

ROTACIÓN CON ABONOS VERDES SOBRE COSTRA NEGRA DE LA PAPA
(*Rhizoctonia solani* Kühn)

MARIA ALEJANDRA CABRERA PORTILLA
ANA CAMILA HERNANDEZ ORTIZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO
2022

ROTACIÓN CON ABONOS VERDES SOBRE LA INCIDENCIA DE LA COSTRA
NEGRA DE LA PAPA (*Rhizoctonia solani* Kühn)

MARIA ALEJANDRA CABRERA PORTILLA
ANA CAMILA HERNANDEZ ORTIZ

Director

PhD. CARLOS BETANCOURTH GARCÍA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título
INGENIERA AGRÓNOMA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO

2022

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1° del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

PhD. Carlos Betancourth García
Firma del Director del trabajo de grado

Mag. Carlos Andrés Benavides Cardona
Firma del jurado

M. Sc. Claudia Milena Quiroz Ojeda
Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios por la vida, y por guiarnos a lo largo de nuestra carrera.

Expresamos nuestro agradecimiento al director, PhD. Carlos Betancourth García, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por la oportunidad de trabajar en conjunto y por su orientación en el desarrollo de esta investigación.

A nuestros Padres, que han sido siempre el motor que impulsa nuestros sueños, a ellos gracias por el apoyo incondicional brindado en cada uno de nuestros propósitos y por ser nuestros mejores guías de vida.

Agradecemos a nuestros docentes de la Universidad de Nariño, en especial a la facultad de Ciencias Agrícolas, programa de Ingeniería Agronómica, por transmitir los conocimientos e inculcar en nosotros el espíritu innovador y de investigación.

A nuestros jurados Claudia Milena Quiroz Ojeda y Carlos Andrés Benavides Cardona por su asesoría, sugerencias y correcciones en el transcurso de nuestro trabajo investigativo.

A Minciencias a través de la convocatoria 818 por el beneficio económico.

A todos, muchas gracias.

DEDICATORIA

Lo más hermoso de alcanzar una meta no es el momento del triunfo, es también mirar atrás, recordar el camino que se ha recorrido y a las personas que siempre han estado conmigo, por eso dedico este logro:

A Dios por ser el guía en cada etapa de mi vida

A mis padres, Omar Hernández y Liliana Ortiz, por el apoyo incondicional, por sus valores y motivación constante,

A mis Hermanos Daniela, Karen y Emanuel, por su cariño y por darme fuerza para continuar

A mi hijo Santiago por ser el motor de mi vida y la motivación más grande para lograr este triunfo

A mis familiares y amigos, por los buenos deseos

ANA CAMILA HERNANDEZ ORTIZ

DEDICATORIA

A Dios quien ha sido mi guía y fortaleza en esta etapa.

Dedico este logro a mis padres Álvaro Cabrera y Dolores Portilla quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, valentía y las ganas para salir adelante.

A mi pareja, familiares, amigos y todas aquellas personas que han hecho parte de mi vida, gracias por el apoyo cuando más lo necesite, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

MARIA ALEJANDRA CABRERA PORTILLA

**ROTACIÓN CON ABONOS VERDES SOBRE COSTRA NEGRA DE LA PAPA
(*Rhizoctonia solani* Kühn)**

**ROTATION WITH GREEN MANURES ON POTATO BLACK CRUST
(*Rhizoctonia solani* Kühn)**

Maria Alejandra Cabrera Portilla ¹, Ana Camila Hernández Ortiz¹

*Artículo de trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

(1) Estudiante de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia (Correo-e: marialecp73@gmail.com; hocami2408@gmail.com)

RESUMEN

El uso de abonos verdes se fundamenta en el aprovechamiento de la energía solar para producir biomasa vegetal de alta calidad nutricional, que posteriormente se adiciona o incorpora al suelo para aumentar el contenido de materia orgánica, afectando positivamente ciertas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Una de las enfermedades que actualmente limita la producción, reduce el rendimiento de los tubérculos y la calidad de la papa en el departamento de Nariño es la costra negra de la papa causada por *Rhizoctonia solani* Kühn que disminuye el rendimiento hasta en un 30%. Para avanzar en el conocimiento del manejo de esta enfermedad, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la incorporación de abonos verdes de las especies *Avena sativa* L. (avena), *Hordeum vulgare* L. (cebada), *Sinapsis alba* L. (mostaza) y *Rhaphanus raphanistrum* L. (nabo forrajero) y un testigo (sin control). Para manejar la incidencia de la costra negra de la papa (*Rhizoctonia solani* Kühn) en la variedad Diacol Capiro. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, en un área experimental de 494 m². Adicionalmente se evaluó componentes de rendimiento y se realizó un análisis económico. La incidencia de *R. solani* se determinó mediante observación de síntomas asociados a emergencia tardía y enrollamiento foliar en las etapas de emergencia y tuberización, se cuantificó el peso promedio de tubérculos grandes y medianos y el rendimiento comercial. Se observó que todos los tratamientos tenían un efecto beneficioso en la reducción de la

incidencia en comparación al testigo. Resaltando que la utilización de la cebada T2 (*Hordeum vulgare L.*) obtuvo un incremento en el crecimiento de las plántulas de papa, logrando menores promedios frente a la incidencia del hongo y de esta manera mejores rendimientos del cultivo.

ABSTRACT

The use of green manures is based on the use of solar energy to produce plant biomass of high nutritional quality, which is later added or incorporated into the soil to increase the content of organic matter, positively affecting certain physical, chemical and biological properties of the soil. . One of the diseases that currently limits production, reduces tuber yield and potato quality in the department of Nariño is potato black scab caused by *Rhizoctonia solani* Kühn, which decreases yield by up to 30%. To advance in the knowledge of the management of this disease, this research aimed to evaluate the effect of the incorporation of green manures of the species *Avena sativa L.* (oats), *Hordeum vulgare L.* (barley), *Sinapsis alba L.* (mustard) and *Rhaphanus raphanistrum L.* (forage turnip) and a control (without control). To manage the incidence of potato black scab (*Rhizoctonia solani* Kühn) in the Diacol Capiro variety. A randomized complete block design with five treatments and four replications was used, in an experimental area of 494 m². Additionally, yield components were evaluated and an economic analysis was carried out. The incidence of *R. solani* was determined by observing symptoms associated with late emergence and leaf curl in the stages of emergence and tuberization, the average weight of large and medium tubers and commercial yield were quantified. It was observed that all treatments had a beneficial effect in reducing the incidence compared to the control. Highlighting that the use of T2 barley (*Hordeum vulgare L.*) obtained an increase in the growth of potato seedlings, achieving lower averages against the incidence of the fungus and thus better crop yields.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	13
MATERIALES Y MÉTODOS	15
Localización	15
Establecimiento e incorporación de los Abonos Verdes	15
Establecimiento del cultivo de papa	16
Variables a evaluar:	16
Incidencia	16
Componentes de rendimiento	17
Análisis económico	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFÍA	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del diámetro del tubérculo

Tabla 2. Análisis de varianza afectación temprana y enrollamiento foliar a causa de la costra negra (*Rhizoctonia solani*).

Tabla 3: Comparación de porcentajes de incidencia de *Rhizoctonia solani* en las etapas de emergencia y tuberización en papa Diacol Capiro, después del establecimiento de abonos verdes

Tabla 4. Análisis de varianza de clasificación de los tubérculos de acuerdo al número de tubérculos por planta.

Tabla 5. Análisis de varianza de clasificación de los tubérculos de acuerdo al peso de los tubérculos por planta.

Tabla 6. Comparación de los tratamientos respecto al porcentaje número de tubérculos grandes y medianos por planta y peso de tubérculos medianos

Tabla 7. Análisis de Varianza Rendimiento Comercial

Tabla 8. Comparación de los tratamientos respecto al rendimiento comercial

Tabla 9. Evaluación Financiera

LISTA DE IMÁGENES

Figura 1. Ataques tempranos de *Rhizoctonia solani* en estolones y brotes causando planas con volúmenes reducidos

Figura 2. Síntomas de enrollamiento de las ramas y presencia de tubérculos aéreos causados por *Rhizoctonia solani*.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la papa ocupa el tercer lugar en importancia como producto alimenticio (FAO, 2019). La producción de papa en Colombia aporta el 3,3% en el PIB agropecuario, y se concentra en cuatro departamentos Cundinamarca 37%, Boyacá 27%, Nariño 20% y Antioquia 6%. Nariño ocupa el tercer lugar en producción en el país con un área actual cercana a las 24.200 hectáreas sembradas, de las cuales se obtuvo una producción de 541.412 toneladas. Destacándose la siembra de variedades como: Criolla, Diacol Capiro, Ica-Única, Parda Pastusa, Pastusa Suprema y Superior (FEDEPAPA, 2020b).

Los problemas fitosanitarios representan gran relevancia, siendo las principales limitantes de producción, destacándose la presencia de enfermedades transmitidas por suelo, como la gota o tizón tardío (*Phytophthora infestans*), el tizón temprano (*Alternaria solani*) y la rizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*) (Alvarez, 2015). La costra negra causada por el hongo *Rhizoctonia solani*, da lugar a pérdidas considerables, reduciendo la calidad y el rendimiento total hasta en un 31.5% (Carling *et al.*, 1989); se encuentra tanto superficialmente como en estratos profundos del suelo logrando ocasionar lesiones importantes en las raíces, el tallo y tubérculos de papa. A partir de esas costras, el hongo afecta los brotes del tubérculo, causando manchas y costras de color café oscuro. En plantas adultas se forma un cancro que debilita la parte aérea, que presenta síntomas de amarillamiento, enroscamiento de hojas y tubérculos aéreos (Méndez *et al.*, 2004).

Actualmente no es posible lograr el control completo de la enfermedad, pero mediante la combinación de distintas herramientas de manejo, se puede atenuar su intensidad. A pesar de que las medidas de mayor importancia son las culturales, el control químico también forma parte del manejo integrado (Herbario Virtual, 2022). De este modo el control de la enfermedad debe ser integrado, o sea se debe utilizar un sistema que considere todas las alternativas posibles para controlarla, ya que una sola medida no es suficiente para obtener un buen resultado. Además, se debe tratar de buscar opciones de bajo costo y compatibles con el medio ambiente (Acuña *et al.*, 2004).

La incorporación de especies vegetales útiles como abonos verdes, se puede constituir en una medida útil, creando un ambiente propicio para el establecimiento, multiplicación y colonización de especies microbiales de carácter heterótrofo, que, como resultado de su actividad metabólica, continuamente dan lugar a formas variables de antagonismo, deprimiendo poblaciones de microorganismos patógenos y por lo tanto disminuye las oportunidades de efectos patogénicos (Betancourth *et al.*, 2021). Se destaca que las crucíferas han sido muy estudiadas por su papel en el control de patógenos, Así, por ejemplo, se conoce que su descomposición en el suelo, tras la incorporación, da lugar a isotiocianatos, que ejercen su acción contra hongos fitopatógenos (Guzmán, G. *et al* 2008). Dicha práctica, evidentemente trae beneficios sobre la fertilidad natural de los suelos principalmente con un mejoramiento de las condiciones físicas, con la contribución de una microbiota heterótrofa con distintas funciones, conllevando a la formación de agregados que benefician la estructuración. También hay incremento de poblaciones que cumplen distintos procesos de antagonismo sobre hongos fitopatógenos habitantes naturales en el suelo, entre los cuales está *Rhizoctonia solani* (Larkin y Griffin, 2007; Ascencion *et al.*, 2015).

Los abonos verdes en algunas regiones se usan como especies de gramíneas y crucíferas con potencial alelopático, alta capacidad adaptativa al medio y extracción de nutrientes. Con el mejoramiento de la MOS, se favorecen otras propiedades físicas, químicas y biológicas de suelo (Sánchez de Prager *et al.*, 2012), que soportan su sustentabilidad. Entre los efectos más representativos del uso de AV después de su incorporación en el suelo, se encuentran: Aporte de biomasa precursora de MOS, mejoramiento de la estructura, manutención y disponibilidad de nutrientes solubles, incremento de la actividad microbiana, mejora la retención de humedad, entre otras. (De la Cruz, C. 2015).

De este modo, la investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de los abonos verdes en cuanto a la incidencia de *Rhizoctonia solani* y en el rendimiento de la papa variedad Diacol Capiro. Para ello, se evaluaron las especies avena (*Avena sativa L.*), cebada (*Hordeum vulgare L.*), mostaza (*Sinapsis alba L.*) y nabo forrajero (*Rhaphanus*

rhapbanistrum L.) frente a la incidencia del patógeno *R. solani* y el efecto sobre los rendimientos del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente estudio se realizó entre octubre de 2019 y Julio de 2020 en el departamento de Nariño, ubicado al sur de Colombia, con coordenadas N 1°14'21.6"/ W 77° 19'06,2" en la vereda Mapachico centro, Municipio de Pasto, a una altitud de 2732 m.s.n.m (Google earth.com) y con una temperatura promedio de 14° C.

Establecimiento e incorporación de los Abonos Verdes

En campo, se seleccionó un lote con un área de 24 x 19 m, se trazaron cuatro bloques de 24 m de largo y 4 m de ancho, con separación entre ellos de un metro. Donde se estableció un diseño experimental en distribución de bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos corresponden a la incorporación de cuatro abonos verdes y un testigo. Las semillas de abonos verdes utilizadas para la realización del experimento fueron Avena, Cebada, Nabo forrajero, mostaza, en donde se utilizó 50 kilos por hectárea para las crucíferas y 70 kilos por hectárea para las gramíneas. Luego de la siembra de las semillas se realizó una fertilización al voleo con 13-26-6 considerando una cantidad de 200 kilos por hectárea, tras realizado esto se hizo un tapado manual con rastrillo. Después de un mes se realizó una deshierba, más la aspersión del insecticida del Dimetoato 1.5 ml por Litro de agua para el control de insectos chupadores.

En la etapa de espigamiento y antes de la floración total de las gramíneas, como de floración total de las crucíferas se hizo el corte y picado de la biomasa aérea de los abonos verdes, con ayuda de una guadaña, determinando la cantidad de tejidos picados por metro cuadrado en un sitio representativo, después de cinco días, en cada parcela se realizó la incorporación de la biomasa mediante un picado uniforme con la ayuda de un azadón, procurando

profundizar los tejidos a 20 cm de la superficie del suelo y ser dejado por un período de cuarenta días para permitir su descomposición. (Prager *et al.*, 2008).

Establecimiento del cultivo de papa

Pasados los cuarenta días en los lotes beneficiados con los abonos verdes, se realizó la delimitación del área, con la misma distribución experimental en el diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Luego fueron sembrados con semilla de la variedad diacol capiro, que se sembró a una distancia de 1 m entre surcos y aproximadamente 0,40 m entre plantas. Se sembraron 44 semillas (11 por surco) por cada parcela. Luego se hizo la fertilización con 13-26-6 en cantidad de 300 kilogramos por hectárea. Una vez emergió la papa y previo a la primera deshierba se abonó con 15-15-15 con 300 kg por hectárea, para luego realizar el picado de las calles y el primer aporque. Después de un mes se cumplió con la labor de deshierbe manual y un nuevo aporque (SIPSA, 2013).

Se realizaron labores de deshierbe y aporque, nutrición foliar, control de gota, como de gusano blanco y polilla guatemalteca. De este modo después de la emergencia total, se realizó un control químico para el control de Gota (*Phytophthora infestans*) y utilizando una rotación con Fosetil aluminio 3.0 g/L de agua, Propamocarb 2 cc/L de agua y Dimetomorf 2.0 g/L de agua, estas aplicaciones se hicieron cada 15 días dependiendo las condiciones ambientales, teniendo en cuenta principalmente la humedad y temperatura . Para el control de plagas se empleó Tiametoxam + Lambdacialotrina 1.0 cc/L de agua, en rotación con Dimetoato 1.5 cc por litro, Thiocyclam Hidrogenoxalato 1.5 cc/L de agua y Metomil 20 cc/L de agua (Ruiz *et al.*,2021).

Variables a evaluar:

Incidencia

Se realizó la evaluación del ataque de *Rhizoctonia solani* en la etapa de emergencia total y al inicio de la tuberización evaluando:

- **Afectación temprana:** se realizó la evaluación de sitios de afectación en la emergencia y reducción de tallos por planta, además de chancros basales.
- **Enrollamiento:** para la etapa de tuberización se determinó el número de plantas con enrollamiento foliar, coincidiendo con ataques en estolones y el sistema radical.

Componentes de rendimiento

Al momento de la cosecha se colectaron los tubérculos de las plantas de los surcos centrales de cada parcela, teniendo en cuenta la cantidad y el peso de tubérculos por cada planta, los tubérculos fueron clasificados de acuerdo a la categoría de tamaño en grande (65-90 mm) mediano (45-64 mm) y pequeño (30-44 mm) según la norma NTC 341 descrita por Buitrago *et al.*, 2003.

Tabla 1. Clasificación del diámetro del tubérculo

Clasificación "Norma NTC 341"	
Denominación	Diámetro (mm)
Muy Grande	> 90
Grande	65 - 90
Mediana	45 - 64
Pequeña	30 - 44

(Buitrago, *et al.*, 2003)

Seguidamente se realizó la categorización de la siguiente manera:

- **Número de tubérculos por planta:** realizada la cosecha se hizo el conteo por sitio de tubérculos grandes, medianos y pequeños, para así determinar el número de tubérculos cosechados por planta y calcular el número promedio por repetición de cada tratamiento.

- **Peso de tubérculos por planta:** Cada categoría se pesó para obtener el rendimiento de tubérculos por planta en relación con el sitio de cosecha y se dedujo el promedio por repetición de cada tratamiento.
- **Rendimiento comercial:** El rendimiento comercial de papa por hectárea en toneladas se obtuvo mediante la suma del peso promedio de los tubérculos grandes más el peso promedio de los tubérculos medianos y el número de plantas por hectárea con base en una densidad de siembra de 0,40 x 1.

(Sánchez *et al.*, 2015)

Análisis económico

Para determinar la factibilidad de aplicar los cuatro abonos verdes, además de la rentabilidad y menor costo de inversión de estos con respecto a un tratamiento testigo, se analizó el costo de producción por hectárea basándose en el análisis realizado por Perrin (Perrin, R. *et al* 1983)

Para el presupuesto parcial se tuvo en cuenta:

- Los costos variables y fijos de los abonos verdes y del cultivo de papa.
- El rendimiento obtenido en cada tratamiento en kilogramos/hectárea.
- Los ingresos totales, correspondientes al rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) multiplicado por el precio histórico del año 2019 (Fedepapa, 2019), debido a que el año 2020 es considerado atípico a los precios.
- Costo de la producción obtenida de la suma de los costos unitarios
- Cálculo del costo de producción esperada de cada tratamiento en kilogramos, con ello se determinan los costos fijos y variables por unidad.
- Determinar el punto de equilibrio dividiendo el costo variable sobre el precio de venta (pesos) menos el costo de valor unitario (pesos).

Con los datos obtenidos en las variables evaluadas, se realizó un análisis de varianza con el modelo matemático Bloques Completos al Azar (BCA). Se analizaron estadísticamente con una prueba de significancia o separación de medias, para aquellas variables donde se determinó diferencia significativa, se realizó una separación de medias de Tukey para determinar el mejor tratamiento con un alfa de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Incidencia

En el análisis de varianza de la Tabla 2, para la variable de Incidencia de *R. solani* en etapa de emergencia y tuberización se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 2. Análisis de varianza afectación temprana y enrollamiento foliar a causa de la costra negra (*Rhizoctonia solani*).

Fv	G.L	CUADRADOS MEDIOS		F.tabla
		Afectación temprana	Enrollamiento foliar	
TRATAMIENTO	4	34,53*	35,78*	3,259
REPETICIÓN	3	18,46	18,46	3,49
ERROR	12	10,31	0,61	
TOTAL	19			
*Diferencias significativas ^{NS} Diferencias no significativas				

En la tabla 3, de acuerdo a la afectación temprana se determinaron mayores ataques en el tratamiento testigo con 14,20% de afectación promedio y diferencias significativas en comparación a los demás tratamientos, Además, se observa similar comportamiento de los abonos verdes, presentando ataques entre el 6.45 a 8.80% con diferencias significativas respecto al testigo.

Por otra parte, para la variable de incidencia en etapa de tuberización, con respecto a los tratamientos se determinó que el testigo presentó mayor afectación en cuanto al síntoma de enrollamiento foliar con más del 16,58%, valor estadísticamente diferente a los obtenidos con el empleo de abonos verdes. El mayor efecto inhibitorio sobre el patógeno se obtuvo con la cebada, que solo permitió un 8.57% de enrollamiento foliar.

Tabla 3: Comparación de porcentajes de incidencia de *Rhizoctonia solani* en las etapas de emergencia y tuberización en papa Diacol Capiro, después del establecimiento de abonos verdes

Afectación temprana (Incidencia en emergencia)					
Tratamientos	Mostaza	Nabo	Cebada	Avena	Testigo
Medias	6,45 ^A	8,10 ^A	8,43 ^A	8,80 ^A	14,20 ^B
<i>Tukey a 0,05=3,01489 Error: 1,7893 gl: 12</i>					
Enrollamiento Foliar (Incidencia en tuberización)					
Tratamientos	Cebada	Nabo	Avena	Mostaza	Testigo
Medias	8,78 ^A	10,20 ^{AB}	10,55 ^B	11,43 ^B	16,58 ^C
<i>Tukey a 0,05=1,75923 Error: 0,6093 gl: 12</i>					
Las letras iguales indican diferencias no significativas					

Las diferencias entre tratamientos se dan en la incorporación de las especies vegetales utilizadas como abonos verdes y el testigo absoluto de la investigación. Según los síntomas presentados en campo, se observó ataque desde una etapa temprana en desarrollo del cultivo, resultando de esto la muerte o secamiento de brotes. En consecuencia, se observaron plantas débiles con volumen reducido y algunos sitios perdidos.





Fig 1. Ataques tempranos de *Rhizoctonia solani* en estolones y brotes causando plantas con volúmenes reducidos

Según (Guanche, 2012), la presencia de materia orgánica en el suelo condiciona la actividad de los macro y microorganismos y cuanto más biomasa se aporta con los abonos verdes mayor será la cantidad y variedad de microorganismos benéficos para el cultivo que impiden o limitan las poblaciones de los patógenos que son perjudiciales, lo que indica el potencial del uso de abonos verdes para la reducción de costra negra de la papa en el suelo.

En el estudio realizado se muestra que en el tratamiento testigo hubo una mayor afectación del cultivo en cuanto a la presencia del patógeno *R. solani* con un porcentaje de 14,20%, siendo aproximadamente un 50 % mayor a los demás resultados, esto pudo deberse a que en los tratamientos en los cuales se incorporó el material vegetal tuvieron un efecto positivo ante la presencia del patógeno.

Las coberturas vegetales utilizadas en la investigación aumentan la diversidad microbiana del suelo, minimizando la proliferación de patógenos transmitidos por éste, asimismo suprimen patógenos fúngicos y promueven bacterias supresoras de enfermedades (Vukicevich *et al.*, 2016). De acuerdo a lo expuesto por autores como Manici *et al.*, (2004) y Mazzola (2010), dentro de la microbiota antagonista favorecida se encuentran bacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas* y especies no patogénicas de *Streptomyces*, así como el hongo *Trichoderma* (Yossen *et al.*, 2011), hay especies con mayor tolerancia frente a isotiocianatos producidos por tejidos incorporados de Brassica, respecto a otros hongos patógenos del suelo (Larkin y Griffin, 2007; Vandicke

et al., 2020). En este grupo de plantas, se ha identificado especies de mostaza como *Brassica juncea* y *B. nigra* poseen efecto biofumigante contra aislados del patógeno *R. solani* en papa y hortalizas (Rubayet *et al.*, 2018; Abdallah, Yehia, y Kandil, 2020). Además, es probable que en la biodegradación de los residuos orgánicos haya liberación de metabolitos secundarios, los cuales podrían llegar a ser aprovechados por las plantas vía absorción radicular hacia la inducción de defensas contra *R. solani* (Soldevilla, 2009).

En cuanto a los resultados de la etapa de tuberización se muestra que hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, del mismo modo que en el análisis anteriormente descrito. De acuerdo con la investigación realizada en campo, el hongo continuó su diseminación durante todo el ciclo del cultivo, de modo que su ataque generó daños directos afectando raíces, estolones y tallos, lo que finalmente dio como resultado una mala asimilación de agua y nutrientes, lo que posiblemente género en las plantas el enrollamiento foliar. En la etapa de floración, se incrementa la actuación de *R. solani* sobre los tejidos subterráneos más jóvenes como son las partes apicales de raicillas y estolones, ocasionando interferencias metabólicas vía haces vasculares, lo que en consecuencia conduce a enrollamiento parcial o total de las ramas foliares (Bienkowski *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2017).



Fig. 2. Síntomas de enrollamiento de las ramas y presencia de tubérculos aéreos causados por *R. solani*

El tratamiento testigo tuvo un porcentaje de enrollamiento superior frente a los demás y el tratamiento en el cual se obtuvo un menor porcentaje fue en la incorporación de cebada que solo permitió un 8,78 % de afectación. Donde se evidencia la reducción del patógeno en la incidencia para las variables de afectación temprana y enrollamiento foliar, los cuales demostraron la eficacia de los tratamientos con respecto al testigo, esto se debe a los isotiocianatos (ITC), provenientes de la hidrólisis enzimática de los glucosinolatos (GSL), liberados en pruebas biológicas específicas han mostrado una fuerte actividad como biocontroladores de *R. solani* Kühn AG-3 (Molina y Bentura, 2009), confirmando el trabajo de (Kirkegaard y Desmarchelier, 1996) quienes trabajaron con (ITC) liberados de (GSL) provenientes de tejidos de plantas Brassicaceae. Otro aporte fue el de (Larkin y Griffin, 2007), quienes demostraron que especies de la familia Brassicaceae poseen componentes naturales como los glucosinolatos, producidos a partir del metabolismo secundario de las plantas que al ser utilizadas como abonos verdes liberan una serie de compuestos tóxicos, en especial la capacidad biofumigante de los isotiocianatos, que limitan directamente el desarrollo hongos patógenos del suelo. Donde se redujeron los niveles de inóculo de *R. solani* entre un 20% y 56%, mediante pruebas en invernadero con cultivos de brasicáceas y cebada. Dayegamiye *et al.*, (2017), exponen que la incorporación al suelo de cereales como variedades de rápido crecimiento de cebada, avena o trigo, cuyo aporte considerable de biomasa trae consigo efectos positivos sobre las propiedades del suelo y su microbiota.

2. Componentes de Rendimiento

De acuerdo con la Tabla 4, el análisis de varianza mostró que el número de tubérculos grandes y medianos por planta presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Para la Tabla 5, el análisis estadístico arrojó que sólo se obtuvo diferencias en el peso de tubérculos medianos por planta. Por otra parte, en el número y peso de tubérculos pequeños no presentaron diferencias estadísticas con respecto al testigo, por lo que no se tuvieron en cuenta en la investigación.

Tabla 4. Análisis de varianza de clasificación de los tubérculos de acuerdo al número de tubérculos por planta.

NÚMERO DE TUBÉRCULOS POR PLANTA					
Fv	GI	CUADRADOS MEDIOS			F.tabla
		Tubérculos grandes	Tubérculos medianos	Tubérculos pequeños	
TRATAMIENTO	4	1,10*	3,97*	0,21NS	3,259
REPETICIÓN	3	0,22	0,86	1,76	3,49
ERROR	12	0,07	0,15	0,50	
TOTAL	19				
*Diferencias significativas ^{NS} Diferencias no significativas					

Tabla 5. Análisis de varianza de clasificación de los tubérculos de acuerdo al peso de los tubérculos por planta.

PESO EN KILO DE TUBÉRCULOS POR PLANTA					
Fv	GI	CUADRADOS MEDIOS			F.tabla
		Tubérculos grandes	Tubérculos medianos	Tubérculos pequeños	
TRATAMIENTO	4	0,02NS	0,02*	0,002NS	3,259
REPETICIÓN	3	0,01	0,0044	0,0027	3,49
ERROR	12	0,01	0,00059	0,00062	
TOTAL	19				
*Diferencias significativas ^{NS} Diferencias no significativas					

Según la tabla 4 y 5, para la variable de componentes de rendimiento se observan diferencias significativas entre tratamientos para el número de tubérculos grandes y medianos por planta y para el peso de tubérculos medianos por planta, pero no sé

encontraron diferencias significativas para el peso de tubérculos grandes por plata, lo cual probablemente demuestra que no hubo una interacción del patógeno frente al peso de tubérculos grandes en los tratamientos, pero sí a la cantidad de ellos.

En la tabla 6, de acuerdo con el número de tubérculos por planta, se determinaron menores promedios en el tratamiento testigo con unas medias de 2,86 y 3,83% en tubérculos grandes y medianos respectivamente. Además, se puede observar un comportamiento análogo en los demás tratamientos con porcentajes mayores en comparación al tratamiento testigo.

Con respecto al peso de tubérculos medianos por planta, en los tratamientos dónde se utilizaron los abonos verdes, tuvieron un valor estadísticamente diferente al porcentaje del tratamiento testigo, donde se obtuvo una media de 0,26%. Lo cual probablemente demuestra que el mayor efecto depresor se dió con la incorporación de los diferentes materiales vegetales utilizados en la investigación.

Tabla 6. Comparación de los tratamientos respecto al porcentaje número de tubérculos grandes y medianos por planta y peso de tubérculos medianos

Número de Tubérculos Grandes					
Tratamientos	Testigo	Avena	Nabo	Mostaza	Cebada
Medias	2,86 ^A	3,70 ^B	3,95 ^B	3,95 ^B	4,23 ^B
<i>Tukey a 0,05 = 0,59200 Error: 0,0690 gl: 12</i>					
Número de Tubérculos Medianos					
Tratamientos	Testigo	Avena	Mostaza	Nabo	Cebada
Medias	3,83 ^A	5,37 ^B	5,98 ^{BC}	6,10 ^{BC}	6,25 ^C
<i>Tukey a 0,05 = 0,86965 Error: 0,1489 gl: 12</i>					
Peso de Tubérculos Medianos					
Tratamientos	Testigo	Avena	Cebada	Mostaza	Nabo
Medias	0,26 ^A	0,34 ^B	0,39 ^{BC}	0,42 ^C	0,43 ^C
<i>Tukey a 0,05 = 0,05468 Error: 0,0006 gl: 12</i>					
Las letras iguales indican diferencias no significativas					

Según los datos obtenidos de las variables número de tubérculos grandes y medianos por planta y peso de tubérculos medianos, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos donde se utilizaron los abonos verdes y el testigo. Estos resultados respecto a las cantidades de tubérculos indican que en la etapa de tuberización hay influencia de las condiciones medioambientales de los sectores papeiros sobre el crecimiento y producción de las plantas, considerándose también que la capacidad de retención de humedad de los suelos puede predisponer la persistencia del patógeno (González et al., 2006). Además puede deberse a la menor proporción de inóculo en el suelo por la acción favorable de las gramíneas y crucíferas ante el patógeno, esto se debe a que los abonos verdes poseen compuestos volátiles que son liberados por las hojas y material de la raíz, tras la incorporación de estas al suelo (Molina y Bentura, 2009). Además a causa de la cantidad más alta de biomasa aportada, la cual está constituida por tejidos más fibrosos, que permite mayor tiempo de actuación para la microbiota heterótrofa, lo que llega a favorecer la persistencia de las poblaciones con características de antagonismo o competencia por recursos (disponibilidad de energía, agua y nutrientes) afectando en diferente grado la capacidad de persistencia y colonización de *R. solani* (Parkinson y Coleman, 1991 ; Vukicevich et al., 2016).

2.1 Rendimiento comercial (Ton/ha): el análisis de varianza ($p < 0.05$) realizado para esta variable muestra que existieron diferencias significativas entre los tratamientos (tabla 9).

Tabla 7. Análisis de Varianza Rendimiento Comercial

F.V	G.L	S.C	C.M	F. CALCULADA	F. TABLA
TRATAMIENTO	4	108,17	27,04	36,43 *	3,25
REPETICIÓN	3	60,6	20,2	27,21	3,49
ERROR	12	8,91	0,74		
TOTAL	19	177,68			
*Diferencias significativas ^{NS} Diferencias no significativas					

En la prueba de comparación de medias de tukey se evidencio que los tratamientos cebada, mostaza y nabo, conforman un mismo grupo estadístico, por lo tanto, no son estadísticamente diferentes y los cuales obtuvieron un mejor comportamiento frente a los demás tratamientos, por otro lado, los tratamientos nabo y avena fueron estadísticamente similares. Finalmente, en la investigación se obtuvo que el tratamiento testigo tuvo el menor rendimiento con una media de 16,59% (Tabla 8).

Tabla 8. Comparación de los tratamientos respecto al rendimiento comercial

Rendimiento Comercial					
Tratamientos	Testigo	Avena	Nabo	Mostaza	Cebada
Medias	16,59 ^A	20,02 ^B	21,51 ^{BC}	22,26 ^C	23,27 ^C
<i>Tukey a 0,05 = 1,94180 Error: 0,7423 gl: 12</i>					
Las letras iguales indican diferencias no significativas					

Los resultados respecto al rendimiento de tubérculos permiten suponer con confiabilidad, que el uso de abonos verdes, es una medida favorable para esta variable, porque las conversiones bioquímicas que ocurren en el suelo con la biomas aérea aportada, llega a favorecer una actividad efectiva en la rizosfera de las plantas de papa, con el aporte nutricional y de principios activadores de crecimiento, además de los procesos antagónicos que desfavorecen el establecimiento del agente causal de la costra negra (Bonanomi *et al.*, 2020). Igualmente, se determina que la cebada como abono verde favorece un mejor crecimiento de la papa, respecto a avena con diferencias significativas, probablemente por el menor aporte de biomasa aérea de esta especie (Khiareddine, 2016).

3. Análisis económico

Se analizó cada tratamiento ya que todos estos fueron significativamente diferentes al testigo, indicando así un efecto positivo sobre la incidencia de costra negra (*Rhizoctonia solani*), Además de esto, los beneficios de cada abono verde son mayores rendimientos y menores costos de inversión (tabla 9).

Tabla 9. Evaluación Financiera

EVALUACION FINANCIERA					
TRATAMIENTOS	EGRESO TOTAL	INGRESO TOTAL	UTILIDAD	RENTABILIDAD EN %	COSTO/BENEFICIO
CEBADA	\$ 13.043.419	\$ 17.896.434	\$ 4.853.015	37,21	1,37
MOSTAZA	\$ 13.823.419	\$ 17.499.504	\$ 3.676.085	26,59	1,27
NABO	\$ 13.673.419	\$ 16.904.502	\$ 3.231.083	23,63	1,24
AVENA	\$ 13.283.419	\$ 15.733.362	\$ 2.449.943	18,44	1,18
TESTIGO	\$ 12.708.419	\$ 13.041.312	\$ 332.893	2,62	1,03

Los resultados obtenidos sobre el comportamiento comercial nos llevarían a considerar que es recomendable utilizar como abono verde cualquiera de las especies vegetales utilizadas en este estudio. Sin embargo, se prefiere la cebada debido a su costo relativamente más bajo, mayor probabilidad de obtener semillas, adaptabilidad de las especies en diferentes ambientes y mayor plasticidad en términos de rendimiento potencial por unidad de área de biomasa; además de esto, para las plantas crucíferas, el potencial de alelopatía es menor (Ramírez *et al.*, 2011; Smith *et al.*, 2011). En términos monetarios, el uso de abonos verdes dejará importantes beneficios económicos para términos de control, aportes al suelo, al medio ambiente y al producto a comercializar.

CONCLUSIONES

- La investigación demostró que, al realizar la incorporación de cuatro abonos verdes, disminuyeron el porcentaje de afectación de la costra negra (*R. solani*) en las etapas tempranas del cultivo de papa, consiguiendo así ser una alternativa para el manejo de esta enfermedad.
- Después de analizar los resultados de la investigación se puede concluir que los tratamientos que mejor respondieron en cuanto a sus efectos benéficos para combatir la enfermedad fueron Cebada, Nabo y Mostaza, los cuales mostraron tener un impacto positivo en el desarrollo y rendimiento del cultivo frente a la presencia de *R. solani*.

- Se puede decir que la cebada fue el tratamiento en el cual se obtuvieron buenos resultados y que se puede llegar a recomendar para su uso en la agricultura debido a que su semilla presenta un bajo costo para el agricultor, asimismo los resultados mostraron un manejo adecuado frente a la enfermedad, generando un buen rendimiento y rentabilidad para el agricultor.
- Concluyendo así que todos los abonos verdes mejoraron en cuanto al rendimiento, en comparación al testigo en más de 3 T/ha.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, I., Bravo, R., & Vargas, M. (2004). Cultivo de papa, tratamiento de semilla para disminuir la incidencia de Rizoctoniasis. *Tierra Adentro*. no. 58. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6119>.
- Aldana, C. (2018, 1 junio). *El aporte de la papa a la economía colombiana*. Periódico El Campesino – La voz del campo colombiano. <https://www.elcampesino.co/la-produccion-de-papa-en-colombia-genera-empleos/>
- Álvarez, D. (2015). *Actividad biocida del aceite esencial de Lippia Origanoides HBK sobre algunos fitopatógenos de papa (Solanum Tuberosum l.)* (Doctoral dissertation, Universidad de Nariño).
- Buitrago, G. V., López, A. P., Coronado, A. P., & Osorno, F. L. (2004). Determination of physical characteristics and mechanical properties of potatoes cultivated in Columbia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8,102-110.http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662004000100015.
- Bonanomi, G., Zotti, M., Idbella, M., Di Silverio, N., Carrino, L., Cesarano, G., ... & Abd-ElGawad, A. M. (2020). Decomposition and organic amendments chemistry explain contrasting effects on plant growth promotion and suppression of Rhizoctonia solani damping off. *PloS one*, 15(4), e0230925.
- Bienkowski, D., Stewart, A., Falloon, RE, Braithwaite, M., Loguercio, LL y Hicks, E. (2010). Un ensayo de enfermedad para Rhizoctonia solani en papa (Solanum tuberosum). *Protección de Plantas de Nueva Zelanda* , 63 , 133-137.

- Carling, De, Leiner, R. Y Westphale, P. (1989). Symptoms, signs and yield reduction associated whit Rhizoctonia disease of potato induced by tuber born e inoculum of Rhizoctonia solani AG-3. Amer.
- Consejo Nacional de la Papa, (2018). CADENA DE LA PAPA. Indicadores e instrumentos. Obtenido de: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2019-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- De la cruz Cardona, C. A. (2015). Contribución de abonos verdes a la producción sostenible de caña de azúcar Saccharum Officinarum (L.), en la hacienda La floresta del municipio de Bugalagrande-Valle del Cauca.
- Cultivos De Cobertura: Tipos, Beneficios Y Consejos Para Su Uso. (2021, 30 noviembre). EARTH OBSERVING SYSTEM. <https://eos.com/es/blog/cultivos-de-cobertura/>
- Perrin, R. K., Winkelmann, D. L., Moscardi, E. R., & Anderson, J. R. (1983). Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica.
- GUZMÁN CASADO, G. (2001). 1., y ALONSO MIELGO, A: El uso de abonos verdes en agricultura ecológica, Ediciones del Comité Andaluz de Agricultura Ecológica. *Boletín*, (4.7/01), 19.
- Herbario Virtual, 2022. Cátedra de Fitopatología. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=419
- FEDEPAPA, Boletín mensual regional No. 04, (25 de diciembre de 2020), obtenido de: <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2020/06/Bolet%c3%adn-regional-Nari%c3%b1o-2020.pdf>, Boletines regionales Nariño, Colombia (2020b).

- Fedepapa, Boletín mensual regional No. 4 Nariño, (Mayo 2020). <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2021/09/NARINO-2020.pdf>
- Kirkegaard, J. y Desmarchelier, J. (1996). In vitro suppression of fungal root pathogens of cereals by Brassica tissues. *Plant pathology* 45: 593-603
- Khiareddine, H. J. (2016). Effect of fodder radish (*Raphanus sativus* L.) green manure on potato wilt, growth and yield parameters. *Adv. Crop Sci. Technol*, 4, 211.
- Kumar, M., Singh, J. K., Kumar, S., & Kumar, A. (2017). A comprehensive overview on black scurf of potato. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(10), 4981-4994.
- Larkin, R. P., & Griffin, T. S. (2007). Control of soilborne potato diseases using Brassica green manures. *Crop protection*, 26(7), 1067-1077.
- Méndez, P., & Gaete (2004) N. (s.f.). PRINCIPALES ENFERMEDADES QUE AFECTAN. INIA, 1-4-5.
- Manici, LM, Caputo, F. y Babini, V. (2004). Efecto del abono verde sobre *Pythium* spp. población y comunidades microbianas en sistemas de cultivo intensivo. *Planta y Suelo* , 263 (1), 133-142.
- Mazzola, M., & Reynolds, M. P. (2010). Management of resident soil microbial community structure and function to suppress soilborne disease development. *Climate change and crop production*, 1, 200-218.
- Guzmán, G., & Alonso, A. (2008). Buenas prácticas en producción ecológica. *Uso de Abonos verdes. Madrid*.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, (2021). Cadena de la papa. Composición y caracterización de la Cadena. Obtenido de Minagricultura: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

- Molina, L., Bentura, J. (2009). Efecto inhibitorio in vitro de cinco isotiocianatos sobre *Rhizoctonia solani* Kühn AG-3. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 1: 37-38. <https://doi.org/10.22490/21456453.1965>
- Rubayet, M. T., Bhuiyan, M. K. A., Jannat, R., Masum, M. M. I., & Hossain, M. M. (2018). Effect of biofumigation and soil solarization on stem canker and black scurf diseases of potato (*Solanum tuberosum* L.) caused by *Rhizoctonia solani* isolate PR2. *Advances in Agricultural Science*, 6(3), 33-48.
- Ramírez-García, J., Carrillo, J. M., Ruiz, M., & Quemada, M. (2011). Comparación de gramínea, leguminosa y crucífera para actuar como cubiertas vegetales destinadas a su empleo como abono verde.
- Parkinson, D., & Coleman, D. C. (1991). Microbial communities, activity and biomass. *Agriculture, ecosystems & environment*, 34(1-4), 3-33.
- Ruiz Marín, L. E. (2021). Establecimiento de un modelo productivo de papa *Solanum tuberosum* s sp andigena var Pastusa superior como aporte a la generación de empleo y seguridad alimentaria del municipio de Sucre Santander.
- Sánchez, M. A., & Meza, R. E. (2015, June). Evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (PRD) utilizando cintas de riego. In *Anales Científicos* (Vol. 76, No. 1, pp. ág-21).
- Smith, R., Bugg, R. L., Gaskell, M., Daugovish, O., & Van Horn, M. (Eds.). (2011). *Cover Cropping for Vegetable Production: A Grower's Handbook* (Vol. 3517). University of California Agriculture and Natural Resources.
- Soldevilla Martínez, M. (2009). Influencia de los cultivos de cobertura en el desarrollo de algunos patógenos vegetales transmitidos por el suelo.
- Vandicke, J., De Visschere, K., Deconinck, S., Leenknecht, D., Vermeir, P., Audenaert, K. y Haesaert, G. (2020). Descubrimiento de la capacidad biofumigante del isotiocianato de alilo de varios cultivos de Brassicaceae contra patógenos de *Fusarium* en maíz. *Diario de la ciencia de la alimentación y la agricultura* , 100 (15), 5476-5486.

- Vukicevich, E., Lowery, T., Bowen, P., Úrbez-Torres, J. R., & Hart, M. (2016). Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(3), 1-14.
- Yossen, V., Rojo, R., Barrera, V., Chiessa, G., Zumelzu, G., Cozzi, J., ... & Gasoni, L. (2011). Efecto de abonos verdes y biocontroladores en el cultivo de papa en Córdoba, Argentina. *Revista de patología vegetal* , 713-717.