

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica



Tesis

Evaluación de tres dosis de *Trichoderma harzianum* para el control de costra negra (*Rhizotocnia solani*) en papa en Huari-Ancash

Tesis para obtener el grado de:
Ingeniero Agrónomo

Presentado por el Bachiller:
Alarcón Flor, Gustavo Adolfo

Asesor:
Dra. Utia Pinedo, María Del Rosario

Huacho-Perú

2019

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica



Tesis

Evaluación de tres dosis de *Trichoderma harzianum* para el control de costra negra (*Rhizotocnia solani*) en papa en Huari-Ancash

Dr. Edison Goethe Palomares Anselmo
PRESIDENTE

Dr. Sergio Eduardo Contreras Liza
SECRETARIO

Mtro. Angel Pedro Campos Julca
VOCAL

Dra. María del Rosario Utia Pinedo
ASESOR

Huacho – Perú

2019

DEDICATORIA

A mis padres que con tanto sacrificio son el soporte del logro de mis metas y objetivos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi asesora Dra. María del Rosario
Utia Pinedo por haberme apoyado en momentos
difíciles con mi tesis.

INDICE

	Página
Carátula	i
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE	v
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I: Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Descripción del problema	2
1.3 Formulación del problema	2
1.3.1. Problema General	3
1.3.2. Problemas Específicos	3
1.4. Objetivos de la investigación	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5. Justificación de la investigación	3
1.6. Delimitaciones del estudio	4
1.7. Viabilidad del estudio	4
CAPÍTULO II: Marco teórico	5
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.2 Bases teóricas	6
2.2.1. Origen de la papa	6
2.2.2 Taxonomía	6
2.2.3 Descripción botánica	6
2.2.4 Fenología de la papa	8
2.2.5 Requerimiento de suelo	8
2.2.6 Requerimiento de clima	9
2.2.7 Generalidades de <i>Rhizoctonia solani</i>	9
2.2.8 Ciclo de vida del patógeno y síntomas de la enfermedad del hongo <i>R. solani</i>	10
2.2.9 Infección del hongo <i>Rhizoctonia solani</i> en las plantas de papa	11

2.2.10 Métodos de control de <i>Rhizoctonia solani</i>	12
2.2.10.1 Mecanismos de acción de los biocontroladores	12
2.2.10.2 Control biológico	13
2.2.11 Antagonismo en el ciclo de vida de <i>R. solani</i>	14
2.2.12 Control biológico de <i>R. solani</i> durante el proceso de infección	14
2.2.12.1 Controlador biológico <i>Trichoderma spp.</i>	14
2.2.12.2 <i>Trichoderma spp.</i> como control contra <i>Rhizoctonia solani</i> en papa	15
2.2.12 Técnicas para investigar la naturaleza biológica de la supresión de enfermedades en el suelo	15
2.2.12 Mecanismos de acción de biocontrol	16
2.3 Formulación de hipótesis	17
CAPÍTULO III: Metodología	18
3.1 Diseño metodológico	18
3.1.1 Tipo	18
3.1.2 Nivel	18
3.1.3 Diseño de la investigación	18
3.1.4 Enfoque de la investigación	19
3.2 Población y muestra	19
3.3 Operacionalización de variables	20
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
3.5 Técnicas para el procesamiento de la información	24
CAPÍTULO IV: Resultados	25
4.1 Grado de severidad de <i>Rhizoctonia solani</i>	25
4.2 Porcentaje de incidencia de <i>Rhizoctonia solani</i>	26
4.3 Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de <i>R. solani</i>	27
4.4 Eficiencia de control de la enfermedad de <i>Rhizoctonia solani</i> en papa	28
4.5 Altura de la planta de papa	29
4.6 Peso fresco del follaje de la papa	30
4.7 Peso seco del follaje de la papa	31
4.8 Rendimiento de la planta de papa	32
CAPÍTULO V: Discusión, Conclusiones y recomendaciones	34
CAPITULO VI: Referencias Bibliográficas	41
ANEXOS	44

RESUMEN

Objetivo: Evaluar el efecto de tres niveles de concentración del agente biológico *T. harzianum* (Tricho-D) en el control de *Rhizotocnia solani* en *Solanum tuberosum* “papa” variedad Yungay en condiciones de Huari. **Métodos:** Se realizó en la finca Tumbos, ubicada en el distrito de Chavín de Huantar-Huari, entre los meses de noviembre 2018 a febrero 2019, se utilizó el diseño de bloques completamente al azar, con 4 tratamientos (3 niveles de concentración de Tricho-D, más un testigo sin control). Las variables evaluadas fueron: grado de severidad, porcentaje de incidencia, ABCPE, eficiencia de control, altura de la planta, peso fresco y seco del follaje y rendimiento por planta de papa. **Resultados:** La dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D reportó menos severidad con un grado de 0.75 y 7.5 % de incidencia de la enfermedad de *R. solani*, asimismo, la dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D tuvo un efecto antagónico sobre el hongo *R. solani* obteniendo una alta eficiencia de control con 82.5%. Asimismo, la dosis más alta de 0.3 kg/ha de Tricho-D presentó tamaño de planta con 94.5cm, peso fresco del follaje por planta (254.4 g planta⁻¹) y peso seco (84.3 g planta⁻¹), además reportó mayor rendimiento por planta con 757.5 g planta⁻¹ de papa variedad Yungay. **Conclusión:** La dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D tuvo un efecto antagónico con actividad parasítica del hongo *R. solani* controlando la costra negra en el cultivo de papa variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar-Huari-Ancash.

Palabras claves: Costra negra, hongo, incidencia, severidad, eficiencia, rendimiento.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effect of three levels of concentration of the biological agent *Trichoderma harzianum* (Tricho-D) in the control of *Rhizotocnia solani* in *Solanum tuberosum* "potato" Yungay variety under Huari conditions. **Methods:** It was carried out at the Tumbos farm, located in the Chavín district of Huantar-Huari, between the months of November 2018 to February 2019, the completely randomized block design was used, with 4 treatments (3 levels of concentration Tricho-D, plus a witness without control). The variables evaluated were: degree of severity, percentage of incidence, ABCPE, control efficiency, plant height, fresh and dry foliage weight and yield per potato plant. **Results:** The dose of 0.3 kg/ha of Tricho-D reported less severity with a degree of 0.75 and 7.5% incidence of *R. solani* disease. Likewise, the dose of 0.3 kg/ha of Tricho-D had an antagonistic effect about the fungus *R. solani* obtaining a high control efficiency with 82.5%. Likewise, the highest dose of 0.3 kg/ha of Tricho-D had a plant size with 94.5cm, fresh foliage weight per plant (254.4 g plant⁻¹) and dry weight (84.3 g plant⁻¹), also reported higher yield per plant with 757.5 g plant⁻¹ potato Yungay variety. **Conclusion:** The dose of 0.3 kg/ha of Tricho-D had an antagonistic effect with parasitic activity of the *R. solani* fungus controlling the black crust in the Yungay variety potato crop under Chavín of Huantar-Huari-Ancash conditions.

Keywords: Black crust, dose, fungus, incidence, severity, efficiency, performance.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una planta anual, herbácea y dicotiledónea de la familia Solanaceae. La papa es comúnmente conocida como cultivo problemático orientado a las enfermedades producidas por hongos fitopatógenos (Rauf et al., 2015). La actividad agrícola depende de muchos factores, para lograr una alta productividad es necesario controlar el ataque de plagas y fitopatógenos, que causan graves daños y pérdidas a los cultivos. Para evitar dichos efectos negativos en los cultivos se realizan técnicas, siendo el control químico el más usado. Sin embargo, los agricultores realizan un uso indiscriminado de estos productos y en consecuencia surgen problemas en la salud pública y ambiental, además de ocasionar problemas en la biodiversidad y resistencia a estos productos químicos por parte de las plagas (Pavone, 2012).

La papa es susceptible a una amplia variedad de enfermedades, incluida la enfermedad ocasionada por el hongo *Rhizoctonia solani*. El control con pesticidas sintéticos del patógeno fúngico *R. solani* (el agente causal de la enfermedad *Rhizoctonia* o costra negra) no siempre es eficaz, y existe una tendencia actual a disminuir el uso de agroquímicos sintéticos en la producción de cultivos. Por lo que el control biológico de *Rhizoctonia* de la papa podría convertirse en una estrategia importante en el sistema integrado de manejo de plagas y enfermedades en el cultivo (Bienkowski, 2012). *R. solani* es transmitido por inóculos, además, sobrevive en los tubérculos infectados, en residuos de plantas y en las partículas del suelo. Tanto el micelio como los esclerocios habitan en los microorganismos, insectos y nematodos, en caso de que se destruya las fuentes de inóculo la densidad de la población disminuye, sin embargo, la población puede recuperarse rápidamente si se dispone de un huésped adecuado y condiciones ambientales que favorezcan su desarrollo (Van den Brink y Wustman, 2014).

Tovar (2008) menciona que *Trichoderma spp.* es un agente que controla hongos patógenos que está siendo utilizado en la zona agrícola ya que cuenta con una capacidad de colonizar micelios de hongos patógenos y permite dar resistir ante el ataque de estos microorganismos, además, promueve el crecimiento de las plantas. Por lo que es necesario realizar su uso como control biológico para inhibir el crecimiento y desarrollo de *R. solani* en papa bajo condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

1.1 Planteamiento del Problema

1.2 Descripción de la realidad problemática

La enfermedad de la costra negra enfermedad de la papa es importante económicamente debido que causa daños cuantitativos y cualitativos y para su control se invierte mucho dinero (Tsrer, 2010). *Rhizoctonia solani* causa daño a muchos cultivos, este hongo es relativamente específico para la papa y los esclerosios en tubérculos permanecen exclusivamente en los tubérculos (Van den Brink y Wustman, 2014). Es un patógeno transmitido por el tubérculo semilla y el suelo, el manejo efectivo de la enfermedad de *Rhizoctonia* requiere la implementación de un enfoque de manejo integrado de la enfermedad y el conocimiento de cada una de sus etapas. Aunque las medidas de control más importantes son el control cultural, el control químico (ya sea por medio de tubérculos de semillas o en tratamientos en surcos) sigue siendo una herramienta importante para reducir los daños causados por *R. solani* (Tsrer, 2010). Es por ello que se evaluó el efecto en el control de *R. solani* con el uso de diferentes dosis de *Trichoderma harzianum* en la productividad de papa, bajo las condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cuál es el efecto de los niveles de concentración de *Trichoderma harzianum* (Tricho-D) sobre el control de costra negra provocado por el hongo *Rhizotocnia solani* en *Solanum tuberosum* “papa” variedad Yungay bajo condiciones de Huari-Ancash?

1.3.2 Problemas específicos

¿Cuál de los niveles de concentración de Tricho-D tendrá menos grado de severidad e incidencia de la enfermedad de costra negra en papa variedad Yungay, en condiciones de Chavín de Huantar, Huari?

¿Cuál de los niveles de concentración de Tricho-D tendrá mayor eficiencia de control de la enfermedad de costra negra en *Solanum tuberosum* en condiciones de Chavín de Huantar, Huari?

¿Cuál es el efecto de los niveles de concentración de Tricho-D sobre el rendimiento del cultivo de la papa variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de tres niveles de concentración del agente biológico *Trichoderma harzianum* (Tricho-D) en el control de *Rhizotocnia solani* en *Solanum tuberosum* “papa” variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

1.4.2 Objetivos específicos

Evaluar los niveles de concentración del agente biológico Tricho-D con menos severidad e incidencia de *Rhizotocnia solani* en papa en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

Evaluar el efecto de los niveles de concentración de Tricho-D sobre la eficiencia del control de la enfermedad de *Rhizotocnia solani* en *Solanum tuberosum* variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

Evaluar el efecto de los niveles de concentración de Tricho-D sobre el rendimiento del cultivo de papa variedad Yungay bajo condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

1.5 Justificación de la investigación

El cultivo de papa es de suma importancia y es el cuarto cultivo más grande después del arroz, el trigo y el maíz en el mundo (Rahul et al., 2016). Sin embargo, la papa sufre de muchas enfermedades, entre las que se encuentran la enfermedad de la costra negra causada por *Rhizoctonia solani* Kuhn, considerado uno de los hongos necrotróficos cosmopolitas más importantes del suelo. Estas enfermedades tienen una distribución mundial donde sea que se cultive papa (Ibrahim, 2017).

Al inicio del desarrollo de la enfermedad, las plantas de papa presentan lesiones de color marrón rojizo a marrón en los estolones, las raíces y los tallos. A medida que

maduran las lesiones, se convierten en canchales o costras de color negro los cuales son ásperos y marrones y pueden tener cráteres, grietas o ambos (Wharton, 2015).

Esto genera un mal aspecto del tubérculo, que en consecuencia el consumidor no los selecciona generando una baja comercialización y en la planta provoca síntomas que pueden provocar muerte en las plantas sino se controlan generando así una baja producción, sumado a ello la comercialización, una pérdida económica en los productores de papa. Sin embargo, existe una creciente evidencia de control biológico para reducir la enfermedad de *Rhizoctonia*, siendo el género *Trichoderma* un agente potencial de control biológico contra varios hongos fitopatógenos. Un parámetro para su uso exitoso es un proceso de enrollamiento eficiente seguido de una producción sustancial de enzimas hidrolíticas, además la investigación demuestra que las observaciones macroscópicas del crecimiento de hongos en cultivos duales revelaron que la inhibición del crecimiento del patógeno ocurrió poco después del contacto con el antagonista. (Almeida et al., 2007). Asimismo, *Trichoderma harzianum* secreta un compuesto llamado alfa-1,3-glucanasas el cual posee una actividad lítica y antifúngica contra patógenos fúngicos de plantas (Ait-Lahsen et al., 1001).

1.6 Delimitaciones del estudio

El estudio se realizó en la finca los Tumbos, ubicada en Chavín de Huantar, distrito de Huari provincia de Áncash, geográficamente se ubica a una latitud de 9°35'24.28"S y longitud de 77° 9'58.76"O y se encuentra a una altitud de 3550 msnm. El estudio se llevó a cabo entre los meses de noviembre de 2018 a febrero del 2019. Siendo la estación lluviosa donde se realiza la producción de papa. La investigación es socialmente justa ya que sus resultados permiten dar solución a los problemas que genera *Rhizoctonia solani* en cultivo de papa variedad Yungay con el uso de diferentes dosis de Tricho-D.

1.7 Viabilidad

Es una investigación viable ya que se dispone de recursos económicos y recursos humanos, por parte de los productores de papa y del tesista. Además, se dispone de recursos teóricos, debido a que se obtuvo acceso a información de investigaciones internacionales y nacionales.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Rauf et al. (2015) quienes investigando sobre el manejo de la costra negra de papa con el uso de micorganismos eficientes y *Trichoderma harzianum*, indican que la enfermedad de la costra negra (*Rhizoctonia solani*) de la papa se están volviendo prominentes en el estado de crecimiento de muchas papas que ha resultado en pérdidas económicas, desde hace una década. Reportó una incidencia mínima de enfermedad (17.25) y un rendimiento de tubérculos (26.11 t/ha) con el tratamiento *Trichoderma harzianum* proporciona un manejo efectivo de esta enfermedad del tubérculo de papa.

Beagle y Papavizas (1985) menciona que la eficacia de Fermentor (*Trichoderma viride*) y Gliocladium usados como antagonistas en *Rhizoctonia solani* en papa evaluados en invernadero, muestra una reducción en el porcentaje de incidencia en el campo de aproximadamente 50 y 55% respectivamente. La viabilidad de los esclerocios de los tubérculos semillas recuperadas del campo se redujo en un 54-89% por antagonista específico. En cambio, en invernadero hasta el 88% de reducción en la germinación de los esclerocios se observó en el tratamiento con tubérculos infestados con *Trichoderma viride* antes de la siembra.

Rahman et al. (2017) en su estudio sobre la eficacia del manejo integrado de la costra negra que afecta a la planta de papa, reporta que la incidencia más baja de la enfermedad (11.2%) y el porcentaje del índice de enfermedad (4.58) se encontraron en T7 (estiércol de aves de corral a 5 t ha⁻¹ antes de los 25 días de siembra, DAP + empapado de suelo con Azoxystrobin al 0.10% durante la siembra y 45 DAP) seguido de T6 (PM 5 t ha⁻¹ + empapando el suelo con Azoxystrobin al 0.05%). El peso mínimo de tubérculos russet (480 g parcela⁻¹), deformes (450 g parcela⁻¹) e infectados por *Sclerotia* (150 g parcela⁻¹) también se registró en T7. El tubérculo sano más alto (1900.05 g parcela⁻¹) y el rendimiento de tubérculos (22.4 t ha⁻¹) se encontraron en el mismo tratamiento. Por lo tanto, el estiércol de aves de corral 5 t ha⁻¹ antes de 25 suelos DAP + empapados con Azoxystrobin al 0,10% durante la siembra y 45 DAP puede recomendarse para producir tubérculos sanos y el rendimiento máximo de papa para tubérculos.

Wilson et al. (2008) quienes en su investigación sobre el modelado empírico se aplicaron por primera vez para investigar el efecto del antagonista *Trichoderma harzianum* en la dinámica de *R. solani* transmitida por el suelo en plantas de papa individuales. Mencionan que *Trichoderma harzianum* redujo la severidad de los síntomas, expresados como "índice de lesión del tallo de rhizoctonia" (RSI), durante los primeros 7 días posteriores a la inoculación cuando el inóculo de *R. solani* se colocó a ciertas distancias (30–60 mm) del huésped. Por ejemplo, con inóculo a 40 mm del huésped, el RSI fue de 6 y 40 con y sin *T. harzianum*, respectivamente. En tiempos posteriores de observación, se superó el efecto antagonístico. *Trichoderma harzianum* redujo la severidad de la costra negra en los tubérculos semilla. Además, el número de tubérculos por planta se redujo mediante el tratamiento de control biológico (medias de 6.5 ± 1.1 y 9.9 ± 2.7 tubérculos por planta con y sin *T. harzianum*, respectivamente). Además, hubo menos tubérculos malformados y de color verde en macetas tratadas con *T. harzianum* que en aquellas sin *T. harzianum*.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Origen de la papa

De acuerdo con información científica actual, la papa es originaria del altiplano andino, antecedentes indican que las zonas donde se originó y se domesticó la papa se encuentra donde hoy es Perú, allá por el año 8000 A.C. (Parsons, 2015).

2.2.2 Taxonomía

La taxonomía del cultivo de papa según la FAO (2008), se divide en dos subespecies, solo ligeramente diferentes: andigena, que se adapta a las condiciones de días cortos se refleja en la zona de los Andes, y *tuberosum*, su producción se da en todo el mundo.

2.2.3 Descripción Botánica

a. Tipo de planta

La papa es una planta herbácea anual y produce tubérculos también llamado papa, que es rico en almidón entre otros carbohidratos (FAO, 2008).

b. Raíz

El sistema radicular es de tipo adventicio, y tiene una raíz pivotante que estructura la planta, asimismo, este sistema radicular se encuentra en los primeros 40 centímetros de la superficie del suelo (Parsons, 2015).

c. Tallo

Presenta un tallo herbáceo, erecto, con vellosidad y con ramificaciones. De acuerdo a las investigaciones, existe relación entre el número de tallos y la producción de tubérculos dependiendo de la variedad genética (Parsons, 2015).

d. Hojas

Las hojas son del tipo compuesto, posee muchos folíolos entre opuestos y en la parte terminal un folíolo grande, además, los folíolos son vellosas como terminal. No obstante, en las axilas emergen yemas vegetativas y yemas florales (Parsons, 2015).

e. Flores

Las yemas florales dan origen a las flores, las cuales son de tipo hermafrodita y son completas, es decir tiene todos los órganos florales, siendo una planta autógama. La inflorescencia, esta es una cimosa y se ubica en la parte apical del tallo. El color que poseen las flores son variadas y estas dependen de la variedad (Zuñiga et al., 2017).

f. Tubérculo

Según la FAO (2008) sostienen que la planta de papa produce tubérculos en la parte subterránea mediante el engrosamiento de los estolones donde inician un flujo de carbohidratos más agua y esto permite que los estolones se engruesen y formen los tubérculos, pero según la variedad y la especie la forma y tamaño del tubérculo varía. Además, los tubérculos, son órganos de reserva de almidón de la planta por el cual la planta resiste al clima frío. Asimismo, cada tubérculo presenta un alrededor de 10 brotes o ojos en su superficie, y estos brotes forman tallos cuando pierde la dormancia.

2.2.4 Fenología del cultivo

La fenología de la planta de la papa presenta los siguientes estadios:

Emergencia: Las hojas del tallo principal comienza alargarse y desplazarse sobre la superficie del suelo, aparecen las primeras hojas sobre la superficie del suelo (MINAGRI, 2015).

Brotos laterales: El tallo principal empieza a ramificarse, las nuevas ramas empiezan a crecer longitudinalmente hasta cubrir todo el campo de cultivo. Los brotes que aparecen desde el tallo principal son aéreos y subterráneas. Los primeros dan lugar a la formación del follaje y los segundos de los estolones, por lo que se engrosarán en la porción distal que dará origen al tubérculo (MINAGRI, 2015).

Botón floral: Iniciación de los botones florales en la primera inflorescencia visible del tallo principal (MINAGRI, 2015).

Floración: Se abren las primeras flores e inicia la tuberización (MINAGRI, 2015).

Maduración: Ocurre cuando existe una variación en el color de la hoja, debido a que los fotoasimilados de la hoja se dirigen al tubérculo hasta que madura el tubérculo, hay que tener en cuenta que el peridermo del tubérculo es decir su piel tiene que estar bien madura para que no se desprenda al tocarlo, ya que podría perder calidad y pueda ingresar microorganismos (MINAGRI, 2015).

Ciclo vegetativo de la planta de papa, fuente MINAGRI (2015).

2.2.5 Requerimiento de suelo

El cultivo de papa generalmente involucra la labranza intensiva del suelo durante todo el período de cultivo, lo que a menudo conduce a la degradación del suelo, la erosión y la lixiviación de nitratos. Durante la preparación del suelo, toda la capa superficial del suelo se afloja y, particularmente en suelos pegajosos, se pulveriza en pequeños agregados para evitar la formación de terrones en los lechos de papa. La escarda mecánica y la cosecha mecanizada también conllevan una perturbación intensiva del suelo (FAO, 2008).

2.2.6 Requerimiento de clima

Según Zuñiga et al. (2017) indica que el cultivo de papa se siembra en la estación lluviosa de la sierra peruana. La temperatura donde la planta se desarrolla y crece se encuentra entre un rango de 13 y 18 °C, y como es cultivo que evolucionó en las condiciones climáticas de los andes, esta puede soportar noches frías, pero si el frío es muy intenso como de 0°C y -2°C puede sufrir de helada, ocasionando hasta la muerte de la planta si esta helada se prolonga varios días. En cuanto al fotoperiodo esta son de días cortos los cuales favorecen al proceso de tuberización.

Por otro lado, las heladas Zuñiga et al. (2017) menciona que la papa es un cultivo bastante sensible a las heladas tardías, ya que produce un retraso y disminución de la producción. Si la temperatura es de 0 °C la planta se hiela, acaba muriendo, aunque puede llegar a rebrotar. Los tubérculos sufren el riesgo de helarse en el momento en que las temperaturas sean inferiores a -2°C.

2.2.7 Generalidades de *Rhizoctonia solani*

La costra negra causado por el patógeno fúngico *R. solani*, transmitido por el suelo, se traslada a la siguiente estación de crecimiento como esclerocios (costra negra) en tubérculos y en el suelo. La enfermedad se manifiesta inicialmente como lesiones en brotes de papa y, a veces, muerte de brotes, y como lesiones del cancro del tallo marrón oscuro en tallos subterráneos de la planta de papa y en estolones en desarrollo (Banville et al., 1996).

El hongo *R. solani*, patógenas para la papa, se encuentran en cultivos de todo el mundo y las enfermedades causadas por *Rhizoctonia* en la papa pueden llevar a pérdidas de rendimiento económico. El control de plaguicidas de estas enfermedades no siempre es efectivo, y el control biológico tiene el potencial de aumentar las prácticas de manejo de cultivos existentes para el control de las enfermedades de *Rhizoctonia*. A pesar de su importancia como cultivo y la prevalencia de *R. solani* como patógeno, el control biológico de las enfermedades de *Rhizoctonia* no se practica comercialmente (Ibrahim, 2017).

2.2.8 Ciclo de vida y síntomas del hongo *R. solani*

El ciclo de vida de las cepas patógenas de *R. solani* patógenas es probablemente asexual y comienza con fuentes de inóculo, ya sea micelios o esclerocios, presentes en el suelo o en la materia vegetal en descomposición en el campo, o en la superficie de los tubérculos de semillas. Durante el crecimiento del micelio, el patógeno puede existir saprofiticamente, o puede infectar raíces de papa, tallos, estolones (tallos subterráneos que producen tubérculos hijas en sus puntas) y tubérculos en desarrollo, como se detalla en la Figura 1, pero éstas se consideran poco importantes como fuentes de inóculo en la epidemiología de las enfermedades por Rhizoctonia (Bienkowski, 2012).

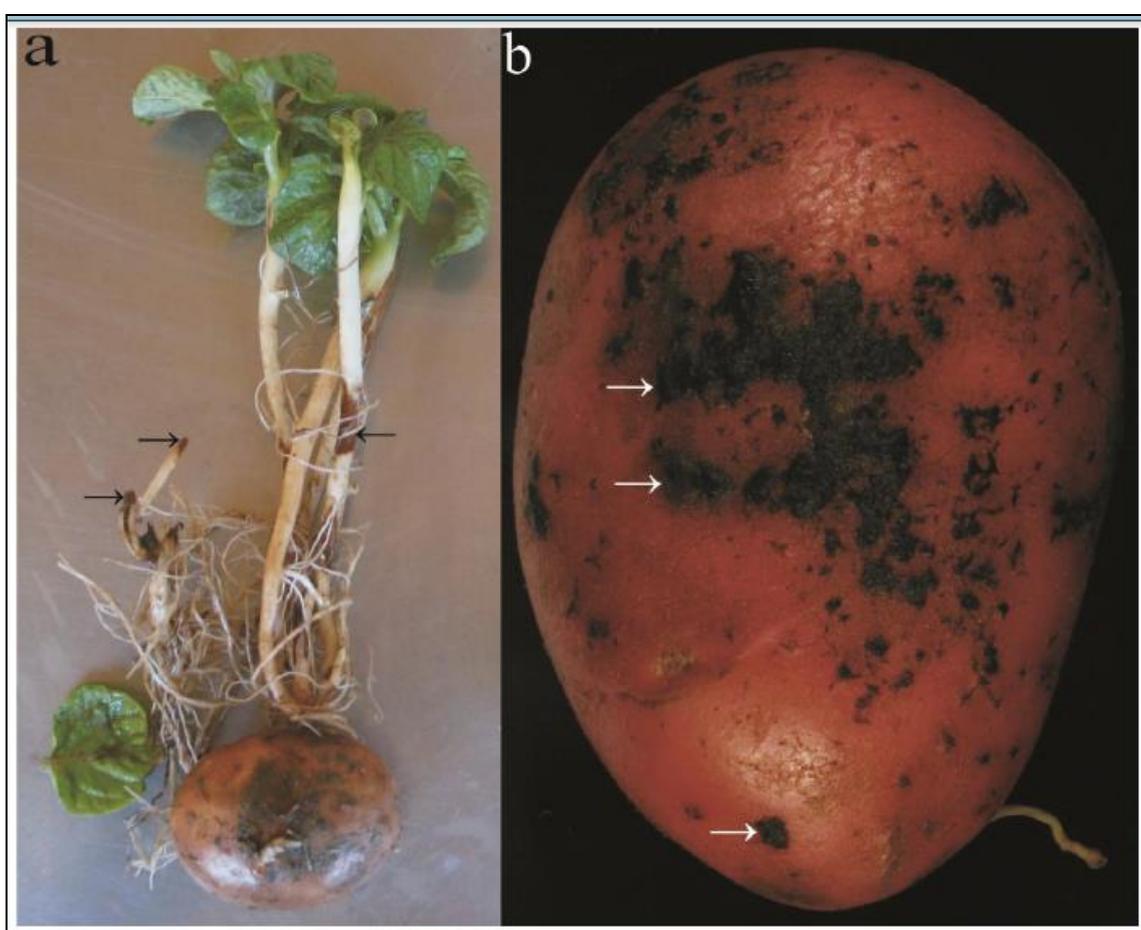


Figura 2.

(a) cancro del tallo de *Rhizoctonia*, así como "pellizcos" de brotes de plantas de papa y (b) esclerocios de *R. solani* (costra negra) en la superficie de un tubérculo de papa.

Fuente: Bienkowski (2012).

La mayor parte del daño se da a condiciones ambientales favorables para su crecimiento rápido del fitopatógeno y la temperatura requerida está oscilando entre 0 a 24°C, bajo estas condiciones de temperaturas es necesario que se desarrolle el hongo con la misma oportunidad que los brotes de las plantas subterráneas emerjan. La susceptibilidad del tejido de la planta disminuye rápidamente cuando emergen brotes y se forma la clorofila. Se cree que las temperaturas frescas, la humedad relativa del ambiente, la fertilidad del suelo con un pH neutro (pH de 7 o menos) favorecen el desarrollo de *Rhizoctonia* cuando se infesta en la papa (Van den Brink y Wustman, 2014).-

2.2.9 Infección de *Rhizoctonia solani* en papa

La enfermedad de *Rhizoctonia* en el cultivo de papa comprende dos fases distintas: infección de plantas en crecimiento (cancro de *Rhizoctonia*) e infestación de tubérculos semilla por esclerocios (costra negra) (Banville et al., 1996). Cualquiera pueden estar presentes en el cultivo de papa. Ambos son económicamente importantes y cada uno ha sido objeto de mucha investigación. Sin embargo, se debe tener cuidado al interpretar los datos informados en la literatura, ya que no todos los autores definen con qué fase se enfrentan cuando hablan de la "enfermedad de *Rhizoctonia* (Banville et al., 1996).

La enfermedad de *Rhizoctonia* está presente en el cultivo de papa, aunque los síntomas y los signos asociados pueden ser más o menos visibles o importantes según el potencial del inóculo y las condiciones climáticas apropiadas. Sin embargo, una evaluación realista de la incidencia de infección por *Rhizoctonia* en un campo de papa es difícil porque los síntomas más distintivos ocurren debajo de la superficie del suelo y el impacto en el rendimiento no se ve hasta la cosecha (Banville et al., 1996). Por lo tanto, la infección de los tubérculos de papa por *R. solani*, demuestra ser la causa de manchas oscuras en la piel del tubérculo, esto puede reducir el valor de las variedades de papa que se lavan antes de su venta (Bienkowski, 2012).

Cuando se siembran las semillas infectadas con el hongo *Rhizoctonia* este se desarrolla a partir de la superficie de la semilla y se va desarrollando la infección, en los primordios de la raíz, el estolón y de las hojas. La infección también es posible a partir de inóculo en suspensión (Van den Brink y Wustman, 2014). Las raíces y los estolones pueden ser atacados en cualquier momento durante la fenología de la planta. Sin embargo,

la mayoría de las infecciones es probablemente llegan a ocurrir en la primera parte del ciclo de crecimiento de la planta. La resistencia de la planta ante la infección del hongo fitopatógeno en los estolones aumenta después de la emergencia, lo que finalmente provoca la expansión de las lesiones. Al final del crecimiento, los factores que desencadenan la formación de esclerocios no se conocen bien, pero pueden incluir productos relacionados con la senescencia de las plantas, sin embargo, los tubérculos producidos a partir de la planta madre no siempre se infestan con esclerocios. La formación de esclerocios puede continuar durante el almacenamiento especialmente si hay demasiada luz en el almacén (Van den Brink y Wustman, 2014).

2.2.10 Métodos de control de *Rhizoctonia solani*

El control con plaguicidas sintéticos de esta enfermedad no siempre es efectivo (Ibrahim, 2017). Dentro de las técnicas usadas en el manejo integrado de enfermedades, el biocontrol es un conjunto de técnicas que conlleva a un menor impacto ecológico, ya que los organismos que se utilizan para tal fin, generalmente poseen un restringido intervalo de acción, es decir que son muy específicos en cuanto al número de especies que pueden atacar, en comparación con los agroquímicos. Además, su uso no necesariamente implica la introducción de especies nuevas en un ambiente determinado, sino que más bien se promueve el aumento del inóculo de aquellos organismos que son potenciales biocontroladores o que puedan ejercer efectos benéficos sobre el cultivo, puedan subsistir durante varios periodos de cosecha y ejercer el deseado efecto de control (Pavone, 2012).

2.2.10.1 Mecanismos de acción de los biocontroladores

Brewer y Larkin (2005) mencionan que los controladores biológicos suprimen la costra negra y sería el mejor como estrategia de control biológico. Además, las combinaciones de organismos que proporcionan un mayor control de ambos síntomas de la enfermedad serían beneficiosas. Algunas combinaciones proporcionaron un mejor control del cancro del tallo, pero ninguna reprimió la costra negra mejor que los organismos individuales de biocontrol. También se puede proporcionar un control mejorado de la escoria negra o el cancro del tallo de la papa combinando azoxistrobina con organismos bacterianos de control biológico eficaces.

El control biológico resulta de un conjunto de actividad que los agentes de biocontrol realizan para reducir la actividad parasítica de los hongos patógenos, además, existe competencia por nutrientes, espacio con estos hongos patógenos, asimismo, produce metabolitos que impiden la fungistasis, matan las células del hongo también llamado (antibiosis). El control biológico también resulta de una interacción entre el agente biocontrol y el hongo patógeno en función al micoparasitismo, a la síntesis de enzimas hidrolíticas, compuestos tóxicos y/o antibióticos que reducen el ataque del hongo patógeno (Benitez et al., 2004).

La *Trichoderma* pueden incluso ejercer efectos positivos en las plantas con un aumento en el crecimiento de las plantas (biofertilización) y la estimulación de los mecanismos de defensa de las plantas (Benitez et al., 2004).

2.2.12.2 Control biológico

Una de las principales técnicas para el control de *Rhizoctonia solani* es el uso de agente biocontroladores que se fundamenta en la utilización de organismos vivos para controlar a aquellos que son considerados plaga, y en último lugar y sólo si es estrictamente necesario, el control químico, tratando siempre de utilizar productos de baja toxicidad y a la dosis y frecuencia de aplicación recomendadas por el fabricante (Pavone, 2012). Bienkowski (2012) menciona que el control biológico de esta enfermedad es una opción confiable para los cultivadores de papa, los agentes de control biológico probablemente requerirán un apoyo nutricional apropiado y económicamente viable cuando se introduzcan en las estrategias de manejo de enfermedades de los cultivos.

Eilenberg et al. (2001) describe y definen cuatro estrategias de control biológico: (1) Control biológico clásico, (2) Control biológico de la inoculación, (3) Control biológico de la inundación y (4) Control biológico de la conservación. Se propone utilizar estos cuatro términos tal como se definen, y evitar el uso del término "aumento". Los términos para procesos específicos y modos de acción (por ejemplo, 'parasitoide' y 'competidor') se pueden definir mediante el uso dentro de las diferentes disciplinas de control biológico. El control microbiano generalmente indica un control biológico de los invertebrados que utilizan microbios y como tal, es una subdivisión de control biológico.

2.2.13 Antagonismo en el ciclo de vida de *R. solani*.

R. solani es patógeno para una amplia gama de plantas de cultivo. Las cepas son extremadamente variables en respuestas especializadas a las plantas hospedadoras y en la producción de síntomas. Es importante determinar las medidas exitosas considerando las características de los patógenos durante su ciclo de vida. El patógeno crece de forma competitiva y saprofitica en el suelo y forma esclerocios como estructuras de reposo en el suelo. El patógeno se expande rápidamente desde una base alimenticia, coloniza las raíces, crece externamente en las superficies de las raíces e invade las células epidérmicas desde la almohadilla de la infección o la apresoria del lóbulo (Homma, 1996).

2.2.14 Control biológico de *R. solani* durante el proceso de infección.

La actividad del patógeno en el campo de la infección incluye el crecimiento saprofitico en la rizosfera, el crecimiento externo en la superficie de la raíz, la formación de estructuras de infección, la invasión a las células epidérmicas, el crecimiento parasitario en los tejidos del huésped y la translocación a la rizosfera. Es importante considerar las estrategias de control biológico de *R. solani* para suprimir la actividad en el tribunal de la infección por las bacterias productoras de antibióticos y sideróforos (Homma, 1996).

2.2.12.1 Controlador biológico *Trichoderma spp.*

El género *Trichoderma* es el grupo más estudiado de biocontrolantes de hongos patógenos de plantas. Su rápido crecimiento micelial, asociado con la alta producción de conidios, la síntesis de varios antibióticos y la capacidad de vivir en diferentes estilos de vida (saprotroph, symbiont o mycoparasite) son características que lo hacen atractivo para este propósito (Monteiro et al., 2010). El modo de acción más directo de la acción de *Trichoderma* contra hongos fitopatógenos es a través de la interacción conocida como micoparasitismo (Mota et al., 2019).

2.2.12.2 Trichoderma spp. como control contra *Rhizoctonia solani* en papa

Ethur et al. (2005) indicaron que *Trichoderma spp.* es un prometedor agente de biocontrol, en su estudio de investigación aislaron y trataron varios hongos controladores de los esclerocios de *S. sclerotiorum*, como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, pero solo los aislados de *Trichoderma* demostraron la capacidad de inhibir el crecimiento micelial de *S. sclerotiorum*. Ezziyyani et al. (2004) menciona que *Trichoderma* actúan como hiperparásitos el cual produce metabolitos secundarios antifúngicos, además de enzimas hidrolíticas que cambia la estructura a nivel celular, tal como la vacuolización, desintegración del citoplasma y muerte celular, en los microorganismos.

Monteiro et al. (2010) en su estudio sobre nuevos conocimientos de *Trichoderma harzianum* como antagonista de patógenos fúngicos de plantas por análisis de proteínas secretadas reportan que *Trichoderma harzianum* fue capaz de degradar los micelios de *Rhizoctonia solani*, enrollando alrededor de las hifas con formación de apresorios y estructuras en forma de gancho.

2.2.12 Técnicas para investigar la naturaleza biológica de la supresión de enfermedades en el suelo.

Bienkowski (2012) menciona que primero, para determinar si la supresión es biológica, las muestras de suelo pueden esterilizarse (tratamiento con vapor, irradiación gamma, fumigación) y deberían perder capacidad de supresión si esta es biótica. Los tratamientos del suelo, como la temperatura, antibióticos selectivos o fungicidas y la alteración de los parámetros ambientales (por ejemplo, pH, potencial hídrico, temperatura) también se pueden usar para indicar qué componente de la microflora del suelo es responsable de la supresión. Por lo que el uso de técnicas más apropiadas para dilucidar estos mecanismos es de considerable importancia (Bienkowski, 2012).

El hongo *R. solani*, se encuentran en cultivos de todo el mundo y las enfermedades causadas por *Rhizoctonia* en la papa pueden llevar a pérdidas de rendimiento económico. La identificación de aislados de control biológico para la supresión de las enfermedades por *Rhizoctonia* y la generación de un conocimiento detallado de sus mecanismos de acción y la limitación del control biológico, es un componente clave para incorporar con éxito el control biológico en la producción comercial de papa. Las rotaciones de cultivos y

las enmiendas del suelo con materia orgánica son otras. La selección de cultivos para incluir en rotaciones y el tipo más adecuado de enmiendas de materia orgánica, puedan modificarse para influenciar la estructura de la *R. solani* para maximizar el potencial de biocontrol la reducción o eliminación del inóculo transmitido por el suelo es la única solución efectiva para superar el problema y esto se puede lograr mediante la aplicación de varias medidas de control que los antagonistas fúngicos consideran una de las tácticas más importantes y con mayor viabilidad (Ibrahim, 2017).

2.2.12 Mecanismos de acción de biocontrol.

a. Competencia

Los microorganismos en el suelo compiten constantemente entre sí por los recursos espaciales y nutricionales. Dado que *R. solani* es un saprófito, así como un patógeno para las plantas, los organismos que suprimen las enfermedades de *R. solani* pueden hacerlo impidiendo que el patógeno acceda a la nutrición en el suelo o bloqueando el acceso de infección de las plantas (Bienkowski, 2012).

b. Antibiosis

Homma (1996) sostiene que la supresión de las enfermedades de *Rhizoctonia* por microorganismos específicos a menudo se atribuye a la producción de metabolitos secundarios que son directamente tóxicos para el patógeno. Los compuestos implicados en el control biológico de *R. solani* suelen ser antibióticos o enzimas que degradan la pared celular de los hongos. Se ha demostrado que la capacidad de muchas cepas de rizobacterias para suprimir patógenos de plantas depende de su capacidad para producir metabolitos secundarios que inhiben directamente los patógenos, y estos incluyen antibióticos, sideróforos, bacteriocinas y cianuro (Homma, 1996).

c. Parasitismo

Como estrategia para el control biológico, el micoparasitismo es atractivo en principio, ya que implica la destrucción directa y dirigida del patógeno por parte del agente de control biológico. Si las condiciones ambientales no son propicias o si existen hospedantes alternativos, es poco probable que el micoparasitismo suprima al patógeno lo suficiente (Homma, 1996, Infante et al., 2009).

2.4 Formulación de hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

Ho: No existe efecto de los tres niveles de concentración del agente biológico *Trichoderma harzianum*(Tricho-D) en el control de *Rhizotocnia solani* en *Solanum tuberosum* variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

Ha: Existe al menos un nivel de concentración del agente biológico *Trichoderma harzianum*(Tricho-D) controla *Rhizotocnia solani* en *Solanum tuberosum* variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

2.4.2 Hipótesis específica

Ho: No existe nivel de concentración del agente biológico Tricho-D con menos severidad e incidencia de costra negra en papa en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

Ha: Existe al menos una existe un nivel de concentración del agente biológico Tricho-D con menos severidad e incidencia de costra negra en papa en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

Ho: No existe efecto de los niveles de concentración de Tricho-D sobre la eficiencia del control de la enfermedad de costra negra en *Solanum tuberosum* variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

Ha: Existe al menos una de los niveles de concentración de Tricho-D sobre la eficiencia del control de la enfermedad de costra negra en *Solanum tuberosum* variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

Ho: No existe efecto de los niveles de concentración de Tricho-D en el rendimiento del cultivo de papa variedad Yungay bajo condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

Ha: Existe al menos un nivel de concentración de Tricho-D influye en el rendimiento del cultivo de papa variedad Yungay bajo condiciones de Chavín de Huantar, Huari.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental, debido al uso del método estadístico, además es comparativo y explicativo porque comprueba las hipótesis planteadas, permitiendo de esta manera cumplir y explicar los objetivos propuestos en la investigación.

3.1.2 Nivel de investigación

En cuanto al nivel de investigación es correlacional ya que consiste en cuantificar el grado de relación entre las diferentes los niveles de concentración de Tricho-D sobre el control de costra negra en papa.

3.1.3 Diseño de la investigación

Se usó el diseño de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. El análisis estadístico para determinar las variables fue con el uso del análisis de Tukey al 5 % de probabilidades. El modelo aditivo general fue:

Resultado de la variable en estudio = Media general + Efecto de tratamientos + Efecto de bloques + Error experimental.

Tabla 3.

Esquema del análisis de varianza

Fuente de variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F.
Repeticiones	3			
Niveles de concentración de Tricho-D	3			
Error	9			
Total	15			

3.1.4 Enfoque de la investigación

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, ya que se usó la prueba de hipótesis inferencial.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población de plantas de papa variedad Yungay se ejecutó en 374 m² de área experimental en Chavín de Huantar.

3.2.2 Muestra

La muestra aleatoria fue de 10 plantas de papa variedad Yungay tomadas por cada tratamiento y de la unidad experimental de 18 m².

3.2.3 Dimensiones del campo experimental

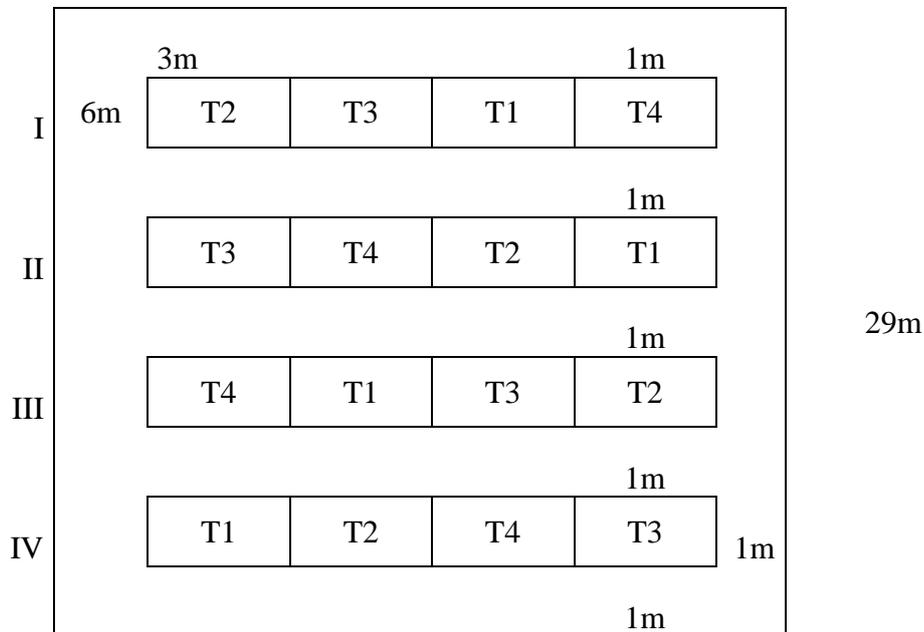


Figura 1.

Croquis del área experimental

Área del experimento

Características del área

- **Área experimental:** 406 m²
- **Ancho campo experimental:** 14 m
- **Longitud campo experimental:** 29 m
- **Nº de bloques:** 4

Características de la unidad experimental

- **Ancho Unidad Experimental:** 3 m
- **Longitud Unidad Experimental:** 6 m
- **Área Unidad Experimental:** 18 m²
- **Distanciamiento entre surco y surco:** 1 m
- **Distanciamiento entre planta:** 0.3 m

3.3 Operacionalización de variables

Se estudiarán los niveles de concentración del agente biológico *Trichoderma harzianum* (Tricho-D) para controlar el desarrollo de la enfermedad del hongo *R. solani*.

Tabla 1.**Operacionalización de variables**

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
-Eficiencia de los niveles de concentración del agente biocontrol Tricho-D en el control de <i>R. solani</i> .	Es la capacidad de los niveles de concentración del Tricho-D en la respuesta de la actividad antagonista sobre <i>R. solani</i> .	X ₁ : Niveles de concentración de Tricho-D	T ₁ : Testigo inoculado T ₂ : 0.2 kg/ha Tricho-D. T ₃ : 0.25 kg/ha de Tricho-D T ₄ : 0.3 kg/ha de Tricho-D
		Y ₁ : Enfermedad de la costra negra en papa.	- Grado de Severidad - Porcentaje de incidencia - Eficiencia de control - Área bajo la curva de progreso de la enfermedad.
-Rendimiento de papa	Es el peso de tubérculos extraídos por planta de papa en cada tratamiento.	Y ₂ :Rendimiento.	- Altura de planta de papa. - Peso fresco del follaje por planta de papa. - Peso seco del follaje por planta de papa. - Rendimiento expresado en (g/planta ⁻¹).

3.3.1 Tratamientos**Tabla 2.****Tratamientos**

N°	Niveles de concentración de Tricho-D	Momento de la aplicación de Tricho-D
T1	Testigo inoculado sin aplicación	Sin aplicación
T2	0.2 kg/ha de Tricho-D	Al trasplante – A los 30 ddt
T3	0.25 kg/ha de Tricho-D	Al trasplante – A los 30 ddt
T4	0.3 kg/ha de Tricho-D	Al trasplante – A los 30 ddt

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**3.4.1 Técnicas que se empleó**

La conducción del experimento se realizó en dos fases, la fase de laboratorio para aislar y obtener el inóculo y la fase de campo para evaluar el desarrollo de la enfermedad.

a. Fase de laboratorio

Aislamiento de *Rhizoctonia solani*

El aislamiento se realizó cumpliendo con la metodología de Ibrahim (2017) el cual indica que el primer paso es obtener muestras con síntomas de la enfermedad de *Rhizoctonia* ya sean los pedazos de planta de papa (tallo, tubérculo, raíz, estolón) que muestran síntomas de la enfermedad de *R. solani*, los cuales se sumergieron en lejía durante 3 min. y luego se empaparon en etanol al 70% durante 1 minuto. Después de enjuagar con agua estéril varias veces, la cáscara del tubérculo de papa infectada se dividió en trozos pequeños, se transfirió a placas de agar papa-dextrosa (PDA) suplementada con rosa bengala y cloranfenicol y se incubó a 28°C durante cuatro días. Las placas se observaron diariamente para el crecimiento micelial. Las puntas hifales que emergen de las piezas de cáscara se transfirieron a placas nuevas de PDA y CYA (agar de extracto de levadura de Czapek). Las cepas aisladas de *R. solani* se almacenaron a 5°C en una inclinación que contenía PDA. Luego las cepas fueron utilizadas para realizar la inoculación a las plantas de papa de variedad Yungay.

• Fase de campo

La fase de campo se realizó usando la metodología de Tarazona (2009).

Inoculación

Una vez trasplantado los tubérculos semilla de papa en el campo experimental, se usó las cepas de *Rhizoctonia solani*, multiplicado en 250 g de trigo precocido en bolsas de polipropileno, dejando incubando durante 7 días tiempo suficiente para que el hongo colonice el trigo de las bolsas. Una vez colonizado se procedió a la inoculación del trigo infectado en cada tratamiento del estudio. La aplicación de los niveles de concentración de Tricho-D, se realizó cuarenta y ocho horas después de la inoculación. Luego se dejó el suelo a condiciones de capacidad de campo por 20 días, esta alta humedad permitió colonizar el hongo en los sustratos inoculados.

Parámetros de evaluación

Grado de severidad de la costra negra provocado por el hongo *Rhizoctonia solani*

El grado de severidad de la costra negra provocada por el hongo *Rhizoctonia solani* se determinó usando la escala de 0 – 4, donde 0 = sin síntoma de lesión, 1 = menor a 25% del tallo cubierto de la lesión, 2 = 26 - 50% del tallo cubierto de la lesión, 3 = 51 - 75% del tallo cubierto de la lesión, 4 = mayor a 75% del tallo cubierto de la lesión (Beagle y Papavizas, 1985).

Porcentaje de incidencia (%)

La evaluación de la incidencia de la enfermedad de la costra negra provocada por el hongo *R. solani*, se realizó contando el número de plantas con los síntomas del tallo cubierto de la lesión sobre el total de plantas, expresado en porcentaje.

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de plantas infectadas}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de plantas}} \times 100$$

Obtención del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE)

Para este parámetro se utiliza el avance de la enfermedad y la incidencia en un solo valor, mediante un intervalo de tiempo (Campbell y Madden, 1990 citado por Chang, 2018).

Altura de planta

En cada unidad experimental se midió desde el cuello de la planta en la superficie del suelo hasta el último brote apical de la planta de papa, usando una wincha graduada de 2m.

Peso fresco del follaje por planta

En cada unidad experimental se cortó las plantas a nivel basal del cuello de la planta y se pesó el follaje con la ayuda de una balanza analítica.

Peso seco del follaje por planta

De cada muestra extraída de peso fresco del follaje por planta se llevó a la estufa por 72 horas y se realizó el peso seco del follaje con la ayuda de una balanza analítica.

Rendimiento por planta

Se extrajo los tubérculos de cada planta muestreada y luego se pesó en una balanza, para luego expresarla en g/planta⁻¹.

3.4.2 Descripción de los instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron fueron fichas de evaluaciones de campo enumeradas en bloque y tratamiento para la recopilación de datos (ANEXO 2).

3.4.2.1 Descripción de los materiales usados en la investigación

- **Materiales de campo e insumos usados en la investigación:**

- Cuaderno de campo
- Insecticidas sintéticos
- Wincha.
- Letreros
- Tricho-D
- Vaso con medida
- Rafia
- Bolsas de polietileno

- **Materiales de gabinete:**

- Calculadora.
- USB.
- Lapto

3.5 Técnicas en el procesamiento de la información

Los parámetros evaluados se analizaron usando el software estadístico SAS (versión 9.3). Para el cálculo de las medias se usó el programa Microsoft Excel.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.9 Grado de severidad de la enfermedad de *Rhizotocnia solani* en papa

En la Tabla 4, se muestran que no hubo diferencias estadísticas significativas para bloques, en cambio para tratamientos hubo alta diferencias significativas ($P < 0.01$) para el grado de severidad de *R. solani*. El C.V. fue de 18.6%.

Tabla 4.

ANVA para el grado de severidad de *Rhizotocnia solani* en papa

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-Cal	P-Valor
Bloque	3	1.25	0.42	2.14	0.1649
Tratamiento	3	32.75	10.92	56.14	<.0001
Error	9	1.75	0.19		
Total	15	35.75			
Coeficiente de variación C.V.(%)		18.6			

NS = No significativo, * = Significativo, ** = Altamente significativo,
C.V. = Coeficiente de variación, ANVA=Análisis de varianza.

Observando el análisis de Tukey al 95% de confianza (Tabla 5), muestra que el testigo inoculado sin aplicación sobresalió estadísticamente a todos los tratamientos presentando el mayor grado de severidad con 3.50, luego le sigue la dosis de 0.2 kg/ha de Tricho-D con 2.25 de severidad, seguido por las dosis de 0.25 y 0.3 kg/ha Tricho-D estadísticamente homogéneos con grados promedios de 1.00 y 0.75 respectivamente.

Tabla 5.**Promedios del grado de severidad de *Rhizotocnia solani* en papa**

Tratamientos	Promedios (Grado)
Testigo sin control	3.50 A
0.2 kg/ha de Tricho-D	2.25 B
0.25 k/ha de Tricho-D	1.00 C
0.3 k/ha de Tricho-D	0.75 C

Promedios con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

4.2 Porcentaje de incidencia de *Rhizotocnia solani* en papa

Para el porcentaje de incidencia de la enfermedad de *Rhizotocnia solani* en papa el análisis de varianza (Tabla 6), muestran que no hubo diferencias estadísticas significativas para bloques, en cambio para tratamientos hubo alta diferencias significativas ($P < 0.01$). El C.V. fue de 23.4%.

Tabla 6.**ANVA para el porcentaje de incidencia de *R. solani***

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-Cal	P- Valor
Bloque	3	118.75	39.58	1.00	0.3565
Tratamiento	3	6468.75	2156.25	54.47	<.0001
Error	9	356.25	39.58		
Total	15	6943.75			
C.V. (%)		23.4			

NS = No significativo, * = Significativo, ** = Altamente significativo,

C.V. = Coeficiente de variación; ANVA=Análisis de varianza.

El análisis de la prueba de Tukey (Tabla 7), se observa que el tratamiento testigo inoculado sin aplicación presentó el mayor porcentaje de incidencia de la enfermedad con 60%, seguido por 0.2 kg/ha de Tricho-D con 25% de incidencia con promedio similar al tratamiento 0.25 kg/ha de Tricho-D con 15%. Por último, el tratamiento 0.3 kg/ha de Tricho-D con 7.5% de incidencia presentó menor incidencia.

Tabla 7.**Promedios para el porcentaje de incidencia de *R. solani***

Tratamientos	Promedios (%)
Testigo sin control	60 A
0.2 kg/ha de Tricho-D	25 B
0.25 k/ha de Tricho-D	15 BC
0.3 k/ha de Tricho-D	7.5 C

Promedios con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

4.3 ABCPE de control de la enfermedad de *Rhizotocnia solani* en papa

En la Tabla 10, se observan los resultados del análisis respectos respecto al área se observa que no hubo diferencias estadísticas significativas para bloques, en cambio para tratamientos hubo alta diferencias significativas ($P < 0.01$). El C.V. fue de 10.74%.

Tabla 10.**ANVA para ABCPE de *R. solani***

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-Cal	P-Valor
Bloque	3	1800.00	600.00	0.19	0.9027
Tratamiento	3	733800.00	244600.00	76.17	<.0001
Error	9	28900.00	3211.11		
Total	15	764500.00			
C.V. (%)		10.74			

NS = No significativo, * = Significativo, ** = Altamente significativo,

C.V. = Coeficiente de variación, ANVA=Análisis de varianza.

En el análisis de la prueba de Tukey (Tabla 11), se observa a testigo sin control con 862.5 de ABCPE, estadísticamente superior a la dosis 0.2 kg/ha de Tricho-D con 547.5 de ABCPE, luego les sigue la dosis 0.25 kg/ha de Tricho-D con 412.5 de ABCPE y por último la dosis 0.3 kg/ha de Tricho-D con 287.5 de ABCPE.

Tabla 11.***Promedios de ABCPE de R. solani***

Tratamientos	Promedio (%-día)
Testigo sin control	862.5 A
0.2 kg/ha de Tricho-D	547.5 B
0.25 k/ha de Tricho-D	412.5 C
0.3 k/ha de Tricho-D	287.5 C

Promedios con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

4.4 Eficiencia de control de la enfermedad de costra negra

En la Tabla 10, se aprecia diferencias estadísticas significativas para los biocontroladores ($P < 0.01$), mientras que en bloques no existen diferencias estadísticas. El CV. fue de 22.4%.

Tabla 10.***ANVA para la eficiencia de control de R. solani***

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-Cal	P-Valor
Bloque	3	937.5	312.5	3.26	0.0735
Tratamiento	4	18225	6075.1	63.39	<.0001
Error	12	862.5	95.8		
Total	19	20025			
C.V. (%)		22.4			

NS = No significativo, * = Significativo, ** = Altamente significativo,

C.V. = Coeficiente de variación.

El análisis de la prueba de Tukey al 5% (Tabla 11), muestra que la dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D sobresalió estadísticamente a todos los tratamientos presentando el mayor porcentaje de eficiencia de control con 82.5% junto a 0.25 kg/ha Tricho-D con 70% de eficiencia, superior estadísticamente a la dosis de 0.2 kg/ha de Tricho-D con 22.5%.

Tabla 11.***Promedios de la eficiencia de control de R. solani***

Tratamientos	Promedios (%)
0.3 kg/ha de Tricho-D	82.5 A
0.25 kg/ha de Tricho-D	70.0 A
0.2 kg/ha de Tricho-D	22.5 B
Testigo sin control	0.0 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

4.5 Altura de la planta de papa

En la Tabla 14, se observa que no hubo diferencias estadísticas para bloques, en cambio para tratamientos hubo alta diferencias estadísticas significativas ($P < 0.01$). El C.V. fue bajo con 6.13%.

Tabla 14.***ANVA para la altura de la planta de papa***

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-Cal	P-Valor
Bloque	3	4.25	1.42	0.06	0.9814
Tratamiento	4	3700.75	1233.58	48.96	<.0001
Error	12	226.75	25.19		
Total	19	3931.75			
C.V. (%)		6.13			

NS = No significativo, * = Significativo, ** = Altamente significativo,

C.V. = Coeficiente de variación.

Según Tukey (Tabla 15), se observa que la dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D superó a todos los tratamientos con el mayor tamaño por planta con 94.5 cm junto a la dosis de 0.25 kg/ha Tricho-D con 94cm, superior a la dosis de 0.2 kg/ha de Tricho-D con 82cm, y por último el testigo inoculado con el tamaño más bajo con 57cm.

Tabla 15.***Promedios para la altura de la planta de papa***

Tratamientos	Promedios (cm)
0.3 kg/ha de Tricho-D	94.5 A
0.25 kg/ha de Tricho-D	94 A
0.2 kg/ha de Tricho-D	82 B
Testigo sin control	57 C

Promedios con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

4.6 Peso fresco del follaje por planta

El análisis de varianza (Tabla 16), muestra el peso fresco de la parte aérea que no hubo diferencias estadísticas para bloques, en cambio para tratamientos hubo alta diferencias estadísticas significativas ($P < 0.01$). para el peso fresco del follaje por planta de papa. El C.V. fue de 6.37%.

Tabla 16.***ANVA para el peso fresco del follaje por planta***

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-Cal	P-Valor
Bloque	3	1327.25	442.42	3.42	0.0663
Tratamiento	3	70361.25	23453.75	181.15	<.0001
Error	9	1165.25	129.47		
Total	15	72853.75			
C.V. (%)		6.37			

NS = No significativo, * = Significativo, ** = Altamente significativo,

C.V. = Coeficiente de variación.

Según Tukey (Tabla 17), el tratamiento con la dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D sobresalió de todos los tratamientos presentando el mayor peso fresco del follaje por planta con 254.5 g planta⁻¹, seguido de la dosis de 0.25 kg/ha Tricho-D con 229.1 g planta⁻¹, luego le sigue la dosis de 0.2 kg/ha de Tricho-D con 141.25 g planta⁻¹, siendo el testigo sin control con peso fresco más bajo con 89.75 g planta⁻¹.

Tabla 17.***Promedios para el peso fresco del follaje por planta***

Tratamientos	Promedios (g planta ⁻¹)
0.3 kg/ha de Tricho-D	254.5 A
0.25 kg/ha de Tricho-D	229.1 B
0.2 kg/ha de Tricho-D	141.25 C
Testigo sin control	89.75 D

Promedios con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

4.7 Peso seco del follaje por planta

En la Tabla 18, se observa que no hubo diferencias estadísticas para bloques, en cambio para tratamientos hubo alta diferencias estadísticas significativas ($P < 0.01$) para el peso seco del follaje por planta de papa. El C.V. fue bajo con 12.4%.

Tabla 18.***ANVA para el peso seco del follaje por planta***

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-Cal	P-Valor
Bloque	3	68.1875	22.72917	0.51	0.6868
Tratamiento	3	14871.688	4957.2292	110.69	<.0001
Error	9	403.0625	44.78472		
Total	15	15342.938			
C.V. (%)		12.4			

NS = No significativo, * = Significativo, ** = Altamente significativo,

C.V. = Coeficiente de variación

En la Tabla 19 se muestra el análisis de Tukey, donde se observa que el tratamiento de 0.3 kg/ha de Tricho-D con mayor peso seco del follaje por planta con 84.3 g planta⁻¹ junto a 0.25 kg/ha de Tricho-D con 79.3 g planta⁻¹ estadísticamente superior al tratamiento (0.2 kg/ha de Tricho-D) con 44.2 g planta⁻¹ y por último el testigo inoculado sin aplicación, quien reportó el peso seco más bajo con 8.5 g planta⁻¹.

Tabla 19.***Promedios para el peso seco del follaje por planta***

Tratamientos	Promedios (g planta-1)
0.3 kg/ha de Tricho-D	84.3 A
0.25 kg/ha de Tricho-D	79.3 A
0.2 kg/ha de Tricho-D	44.2 B
Testigo sin control	8.5 C

Promedios con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

4.8 Rendimiento de la papa

En la Tabla 20, se observa que no hubo diferencias estadísticas para bloques, en cambio para tratamientos hubo alta diferencias estadísticas significativas ($P < 0.01$) para el rendimiento por planta de papa. El C.V. fue bajo con 14.9%.

Tabla 20.***ANVA para el rendimiento de la papa***

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-Cal	P-Valor
Bloque	3	7368.75	2456.25	0.42	0.7459
Tratamiento	4	613068.75	204356.25	34.6	<.0001
Error	12	53156.25	5906.25		
Total	19	673593.75			
C.V. (%)		14.9			

NS = No significativo, * = Significativo, ** = Altamente significativo,

C.V. = Coeficiente de variación, ANVA=Análisis de varianza.

El análisis de la prueba de Tukey al 5% (Tabla 19), muestra que la dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D sobresalió estadísticamente a todos los tratamientos presentando el mayor rendimiento por planta con 757.5 g planta-1 junto a 0.25 kg/ha Tricho-D con 607.5 g planta-1, superior estadísticamente a la dosis de 0.2 kg/ha de Tricho-D con 472 g planta-1, siendo el testigo sin control con rendimiento más bajo con 225 g planta-1.

Tabla 21.*Promedios para el rendimiento de la papa*

Tratamientos	Promedios (g planta-1)
0.3 kg/ha de Tricho-D	757.5 A
0.25 kg/ha de Tricho-D	607.5 AB
0.2 kg/ha de Tricho-D	472.0 B
Testigo sin control	225.0 C

Promedios con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Discusiones

Los resultados muestran que el mayor grado de severidad con 3.50 fue para el testigo sin control, mientras las dosis de 0.25 y 0.3 kg/ha Tricho-D obtuvieron grados de 1.00 y 0.75 de severidad.

Resultados fueron similares a lo reportado por Beagle y Papavizas (1985) quienes evaluando el control biológico de *Rhizoctonia solani* en papa, reporta que el menor grado de severidad fue para *Trichoderma harzianum* (Tm-19conidia) con 1.41 de severidad y el control con fungicida mostro el valor más alto con 2.11 de severidad. Estos resultados indican que a mayor dosis de aplicación de este biocontrolador permite reducir la severidad del hongo fitopatógeno, siendo capaz de reducir tanto que no se detectaría severidad alguna provocada por Rhizoctonia.

En la presente investigación se ha encontrado que el mayor porcentaje de incidencia de la enfermedad fue el testigo sin control con 60%, mientras que la dosis de 0.25 kg/ha de Tricho-D obtuvo 15% de incidencia y la dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D presento el porcentaje más bajo de 7.5% de incidencia. Resultados similares fue observado por Tsrer et al. (2001) los cuales mencionan que la incidencia de la enfermedad se redujo significativamente con *T. harzianum* cuando se aplica en el surco (50 g/m) obteniendo una incidencia de 3%.

De la misma manera fue similar a lo reportado por Beagle y Papavizas (1985) mostrando a *T. harzianum* (Tm-19conidia) con 56% de incidencia, en cambio en el control con fungicida mostro el valor más alto de incidencia con 99%. La capacidad antagónica de este biocontrolador permite que la planta protegerse de la infección de este fitopatógeno.

Los resultados muestran al testigo sin control con 862.5 de ABCPE, en cambio la dosis 0.25 kg/ha de Tricho-D con 412.5 de ABCPE y por último la dosis 0.3 kg/ha de Tricho-D con el más bajo valor de área bajo la curva del progreso de la enfermedad de control de la enfermedad de *Rhizotocnia solani* en papa con 287.5 %-día. Estos resultados demuestran que el controlador biológico cuando se aplica más dosis permite reducir el área bajo la curva del progreso de la enfermedad, debido a su actividad antagónica a la *Rhizotocnia*.

Los resultados indican que la dosis de 0.3 kg/ha de *Trichoderma harzianum* fue el que obtuvo mayor porcentaje de eficiencia de control con 82.5%, junto a la dosis de 0.25 kg/ha Tricho-D con 70% de eficiencia, superior estadísticamente a la dosis de 0.2 kg/ha de Tricho-D con 22.5%. Estos resultados fueron similares a lo observado por Melo y Faull (2000) quienes mencionan que el parasitismo de *Rhizoctonia solani* por cepas de *Trichoderma* spp. *Rhizoctonia solani* causa tiene una eficiencia elevada, debido a que el hongo *Trichoderma* ha demostrado ser particularmente efectivo en el control del patógeno. Además, menciona que todas las cepas probadas inhibieron el crecimiento de *R. solani*. Tres cepas de *Trichoderma* produjeron metabolitos tóxicos con fuerte actividad contra *R. solani*, lo que inhibió el crecimiento del micelio en un 79%. *T. harzianum* redujo la viabilidad de los esclerocios de *R. solani* en un 81.8%. Las observaciones al microscopio electrónico revelaron que todas las cepas de *T. harzianum* crece y se enrosca alrededor de las células huésped, penetrando y destruyendo las hifas de *R. solani*. Asimismo, Brewer y Larkin (2005) en su investigación sobre veintiocho organismos potenciales de control biológico se probaron para determinar la eficacia de *Rhizoctonia solani* en papa en una serie de ensayos en invernaderos. Indican que la eficacia de combinaciones de antagonistas efectivos.

Asimismo, Prasad y Kumar (2013) mediante la microscopía electrónica de barrido de la interacción hifal entre *Trichoderma* spp. y *R. solani* indicó que el agente de biocontrol parasitaba el micelio de *R. solani*. La hifa de *R. solani* fue altamente susceptible al ataque de parásitos hifales por parte de la especie *Trichoderma*. Los estudios sobre la interacción hifal entre *Trichoderma* y *R. solani* indican la penetración del parásito y finalmente resultan en la lisis o colapso las hifas de *R. solani*. Entre las *Trichoderma* spp. El aislamiento de *Trichoderma* mostró más actividad micoparasítica al hacer contacto con las hifas del hospedador.

Los resultados indican que el mayor tamaño por planta con 94.5 cm fue con la dosis 0.3 kg/ha Tricho-D, junto a la dosis de 0.25 kg/ha *T. harzianum* con 94cm, superior a la dosis de 0.2 kg/ha de *T. harzianum* con 82cm, y por último el testigo sin control con el tamaño más bajo con 57cm. Estos resultados permiten señalar que a más dosis de *T. harzianum* se obtiene un mayor crecimiento, esto ocurre cuando se aplican las dosis de 0.25 y 0.3 kg/ha de *T. harzianum*. Resultados similares se reportaron por Rahman et al. (2017) los cuales muestran que el uso del biocontrol más + Azoxystrobin (0.10%) mostró la mayor altura de la planta (58.65 cm), seguido de T6 con 51.6 cm.

Asimismo, Rahul et al. (2016) menciona que, en un estudio del manejo para controlar la costra negra de la papa con el uso de enmiendas orgánicas y el efecto en los parámetros de papa, demostraron que la eficacia de las enmiendas orgánicas (Vermicompost, Neem y estiércol) se evaluó como la aplicación de suelo solo o en combinación con el antagonista (*T. harzianum*). Enmiendas orgánicas junto al antagonista *T. harzianum* promueven el crecimiento de la planta, es decir, el aumento de la longitud del brote, se incrementó el tamaño de las semillas y la formación de tubérculos por planta. Las enmiendas orgánicas en combinación a *T. harzianum* pueden ser muy útiles para reducir la enfermedad de *R. solani* (Rahul et al., 2016).

Al respecto Benítez et al (2004) indica que el control biológico resulta de la competencia por los nutrientes y el espacio o como resultado de la capacidad de *Trichoderma* para producir y/o resistir metabolitos que impiden la germinación de las esporas (fungistasis), matan las células (antibiosis) o modifican la rizosfera, por ejemplo. Al acidificar el suelo, los patógenos no pueden crecer. El control biológico también puede ser el resultado de una interacción directa entre el patógeno en sí mismo, como en el micoparasitismo, que implica el contacto físico y la síntesis de enzimas hidrolíticas, compuestos tóxicos y / o antibióticos que actúan de forma sinérgica con las enzimas. *Trichoderma* pueden incluso ejercer efectos positivos en las plantas con un aumento en el crecimiento de las plantas (biofertilización) y la estimulación de los mecanismos de defensa de las plantas. Además, menciona que *Trichoderma* tiene una capacidad superior para movilizar y absorber los nutrientes del suelo en comparación con otros organismos. El uso eficiente de los nutrientes disponibles se basa en la capacidad de *Trichoderma* para obtener ATP a partir del metabolismo de diferentes azúcares, como los derivados de

polímeros ampliamente diseminados en ambientes fúngicos: celulosa, glucano y quitina, entre otros, todos los cuales producen glucosa. Por lo que *Trichoderma* acidifica su medio, estos ácidos orgánicos liberados son capaces de solubilizar fosfatos, micronutrientes y cationes minerales como el hierro, el manganeso y el magnesio. Por lo tanto, la adición de *Trichoderma* a los suelos donde estos cationes son escasos da como resultado la biofertilización por solubilización de metales y un aumento en la productividad de los cultivos; cuanto más pobre es el suelo, más significativo es el aumento de rendimiento.

Los resultados muestran que el mayor peso fresco del follaje por planta se observó con la dosis de 0.3 kg/ha *Trichoderma harzianum* de con 254.5 g planta⁻¹, seguido de la dosis de 0.25 kg/ha *Trichoderma harzianum* con 229.1 g planta⁻¹, luego le sigue la dosis de 0.2 kg/ha de *Trichoderma harzianum* con 141.25 g planta⁻¹, siendo el testigo sin control con peso fresco más bajo con 89.75 g planta⁻¹. Al respecto, la actividad parasítica antagónica de *T. harzianum* en el hongo fitopatógeno *R. solani*, permitiendo la inhibición y reducción del crecimiento del fitopatógeno, y en consecuencia el tallo y las hojas que forman parte del follaje no muestra síntomas y se muestran sanas por lo que aumenta el peso fresco por planta a comparación cuando tienen las lesiones del fitopatógeno.

Trichoderma harzianum son agentes de control biológico potenciales que inhiben a *R. solani* por confrontación directa a través de micoparasitarios o antibiosis o competencia, así como induciendo respuestas de defensa de las plantas. *Trichoderma harzianum* es un agente de control biológico eficiente que se produce comercialmente para prevenir el desarrollo de varios hongos patógenos del suelo. Se han sugerido diferentes mecanismos como responsables de su actividad de control biológico, que incluye la competencia por el espacio y los nutrientes, la secreción de enzimas quitinolíticas, el micoparasitismo y la producción de compuestos inhibidores (Prasad y Kumar, 2013).

La dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D (*Trichoderma harzianum*) presentó mayor peso seco del follaje por planta con 84.3 g planta⁻¹ junto a 0.25 kg/ha de *Trichoderma harzianum* con 79.3 g planta⁻¹ estadísticamente superior a la dosis de 0.2 kg/ha de Tricho-D con 44.2 g planta⁻¹ y por último el testigo sin control quien reportó el peso seco más bajo con 8.5 g planta⁻¹.

Al respecto el controlador *Trichoderma* spp., fueron hongos bien conocidos que se utilizan a menudo para el control biológico de las plagas de los cultivos, los mecanismos incluyen la competencia por el sustrato, antibiosis y/o micoparasitismo. La interacción hifal estudiada mediante microscopía de luz reveló un micoparasitismo destructivo de *R. solani* por *T. harzianum*. El método del micoparásitismo fue el enrollamiento escaso o intenso de *R. solani* seguido de desintegración, desorganización y muerte del micelio de *R. solani* (Ibrahim, 2017). Además, *Trichoderma* tiene la capacidad para movilizar y absorber los nutrientes del suelo en comparación con otros organismos (Benitez et al., 2004). Lo que permite que aumente el peso seco de las plantas de papa.

Asimismo, Beagle y Papavizas (1985) menciona que el uso de *Trichoderma* agregado al suelo en una mezcla pulverizada redujeron significativamente los propagulos de *R. solani*. Finalmente, el investigador menciona que los propagulos de *R. solani* transmitidos por el suelo como los tubérculos pueden reducirse efectivamente por medios biológicos.

Los resultados muestran a la dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D con mayor rendimiento por planta con 757.5 g planta⁻¹ junto a 0.25 kg/ha Tricho-D con 607.5 g planta⁻¹, superior estadísticamente a la dosis de 0.2 kg/ha de Tricho-D con 472 g planta⁻¹, siendo el testigo sin control con rendimiento más bajo con 225 g planta⁻¹. Estos resultados indican que las dosis más altas de Tricho-D aumenta el peso de los tubérculos por planta, debido a sus características que posee este biocontrolador, como el parasitismo, la movilización de nutrientes en el suelo.

Resultados similares se observaron por Sharma y Ram (2007) quienes en su investigación sobre el manejo de *Rhizoctonia solani* en papa con el uso de biocontroladores mencionan que el rendimiento de tubérculos fue significativamente mayor en la parcela tratada con *T. harzianum* (25,12 t/ha) en comparación con la práctica de los agricultores. Los resultados indican que el control biológico a través de *T. harzianum* sería una de las nuevas opciones para el manejo a largo plazo de la pesca con escalas negras en las condiciones. Cuando la población de *T. harzianum* se establece bien en el suelo, la enfermedad podría controlarse significativamente en los años siguientes.

Asimismo, Tsrer et al. (2001) quienes reportan que los rendimientos más altos se obtuvieron con el tratamiento con *T. harzianum* en surcos en ambos experimentos, en comparación con los rendimientos de las parcelas tratadas con compost de estiércol de

ganado comercial quienes fueron las más bajas. *Trichoderma* tiene una capacidad superior para movilizar y absorber los nutrientes del suelo en comparación con otros organismos (Benitez et al., 2004). Por lo tanto, Abbas et al. (2017) sostiene que la costra negra causado por *R. solani* reducen el rendimiento y la calidad del tubérculo, el investigador demostró que un mejor control de estas enfermedades, lo que sugiere que este enfoque del uso de *Trichoderma* spp puede proporcionar una eficacia mejorada del control biológico. *Trichoderma* spp. desempeñan un papel clave como agentes de control biológico contra enfermedades causadas por *R. solani*. La información sobre los mecanismos de antagonismo, así como la interacción con *R. solani*, ha sido bien documentada. Sin embargo, se necesita más investigación para la comercialización a gran escala de *Trichoderma* spp. contra *R. solani*. Para mejorar la comercialización de estos hongos.

5.2 Conclusiones

Los niveles de Tricho-D tuvieron un efecto antagónico con actividad parasítica del hongo *Rhizotocnia solani* influyendo en el control de costra negra en el cultivo de papa variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar.

La dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D reportó menos severidad con un grado de 0.75 y 7.5 % de incidencia de la enfermedad de *Rhizotocnia solani* en papa variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar.

La dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D tuvo un efecto antagónico sobre el hongo *Rhizotocnia solani* obteniendo una alta eficiencia de control con 82.5% en papa variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar.

Con respecto a la productividad del cultivo de papa la dosis más alta de 0.3 kg/ha de Tricho-D presento tamaño de planta con 94.5cm, peso fresco del follaje por planta (254.4 g planta⁻¹) y peso seco (84.3 y 79.3 g planta⁻¹), además reportó mayor rendimiento por planta con 757.5 g planta⁻¹ de papa variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar.

5.3 Recomendaciones

Se recomienda instalar el experimento con las dosis que reportaron los valores más altos en condiciones de Huari-Ancash y también en otras provincias de la sierra del país.

Se debe potencializar y difundir la investigación para que otros estudiantes o investigadores realicen y así se pueda obtener más información de este controlador biológico.

Impulsar la dosis de 0.3 kg/ha de Tricho-D para el control de *Rizoctonia solani* en papa.

Potencializar el uso de Tricho-D para el control de fitopatógenos en otros cultivos.

Potencializar el uso de Tricho-D como biofertilizante en cultivos.

CAPÍTULO VI: LISTA DE REFERENCIAS

- Abbas A, Jiang D, Fu, Y. (2017). *Trichoderma* Spp. as Antagonist of *Rhizoctonia solani*. J Plant Pathol Microbiol 8: 402.
- Ait-Lahsen, H., Soler, A., Rey, M., Monte, E., Llobell, A. (2001). An antifungal exo-alpha-1,3-glucanase (AGN13.1) from the biocontrol fungus *Trichoderma harzianum*. Appl Environ Microbiol. 67(12):5833-9.
- Almeida, F., Cerqueira, F., Silva, N., Ulhoa, J. and Lima, L. (2007). Mycoparasitism studies of *Trichoderma harzianum* strains against *Rhizoctonia solani*: evaluation of coiling and hydrolytic enzyme production. Biotechnol Lett. 29(8):1189-93.
- Banville, G., Carling, D. and Otrysko, C. 1996. *Rhizoctonia* Disease on Potato. *Rhizoctonia* Species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control pp 321-330.
- Benitez, T., Rincón, A., Limón, M. and Codón, A. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. International Microbiology, 7:249-260.
- Bienkowski, D. (2012). Biological control of *Rhizoctonia* diseases of potato. Thesis of Doctor of Philosophy. Lincoln University. Christchurch-New Zealand. 200p.
- Brewer, M. and Larkin, R. (2005). Efficacy of several potential biocontrol organisms against *Rhizoctonia solani* on potatoes. Crop Protection 24:939–950
- Chang, A. 2018. Incorporación de biomasa de *Lemna minor* y su efecto en la incidencia de *Rhizoctonia solani* en frijol común. Tesis Pre grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima –Perú. 80p.
- Ezziyyani, M., Pérez, C., Ahmed, A., Requena, M. y Candela, M. (2004). *Trichoderma harzianum* como biofungicida para el biocontrol de *Phytophthora capsici* en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.). Anales de Biología 26: 35-45
- Eilenberg, J., Hajek, A., and Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. BioControl, 46(4), 387-400.
- FAO, (2008). La planta de papa. Consultado el 12 de abril de 2019 disponible en: <http://www.fao.org/potato-2008/en/potato/index.html>

- Homma, Y. (1996). Antibiotics and siderophore producing bacteria. In B. Sneh, S. JabajiHare, S. Neate & G. Dijst (Eds.), *Rhizoctonia* Species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control (pp. 445-453). Dordrecht: Kulwer Academic Publishers.
- Ibrahim, M. (2017). In vitro Antagonistic Activity of *Trichoderma harzianum* against *Rhizoctonia solani* The Causative Agent of Potato Black Scurf and Stem Canker. The 7th Inter. Conf.” Plant & Microbial Biotech. & their Role in the Development of the Society” pp.173 -185.
- Infante, D., Martínez, B., González, N. y Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. Rev. Protección Veg. 24(1): 14-21
- Melo, I y Faull, J. 2000. Parasitismo de *Rhizoctonia solani* por cepas de *Trichoderma* spp. Scientia Agricola, Piracicaba, 57(1):55-59.
- MINAGRI, (2015). Requerimientos agroclimáticos del cultivo de papa. Consultado el 09 de marzo del 2019, disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/ficha01-papa.pdf>
- Monteiro, V.N., Silva, N.R., Steindorff, AS., Costa, F.T., Noronha, E.F., Ricart, C.A., De Sousa, M., Vainstein, M.H. and Ulhoa, C.J. (2010). New insights in *Trichoderma harzianum* antagonism of fungal plant pathogens by secreted protein analysis. Curr Microbiol. 61(4):298-305.
- Mota, T., Oshiquiri, L., Lopes, E., Barbosa, J., Ulhoa, G. and Castro, R. (2019). Hsp genes are differentially expressed during *Trichoderma asperellum* self-recognition, mycoparasitism and thermal stress. Microbiological Research 227: 126296.
- Parsons, D. (2015). Papas. Manuales para Educación Agropecuaria. SEP. 3a Edición. Editorial Trillas. México. 62p.
- Pavone, D. (2012). Biocontrol de *Rhizoctonia solani* Kühn por *Trichoderma* spp. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela. Venezuela. 199p.
- Prasad, B. and Kumar, M. (2013). Scanning Electron Microscopic Studies on Mycoparasitic Activity of *Trichoderma* spp. against *Rhizoctonia solani*, Incitant of Sheath Blight of Rice. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 4(3): 88-96.

- Rahman, M., Ali, A., Kumar, T., Islam, M. and Naher, L. (2017). Integrated Management of Stem Canker and Black Scurf of Potato. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 40 (4): 653 – 666.
- Rahul, S., Khilari, K., Jain, S., Dohrey, RK. And Dwivedi, A. (2016). Management of black scurf of potato caused by *rhizoctonia solani* with organic amendments and their effect on different parameter of potato crop. *Journal of Pure And Applied Microbiology*, 10(3): 2433-2438.
- Rauf, C., Naz, F., Ahmad, I., Ul Haque, I. and Riaz, A. (2015). Management of black scurf of potato with effective microbes (EM), biological potassium fertilizer (BPF) and *Trichoderma harzianum*. *Int. J. Agric. Biol.*, 17: 601–606.
- Sharma, P. and Ram, B. (2007). Participatory Black Scurf Disease Management on Potato in Nepal. *Nepal Agric. Res. J.* 8: 56-62
- Tarazona, L. (2009). Control biológico y químico de *Sclerotinia sclerotiorum* (lib.) de Bary en alcachofa (*Cynara scolymus* L.). Universidad Nacional Agraria La Molina. Tesis. Lima. Perú. 96p.
- Tovar, J. (2008). Evaluación de la capacidad antagonista “in vivo” de aislamiento de *Trichoderma* spp frente al hongo fitopatógeno *Rhizoctonia solani*. Tesis pre grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogota- Colombia. 81p.
- Tsrer, L. 2010. Biology, Epidemiology and Management of *Rhizoctonia solani* on Potato. *Journal of Phytopathology*, 158(10): 649-658.
- Van den Brink, L. and Wustman, R. (2014). *Rhizoctonia solani* in potatoes and its control. *Praktijkonderzoek Plant & Ongeving- Wageningen UR.* 27p.
- Wilson, P. S., Ketola, E. O., Ahvenniemi, P. M., Lehtonen, M. J. and Valkonen, J. (2008). Dynamics of soilborne *Rhizoctonia solani* in the presence of *Trichoderma harzianum*: effects on stem canker, black scurf and progeny tubers of potato. *Plant Pathology* (2008) 57, 152–161.
- Zuñiga, S., Morales, C., y Estrada, M. M. (2017). Cultivo de la papa y sus condiciones climáticas. *Gestión Ingenio Y Sociedad*, 2 (2), 140-152. 2017.

ANEXO

ANEXO 1. Matriz de consistencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MÉTODO
<p>¿Cuál es el efecto de los niveles de concentración de <i>Trichoderma harzianum</i> (Tricho-D) sobre el control de costra negra provocado por el hongo <i>Rhizotocnia solani</i> en <i>Solanum tuberosum</i> “papa” variedad Yungay bajo condiciones de Huari-Ancash?</p> <p>¿Cuál de los niveles de concentración de Tricho-D tendrá menos grado de severidad e incidencia de la enfermedad de costra negra en papa variedad Yungay, en condiciones de Chavín de Huantar, Huari?</p> <p>¿Cuál de los niveles de concentración de Tricho-D tendrá mayor eficiencia de control de la enfermedad de costra negra en <i>Solanum tuberosum</i> en condiciones de Chavín de Huantar, Huari?</p> <p>¿Cuál es el efecto de los niveles de concentración de Tricho-D sobre el rendimiento del cultivo de la papa variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari?</p>	<p>Evaluar el efecto de tres niveles de concentración del agente biológico <i>Trichoderma harzianum</i> (Tricho-D) en el control de <i>Rhizotocnia solani</i> en <i>Solanum tuberosum</i> “papa” variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p> <p>Evaluar los niveles de concentración del agente biológico Tricho-D con menos severidad e incidencia de <i>Rhizotocnia solani</i> en papa en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p> <p>Evaluar el efecto de los niveles de concentración de Tricho-D sobre la eficiencia del control de la enfermedad de <i>Rhizotocnia solani</i> en <i>Solanum tuberosum</i> variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p> <p>Evaluar el efecto de los niveles de concentración de Tricho-D sobre el rendimiento del cultivo de papa variedad Yungay bajo condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p>	<p>Ho: No existe efecto de los tres niveles de concentración del agente biológico <i>Trichoderma harzianum</i>(Tricho-D) en el control de <i>Rhizotocnia solani</i> en <i>Solanum tuberosum</i> variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p> <p>Ha: Existe al menos un nivel de concentración del agente biológico <i>Trichoderma harzianum</i>(Tricho-D) controla <i>Rhizotocnia solani</i> en <i>Solanum tuberosum</i> variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p> <p>Ho: No existe nivel de concentración del agente biológico Tricho-D con menos severidad e incidencia de costra negra en papa en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p> <p>Ha: Existe al menos una existe un nivel de concentración del agente biológico Tricho-D con menos severidad e incidencia de costra negra en papa en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p> <p>Ho: No existe efecto de los niveles de concentración de Tricho-D sobre la eficiencia del control de la enfermedad de costra negra en <i>Solanum tuberosum</i> variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p> <p>Ha: Existe al menos una de los niveles de concentración de Tricho-D sobre la eficiencia del control de la enfermedad de costra negra en <i>Solanum tuberosum</i> variedad Yungay en condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p> <p>Ho: No existe efecto de los niveles de concentración de Tricho-D en el rendimiento del cultivo de papa variedad Yungay bajo condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p> <p>Ha: Existe al menos un nivel de concentración de Tricho-D influye en el rendimiento del cultivo de papa variedad Yungay bajo condiciones de Chavín de Huantar, Huari.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE (X):</p> <p>Dosis de Tricho-D</p> <p>T₁: Testigo sin control T₂: 0.2 kg/ha de Tricho-D T₃: 0.25 kg/ha de Tricho-D T₄: 0.3 kg/ha de Tricho-D</p> <p>VARIABLES DEPENDIENTES (Y):</p> <p>Y₁: Desarrollo de la enfermedad de la costra negra en papa.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grado de Severidad - Porcentaje de incidencia - Eficiencia de control - Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE). - Altura de planta. - Peso fresco del follaje por planta. - Peso seco del follaje por planta. - Rendimiento expresado en (g/planta⁻¹). 	<p>La investigación es de tipo experimental, debido al uso del método estadístico, además es comparativo y explicativo porque comprueba las hipótesis planteadas, permitiendo de esta manera cumplir y explicar los objetivos propuestos en la investigación.</p>

ANEXO 2: Grado de severidad de la enfermedad de *Rhizotocnia solani* en papa

Tratamientos	Bloques				Total	promedio
	I	II	III	IV		
Testigo inoculado sin aplicación	3	3	4	4	14	3.50
0.2 kg/ha de Tricho-D	3	2	2	2	9	2.25
0.25 kg/ha de Tricho-D	2	1	1	1	5	1.25
0.3 kg/ha de Tricho-D	1	1	0	1	3	0.75
TOTAL	9	7	7	8	31	1.94

ANEXO 3: Porcentaje de incidencia de la enfermedad de *Rhizotocnia solani* en papa

Tratamientos	Bloques				Total	promedio
	I	II	III	IV		
Testigo inoculado sin aplicación	50	70	60	60	240	60.00
0.2 kg/ha de Tricho-D	20	20	30	30	100	25.00
0.25 kg/ha de Tricho-D	10	10	20	20	60	15.00
0.3 kg/ha de Tricho-D	10	10	10	0	30	7.50
TOTAL	90	110	120	110	430	26.88

ANEXO 4: Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de control de la enfermedad de *Rhizotocnia solani* en papa

Tratamientos	Bloques				Total	promedio
	I	II	III	IV		
Testigo inoculado sin aplicación	900	850	800	900	3450	862.50
0.2 kg/ha de Tricho-D	550	600	500	540	2190	547.50
0.25 kg/ha de Tricho-D	350	400	500	400	1650	412.50
0.3 kg/ha de Tricho-D	250	300	350	250	1150	287.50
TOTAL	2050	2150	2150	2090	8440	527.50

ANEXO 5: Eficiencia de control de *Rhizotocnia solani* en papa

Tratamientos	Bloques				Total	promedio
	I	II	III	IV		
Testigo inoculado sin aplicación	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
0.2 kg/ha de Tricho-D	0.00	33.33	50.00	50.00	133.3	33.33
0.25 kg/ha de Tricho-D	33.33	66.67	75.00	75.00	250	62.50
0.3 kg/ha de Tricho-D	66.67	66.67	100.00	75.00	308.33	77.08
TOTAL	100	166.67	225	200	691.67	43.23

ANEXO 6: Altura de planta

Tratamientos	Bloques				Total	promedio
	I	II	III	IV		
Testigo inoculado sin aplicación	57	51	56	64	228	57.00
0.2 kg/ha de Tricho-D	79	88	85	76	328	82.00
0.25 kg/ha de Tricho-D	93	91	94	98	376	94.00
0.3 kg/ha de Tricho-D	98	96	91	93	378	94.50
TOTAL	327	326	326	331	1310	81.88

ANEXO 7: Peso fresco del follaje por planta de papa

Tratamientos	Bloques				Total	promedio
	I	II	III	IV		
Testigo inoculado sin aplicación	87.00	92.00	102.00	78.00	359	89.75
0.2 kg/ha de Tricho-D	120.00	165.00	141.00	139.00	565	141.25
0.25 kg/ha de Tricho-D	230.00	240.00	221.00	225.00	916	229.00
0.3 kg/ha de Tricho-D	250.00	267.00	270.00	231.00	1018	254.50
TOTAL	687	764	734	673	2858	178.63

ANEXO 8: Peso seco del follaje por planta de papa

Tratamientos	Bloques				Total	promedio
	I	II	III	IV		
Testigo inoculado sin aplicación	8.00	6.00	11.00	9.00	34	8.50
0.2 kg/ha de Tricho-D	45.00	41.00	37.00	54.00	177	44.25
0.25 kg/ha de Tricho-D	72.00	90.00	82.00	73.00	317	79.25
0.3 kg/ha de Tricho-D	84.00	91.00	78.00	84.00	337	84.25
TOTAL	209	228	208	220	865	54.06

ANEXO 9: Rendimiento de la papa

Tratamientos	Bloques				Total	promedio
	I	II	III	IV		
Testigo inoculado sin aplicación	210.00	330.00	270.00	90.00	900.000 9	225.00
0.2 kg/ha de Tricho-D	390.00	510.00	450.00	540.00	1890.00 19	472.50
0.25 kg/ha de Tricho-D	600.00	540.00	660.00	630.00	2430.00 24	607.50
0.3 kg/ha de Tricho-D	750.00	690.00	810.00	780.00	3030.00 3	757.50
TOTAL	1950.0 02	2070.00 21	2190.00 22	2040.0 02	8250.00 83	515.63



Figura 1. Semilla de papa yungal



Figura 2. preparacion de terreno



Figura 3. Instalación de papa



Figura 4. Aporque de papa



Figura 5. Evaluación de *R. solani*



Figura 6. Evaluaciones en campo – Control de *Trichoderma*

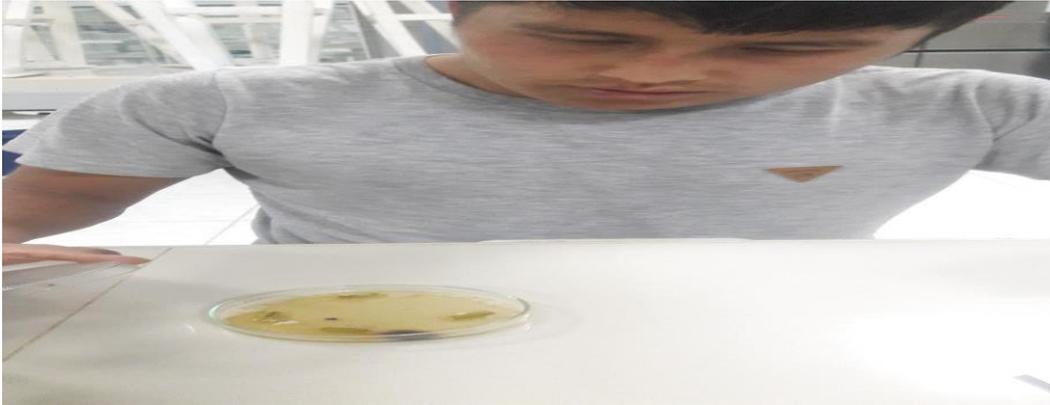


Figura 7. Fase de laboratorio – Hongo de la *Rhizotocnia solani* desarrollándose en el medio de cultivo Papa Dextrosa Agar y aplicación de la *Trichoderma harzianum*



Figura 8. Aplicación de la *Trichoderma harzianum* en *Rhizotocnia solani* desarrollado.



Figura 9. Aplicación de la *Trichoderma harzianum* en *Rhizotocnia solani* en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar.