sanas por planta, realizado cada 15 días.

Días al inicio de tuberización: Número de días desde la siembra hasta la formación de los primeros tubérculos.

Días al inicio de floración: Número de días desde la siembra hasta la apertura de las primeras flores.

Peso total de tubérculos por planta (kg/planta): Peso total de los tubérculos cosechados por planta.

Número de tubérculos por planta: Conteo total de tubérculos por planta al momento de la cosecha.

Contenido de clorofila: Medición del contenido de clorofila en hojas usando un medidor SPAD.

Porcentaje de daño por *Phytophthora infestans* en hojas: Porcentaje de hojas afectadas por la enfermedad.

Porcentaje de daño por *Phytophthora infestans* en tubérculos: Porcentaje de tubérculos afectados por la enfermedad.

Inhibición de la incidencia y severidad de *Phytophthora infestans*: Reducción en la incidencia y severidad de la enfermedad en las plantas tratadas.

6.4. Cronograma

| Etapas | Duración (meses) | Periodo | |
|------------------------------------|---------------------|------------|------------|
| | | Inicio | Termino |
| Elaboración del proyecto | 1 | 01/01/2026 | 01/02/2026 |
| Revisión y corrección del proyecto | 1 | 01/02/2026 | 01/03/2026 |
| Recolección de muestras | 1 | 01/03/2026 | 01/04/2026 |
| Recolección de datos | 9 | 01/04/2026 | 01/1/2027 |
| Análisis de datos | 1 | 01/1/2027 | 01/2/2027 |
| Elaboración de informe | 2 | 01/2/2027 | 01/03/2027 |
| Revisión y corrección de informe | 1 | 01/03/2027 | 01/04/2027 |
| Presentación y sustentación | - | | |
| Total de años (inicio-fin) | 1,4 | 01/01/2026 | 01/04/2027 |

6.5. Diseño estadístico:

En la investigación se empleará un diseño factorial completamente al azar (DCA) con dos factores, cada uno con tres niveles: Cepas de antagonistas (Cepa A, Cepa B, Cepa C) y Concentración de antagonistas (10^6 , 10^7 , 10^8 UFC/mL) para el control del tizón tardío. Se realizarán 5 repeticiones por tratamiento, lo que incluye 6 combinaciones de tratamientos más 1 tratamiento testigo (sin inoculación de antagonistas). En total, se contará con 35 unidades experimentales (7 tratamientos x 5 repeticiones).

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (A*B)_{ij} + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Representa el valor observado correspondiente al nivel (i) del factor A y al nivel(j) del factor B.

μ = Es el efecto promedio verdadero de la media global

A_i = Es el efecto asociado al nivel i – ésimo del factor A

B_j = Es el efecto asociado nivel j – ésimo del factor B.

$(AB)_{ij}$ = Representa el efecto de la interacción entre el nivel i – ésimo del factor A con el nivel j – ésimo del factor B.

E_{ijk} = Corresponde al efecto producido por el error.

6.6. Análisis de datos

El análisis de datos se llevará a cabo utilizando RStudio, un entorno de código abierto basado en el lenguaje de programación R. Este software es ampliamente valorado por su eficacia en la gestión, análisis y visualización de datos de manera reproducible. Gracias a sus capacidades, es posible realizar análisis estadísticos complejos, implementar modelos de regresión, llevar a cabo pruebas de hipótesis y realizar análisis multivariados. Estas características hacen de R Studio una herramienta ideal para proyectos científicos que exigen un manejo preciso y confiable de grandes volúmenes de información (Salas, 2021).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriana Bustamante Gavilanes. (2015). “*Control Biológico Del Tizón Tardío Phytophthora Infestans En Papa Solanum Tuberosum A Través De Consorcios Microbianos Formados Por Hongos Nativos Del Género Trichoderma Sp.*”
- Análisis de Datos Con El Programa Estadístico R: Una Introducción Aplicada (2021).
https://www.researchgate.net/publication/356843133_Analisis_de_datos_con_el_programa_estadistico_R_Una_introduccion_aplicada
- Arcos Pineda, J., Mamani Huayta, H., Barreda Quispe, W. L., & Holguín Chuquimamani, V. (2020). *MANUAL TÉCNICO: MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO DE PAPA*. Instituto Nacional de Innovación Agraria.
<https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1146>
- Chumpitaz Bermejo, A. C. (2019). *Caracterización de actinomicetos rizosféricos aislados de cultivos orgánicos de papa nativa Solanum tuberosum, L y evaluación de su actividad antagonista a Phytophthora infestans (Mont) de Bary.*
- García-Ordaz, H. A., Chan-Cupul, W., Buenrostro-Nava, M. T., & Valadez-Ramírez, P. (2021). In vitro effectiveness of chemical fungicides against *Curvularia eragrostidis* (Henn) J. A. Mey, causal agent of leaf spot disease in pineapple. *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 429–434.
<https://doi.org/10.17268/SCIAGROPECU.2021.047>
- Goñas Goñas, M. U. N. T. R. de M. de A. I. de I. para el D. S. de C. de S. C., Vera Obando, N. Y. U. N. T. R. de M. de A. I. de I. para el D. S. de C. de S. C., & Leiva-Espinoza, S. T. U. N. T. R. de M. de A. I. de I. para el D. S. de C. de S. C. (2017). *Efecto antagonico in vitro de controladores biológicos sobre la pudrición gris de frutos de fresa (Fragaria spp) en el distrito de Chachapoyas (Amazonas).*
- INIA. (2013). *MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE LA PAPA PARA LA PRECORDILLERA DE LA COMUNA DE PUTRE.*

- ISLACHIN HUACRE, E. (2022). *Expresión antagónica in vitro de Trichoderma harzianum y T. viride ante hongos fitopatógenos aislados de Chenopodium quinoa Willd. Ayacucho.*
<https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/69957273-3e3c-4f4d-9e3d-11bf10a4d586/content>
- La Torre, B. (2012). *Fertilización en el cultivo de papa.*
- Lozoya-Saldaña, H., Coyote-Palma, M. H., Ferrera-Cerrato, R., Encarnación Lara-Hernández, M., & Agrícola, P. (2005). Aprobado: Mayo. In *Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia* (Vol. 40).
- Martínez Falcón, F. (2018). *Dosis de Trichoderma Harzianum Rifai en el control de Phytophthora Infestans (Mont) de Bary y rendimiento en 3 variedades de papa (Solanum tuberosum L.) en condiciones Edafoclimaticas de Mayobamba, 2016.*
 1.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=342460&info=resumen&idioma=SPA>
- Rokaya, N., Paneru, A., Timila, R. D., Dhital, S. P., Shrestha, R. K., Gopal Bahadur, K. C., & Manandhar, H. K. (2023). Evaluation of native isolates of Trichoderma spp. for controlling potato late blight caused by *Phytophthora infestans* in Nepal. *Journal of Phytopathology*, 171(11–12), 595–603.
<https://doi.org/10.1111/JPH.13214>
- Saldaña, H. L., Palma, M. H. C., Cerrato, R. F., & Hernández, M. E. L. (2006). Antagonismo microbiano contra *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. *Agrociencia*, 40(4), 491–499.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240408>
- Villamil Carvajal, J. E., Viteri Rosero, S. E., & Villegas Orozco, W. L. (2015). Aplicación de Antagonistas Microbianos para el Control Biológico de *Moniliophthora roreri* Cif & Par en *Theobroma cacao* L. Bajo Condiciones de Campo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68(1), 7441–7450.
<https://doi.org/10.15446/RFNAM.V68N1.47830>