

Evaluación *in vitro* de fungicidas y un extracto natural de canela en el control de *Rhizoctonia solani* en *Ullucus tuberosus*

In vitro evaluation of fungicides and a natural cinnamon extract for the control of *Rhizoctonia solani* in *Ullucus tuberosus*

Victor Chavez Centeno ^{1,3}, Yeferson Ronaldíño Navarro Soto ^{1,4}, Ruth Mercedes Martínez Meza ^{1,5}, Magaly Narváez Estrada ^{1,6}.

¹Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. ²✉ victor.chavez@unh.edu.pe; ³✉ 2021121012@unh.edu.pe;

⁴✉ 2022121014@unh.edu.pe; ⁵✉ 2021121011@unh.edu.pe



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n3.119320>

2024 | 73-3 p 323-332 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2025-03-13 Acep.: 2025-09-05

Resumen

La evaluación de la eficacia de 3 fungicidas: azoxistrobina, iprodiona, y carbendazim y un extracto natural de canela contra el hongo *Rhizoctonia solani* en *Ullucus tuberosus* se desarrolló preparando un inoculo homogéneo mediante la mezcla de aislamientos provenientes de 3 localidades productoras, con el fin de representar la población regional del patógeno en condiciones reales de almacenamiento masivo. *Ullucus tuberosus* es un cultivo crucial para la seguridad alimentaria de las comunidades andinas en Perú, pero la producción se ve afectada por la pudrición en poscosecha provocada por *Rhizoctonia solani*, lo que genera pérdidas económicas significativas de 20 % a 80 %, ya que afecta la calidad de los tubérculos, por ejemplo, deformaciones, pudriciones y rajaduras visibles, que reducen considerablemente su valor comercial. Este estudio evaluó la eficacia de distintos grupos fungicidas del FRAC (Comité de Acción de Resistencia a Fungicidas, por sus siglas en inglés) y un extracto natural de canela en la inhibición *in vitro* del crecimiento de *R. solani* en tubérculo de *O. tuberosus* durante la poscosecha. Los tubérculos fueron recolectados de 3 localidades en la provincia de Acobamba, Huancavelica, y se incubaron en cámaras húmedas para inducir la esporulación de *R. solani*. Los tratamientos incluyeron azoxistrobina (Qo1), iprodiona (dicarboximidas) y carbendazim (benzimidazoles) y extracto de canela, que fue preparado mediante maceración de ramas trituradas en agua destilada a 60 °C por 6 horas. Se aplicaron 11 tratamientos, con dosis baja, media y alta para cada fungicida y para el extracto, utilizando un diseño completamente al azar (DCA) con 6 repeticiones. La eficacia antifúngica se evaluó mediante el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PIC) en medios PDA (agar patata dextrosa, por sus siglas en inglés). Los resultados mostraron que la iprodiona logró una inhibición del 100 % del crecimiento de *R. solani* a los 7 días, lo cual demuestra ser el tratamiento más efectivo, seguido por la azoxistrobina y el extracto de canela. Estos hallazgos resaltan la alta eficacia de la iprodiona en el control de *R. solani* en *O. tuberosus* en poscosecha, por lo cual sugiere su aplicación como una opción viable para su manejo.

Palabras clave: Fungicidas, iprodiona, *Ullucus*, *Rhizoctonia*, pudrición.

Abstract

The evaluation of the efficacy of three fungicides: azoxystrobin, iprodione and carbendazim and a natural cinnamon extract against the fungus *Rhizoctonia solani* in *Ullucus tuberosus* was developed by preparing a homogeneous inoculum by mixing isolates from 3 producing locations, in order to represent the regional population of the pathogen under real conditions of mass storage. *Ullucus tuberosus* is a crucial crop for the food security of Andean communities in Peru. However, its production is often affected by post-harvest rot caused by *Rhizoctonia solani*, which leads to significant economic losses ranging from 20 % to 80 %, affecting the quality of the tubers, with visible deformations, rot, and cracks, that considerably reduce their commercial value. This study evaluated the effectiveness of different FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) fungicides groups and a natural cinnamon extract in inhibiting the *in vitro* growth of *R. solani* on *U. tuberosus* tubers during the post-harvest period. Tubers were collected from 3 locations in Acobamba Province, Huancavelica, and incubated in humid chambers to induce *R. solani* sporulation. Treatments included azoxystrobin (Qo1), iprodiona (Dicarboximides), and carbendazim (Benzimidazoles), as well as cinnamon extract, which was prepared by macerating crushed branches in distilled water at 60 °C for six hours. Eleven treatments were applied at low, medium, and high doses of each fungicide and extract, arranged in a completely randomized design (CRD) with six replicates. Antifungal efficacy was assessed based on the percentage of mycelial growth inhibition (PGI) on PDA (potato dextrose agar) media. According to the results, iprodione achieved 100 % inhibition of *R. solani* growth after 7 days, making it the most effective treatment, followed by azoxystrobin and cinnamon extract. These findings highlight the high efficacy of iprodione in controlling *R. solani* in *O. tuberosus* post-harvest, suggesting its application as a viable option for its management.

Keywords: Fungicides, efficacy, iprodione, *Ollucus*, *Rhizoctonia*.

Introducción

Ullucus tuberosus Caldas es un cultivo ancestral y fundamental para la seguridad alimentaria de las comunidades andinas en Perú. Esta planta herbácea perenne, perteneciente al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Caryophyllales y familia Basellaceae, es valorada por sus tubérculos comestibles que presentan diversas formas y colores, y se adaptan a condiciones de altitud superior a los 2800 m s. n. m. (Bragard et al., 2021). Sin embargo, su producción enfrenta importantes desafíos, entre ellos, la pudrición poscosecha causada por el hongo *Rhizoctonia solani*, que genera pérdidas económicas significativas durante el almacenamiento y distribución (CABI, 2019).

Rhizoctonia solani Kühn es un hongo fitopatógeno perteneciente al reino Fungi, división Basidiomycota, clase Agaricomycetes, orden Cantharellales y familia Ceratobasidiaceae. Se caracteriza por su micelio filamentoso multinucleado y su capacidad para provocar enfermedades en una amplia gama de cultivos (Mahadevan et al., 2025). En *U. tuberosus* este patógeno causa daños importantes en la etapa de poscosecha, ya que afecta la calidad y conservación de los tubérculos (Buskila et al., 2011).

En la región de Acobamba, Huancavelica, los principales productores de *U. tuberosus* almacenan sus cosechas de manera colectiva en almacenes comunales, sin distinción por localidad o comunidad. Esta práctica favorece la dispersión del patógeno y el daño generalizado a toda la producción almacenada. Por esta razón, evaluar la eficacia de fungicidas y extractos naturales contra *R. solani* en condiciones que reflejen esta realidad es fundamental para proponer soluciones efectivas y aplicables.

Dado este contexto, este estudio utilizó un inóculo homogéneo elaborado mediante la mezcla equitativa de aislamientos recolectados en 3 localidades productoras diferentes, con el objetivo de representar la población regional del patógeno bajo condiciones reales de almacenamiento masivo. Esta metodología busca obtener resultados con una relevancia práctica directa para los productores locales.

Por otro lado, la producción de *U. tuberosus* se ve afectada por problemas fitosanitarios, entre los cuales se destaca la infección por *R. solani*, un patógeno del suelo que provoca pérdidas en el rendimiento de hasta el 90 % y una disminución de la calidad de los tubérculos andinos (Kiptoo et al., 2021). Este hongo es muy virulento y provoca infecciones severas en los tubérculos; además, presenta esclerocios de color negro, lo que disminuye su calidad para la comercialización. De igual manera, manifiesta una incidencia de la enfermedad que varía de 22 % a 92 % en diversos cultivares de tubérculos (Mothibeli et al., 2023). Su adaptabilidad y virulencia se atribuyen a la diversidad genética del patógeno (Chavarro-Mesa et

al., 2021). Así mismo, se observa una pudrición blanda como resultado de la emergencia de caries en los tubérculos, lo que compromete el almacenamiento en poscosecha (Mejdoub-Trabelsi et al., 2022).

La aplicación de fungicidas químicos ha evidenciado una eficiencia del 100 % en la inhibición del crecimiento del micelio de *R. solani*, cuando se aplica a concentraciones bajas en los tubérculos de papa variedad florice (Erdevil y Erkilig, 2022). El empleo de fungicidas de última generación se distingue por su elevada eficacia en dosis reducidas, lo que ayuda a disminuir la existencia de desechos en los cultivos. Esta disminución en el uso de agroquímicos es apreciada por los consumidores, quienes optan por productos que contienen menos desechos y un impacto ambiental reducido en diferentes mercados (Romanazzi et al., 2022).

De tal manera, los fungicidas que pertenecen al grupo QoI presentan alta efectividad en dosis bajas y reducen la intensidad de la enfermedad hasta en un 78 % (Jacobelis et al., 2023). Alternativamente, el grupo de dicarboximidas se emplea para el control de enfermedades cuando se usan estrategias de aplicación apropiadas, lo cual mejora el rendimiento de los tubérculos (Peerzada et al., 2020).

En contraste, los grupos biológicos como el extracto de *Cinnamomum cassia* (L.) J.Presl es un árbol perennifolio originario del sureste de China, pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta (angiospermas), clase Magnoliopsida (dicotiledóneas), orden Laurales y familia Lauraceae. El género es *Cinnamomum* y la especie, *cassia*; inhibe el crecimiento de *R. solani* y sus enzimas extracelulares y reduce la incidencia de la enfermedad, por lo cual es una alternativa sostenible a los fungicidas. Su componente activo es el cinamaldehído, que tiene actividad antifúngica (Aziz et al., 2022).

Por lo expuesto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficacia de fungicidas de distintos grupos químicos del FRAC y un extracto natural para inhibir el crecimiento *in vitro* de *R. solani* en tubérculos de *U. tuberosus* durante la poscosecha.

Materiales y métodos

Recolección, aislamiento y purificación de *Rhizoctonia solani*

Los tubérculos de *U. tuberosus* fueron recolectados de los centros poblados de Choclococha (12°50'59,6" S, 74°32'35,5" W) y Yanacocha (12°50'39.7" S, 74°31'36.8" W) de la provincia de Acobamba (12°50'39.0" S, 74°34'10.3" W), a una altitud de 3430 m s. n. m.. Se recolectaron 20 kg de cada localidad y se trasladaron al laboratorio de sanidad vegetal de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de Huancavelica, sede

Acobamba. Previo al aislamiento, los tubérculos fueron limpiados con agua estéril para eliminar la tierra, se secaron con papel toalla y se dejaron secar bajo sombra durante un periodo de 5 horas.

Los tubérculos fueron sometidos a un procedimiento de desinfestación usando NaOCl al 0.5 % durante 5 minutos; posteriormente se enjuagaron con agua destilada, se desinfestaron con alcohol etílico al 70 % durante 3 minutos adicionales y se enjuagaron con agua destilada. Después, se procedió a su secado con papel toalla y se pusieron 5 tubérculos en cámaras húmedas en contenedores de plástico sobre papel absorbente humedecido en agua destilada con el objetivo de fomentar la esporulación del patógeno. Tras 6 días, se observó un micelio de tonalidad blanquecina sobre los tubérculos. Mediante la utilización de la punta de la aguja de acero se extrajeron micelios y se sembraron en medios de cultivo de PDA acidificado en placas Petri de 10 cm y se incubaron a una temperatura de 24 °C durante un periodo de 5 días en un entorno de oscuridad, donde se observó el crecimiento micelial del hongo. La identificación morfológica se realizó bajo el microscopio, en el que se pudieron observar hifas septadas marrones con ángulos de 90°, característico de la *R. solani*. Luego de confirmar el agente causal, fue multiplicado en placas de Petri con medio PDA para usarlo en los diferentes tratamientos del experimento.

Los fungicidas se seleccionaron teniendo en cuenta los grupos del código FRAC, que agrupa ingredientes activos fungicidas según su modo de acción y comportamiento frente a la resistencia (Fernández-Ortuño et al., 2015), y se indicó su grupo químico y su nombre comercial: azoxistrobina (grupo Qol, Amistar), ipodriona (grupo dicarboximidas, Forte 50 PM) y carbendazim (grupo benzimidazoles, botrimex).

Por su parte, se obtuvo el extracto de canela de las ramas secas de *Cinnamomum cassia* (L.) J.Presl, una especie comúnmente denominada canela cassia o canela china. Esta especie es un árbol perennifolio procedente del sureste asiático y se distingue por su corteza aromática y abundante en componentes bioactivos, como el cinamaldehído, que le otorga las características antifúngicas identificadas. Dicho extracto se obtuvo mediante la trituración de 250 g de ramas en un mortero. Posteriormente, se añadió en un recipiente de vidrio de un litro con agua destilada a una temperatura de 60 °C, sin que el agua hirviera. En seguida el material triturado fue macerado inicialmente y, después, se dejó en reposo a temperatura ambiente durante 6 horas para favorecer la extracción de compuestos activos. Luego se procedió al filtrado utilizando un filtro de papel esterilizado. Finalmente, el extracto fue depositado en recipientes de vidrio estériles de color negro.

Manejo del inóculo y consideración del factor aislamiento

Los aislamientos de *R. solani* se obtuvieron a partir de tubérculos de *U. tuberosus* recolectados en 3 localidades diferentes de la provincia de Acobamba, Huancavelica. Sin embargo, dado que en la práctica agrícola regional estos productores almacenan sus cosechas de manera conjunta en almacenes comunales, sin discriminar por comunidad, y que la pudrición causada por el patógeno afecta la cosecha colectivamente, se decidió preparar un inóculo homogéneo mezclando partes iguales de micelio provenientes de cada uno de los aislamientos obtenidos.

Esta homogenización de la fuente patogénica permite representar de manera integral la población de *R. solani* que impacta a los productores en la zona y garantiza la aplicabilidad práctica y realista de los ensayos realizados. Por esta razón, el diseño experimental consideró únicamente el factor tratamiento en el análisis estadístico, sin incluir el aislamiento o lugar de origen como factor independiente, ya que no se dispuso de replicaciones separadas para los aislamientos de cada localidad.

Se reconoce que esta estrategia limita la evaluación de la variabilidad biológica y fisiológica entre aislamientos geográficos individuales, por lo que se plantea como línea futura de investigación la caracterización y evaluación separada de aislamientos para determinar su comportamiento diferencial frente a los tratamientos probados.

Diseño estadístico

Se implementó un diseño completamente al azar (DCA) que incluyó 11 tratamientos y 6 repeticiones, lo que resultó en un total de 66 unidades experimentales efectuadas bajo condiciones controladas de laboratorio. Los tratamientos fueron preparados en 100 ml de PDA y se sembraron en placas de Petri con dimensiones de 60 x 15 mm. En cada tratamiento fueron administradas las siguientes dosis:

La selección de las dosis de azoxistrobina utilizadas en los tratamientos T1, T2 y T3 (0.040 g, 0.045 g y 0.050 g respectivamente) se basó en las recomendaciones establecidas en la ficha técnica del fungicida comercial Amistar® 50 WG (Syngenta), que sugiere un rango de dosis específico para el control de *R. solani* en cultivos agrícolas; los tratamientos correspondieron respectivamente a niveles bajo, medio y alto.

Se empleó el extracto de canela en los tratamientos T4, T5, T6, con dosis de 3 ml, 4 ml, y 5 ml, correspondientes a los niveles bajo, medio y alto respectivamente. Estas dosis fueron seleccionadas con base en estudios previos realizados por González et al., quienes demostraron que rangos similares

de extracto de canela tienen un efecto antifúngico significativo en el control de enfermedades fúngicas (González et al., 2021).

La aplicación de iprodiona en los tratamientos T7, T8 y T9 se llevó a cabo a dosis 0.150 g, 0.163 g y 0.175 g (correspondientes a niveles bajo, medio y alto) se fundamenta en las recomendaciones técnicas disponibles en las fichas oficiales de iprodiona, que establecen rangos de dosis para la aplicación en cultivos similares, y que oscilan entre 0.1-0.4 g por litro de agua (Neoagrum Perú, 2024).

El carbendazim fue aplicado en el tratamiento T10 a una única dosis de 0.225 g, y fue designado como testigo químico en el experimento. Esta cantidad se ajusta a las recomendaciones técnicas vigentes que aseguran una aplicación segura y eficaz para el control de enfermedades fúngicas (Agroactivo, 2021). La elección de una dosis fija permitió establecer un referente constante para la comparación con los tratamientos experimentales, garantizando así la validez y reproducibilidad de los resultados dentro del diseño experimental.

En contraposición, el tratamiento T11 no fue sujeto a aplicación; solo contenía PDA, pues fungió como el testigo en blanco.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias significativas entre los tratamientos, seguido de comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn con ajuste Bonferroni, porque los datos no cumplían con los supuestos necesarios para el uso de pruebas paramétricas. En particular, la distribución de los residuos no se ajustaba a la normalidad, y las varianzas entre tratamientos no eran homogéneas, condiciones que son indispensables para aplicar ANOVA u otras pruebas paramétricas. Para garantizar rigor y reproducibilidad, el análisis se llevó a cabo usando el software libre R, versión R-4.4.2 para Windows.

Cálculo del porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PIC)

La actividad antifúngica de los fungicidas y extracto obtenido de diferentes tratamientos se evaluó midiendo el crecimiento del micelio en medios PDA suplementados con las diferentes dosis correspondientes a cada tratamiento en placas de Petri de 60 x 15 mm, con 6 repeticiones por cada tratamiento. Se colocó al centro de cada placa un disco de un diámetro de 2 mm del micelio del patógeno proveniente de un cultivo incubado por 5 días. Fueron incubados en una estufa a 24 °C. La medición del crecimiento micelial se inició al día siguiente, dado que se observó crecimiento

macroscópico del micelio del patógeno en todos los tratamientos desde ese momento (Avalos-Gavilla et al., 2019).

Las mediciones del radio del crecimiento del patógeno se realizaron en milímetros utilizando un vernier digital en las placas Petri que contenían el medio control y los medios tratados con los fungicidas y el extracto, lo cual se registró diariamente durante 7 días. El radio del crecimiento micelial para cada placa se midió en, al menos, 2 direcciones perpendiculares y se calculó el promedio. El porcentaje de inhibición del crecimiento micelial se determinó mediante la fórmula de la Ecuación 1:

$$\text{PIC (\%)} = \frac{(C-T)}{C} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

C: radio del crecimiento micelial en el tratamiento control.

T: radio del crecimiento micelial en el tratamiento usado.

PIC: porcentaje de inhibición del crecimiento micelial.

Resultados y discusiones

En este estudio se obtuvieron aislamientos de *R. solani* de tubérculos de *U. tuberosus* provenientes de 3 localidades diferentes de la provincia de Acobamba, Huancavelica.

Esta mezcla refleja la población real del patógeno que enfrentan los productores, lo que hace que los resultados obtenidos sean prácticos y relevantes para la región. Por eso el análisis estadístico se enfocó únicamente en el efecto de los tratamientos, sin incluir el aislamiento o lugar de origen como un factor independiente, ya que no se evaluaron aislamientos de forma separada ni se contaron con réplicas para cada localidad.

La prueba de Kruskal-Wallis ($H = 62.66$, $df = 10$, $p = 1.14 \times 10^{-9}$) confirmó diferencias globales entre los tratamientos, mientras que la prueba de Dunn con ajuste Bonferroni identificó comparaciones significativas en pares específicos, como T10 vs. T11 ($p = 0.0010$) y T7 vs. T11 ($p = 0.0010$). Estos resultados indican que, aunque todos los tratamientos influyen en el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PIC), la eficacia antifúngica varía considerablemente entre ellos, lo que muestra una dispersión en los valores de inhibición que oscila desde 0.00 % (sin efecto) hasta 100.00 % (inhibición total). Esta variabilidad refleja las diferentes capacidades de los tratamientos para controlar el crecimiento de *Rhizoctonia solani*. (Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos y resultados de la prueba de Dunn con ajuste Bonferroni para comparaciones múltiples del porcentaje de inhibición del crecimiento micelial entre tratamientos

Descripción	Resultados
Estadísticos descriptivos del PIC	
- Número total de tratamientos (TRT)	11.00
- Número total de observaciones (n)	66.00
- Media del PIC (%)	47.85 %
- Mediana del PIC (%)	38.60 %
- Rango intercuartil (IQR)	[0.00 %, 100.00 %]
- Mínimo del PIC (%)	0.00 %
- Máximo del PIC (%)	100.00 %
Análisis estadístico	
Prueba de Kruskal-Wallis	
- Estadístico chi-cuadrado (H)	62.66
- Grados de libertad (df)	10.00
- Valor p	1.14×10^{-9} ($p < 0.05$) **
Prueba de Dunn (ajuste Bonferroni): comparaciones significativas detectadas (valor p ajustado < 0.05):	
- T10 vs. T11	$p = 0.0010$ **
- T10 vs. T5	$p = 0.0039$ **
- T10 vs. T6	$p = 0.0028$ **
- T7 vs. T11	$p = 0.0010$ **
- T7 vs. T10	$p = 0.0300$ **
- T7 vs. T5	$p = 0.0039$ **
- T7 vs. T6	$p = 0.0028$ **
- T8 vs. T11	$p = 0.0023$ **
- T8 vs. T6	$p = 0.0062$ **

En los 2 primeros días los hallazgos del análisis no paramétrico (Kruskal-Wallis) demostraron diferencias notables entre los tratamientos ($H = 44.836$, $gl = 10$, $p = 2.328 \times 10^{-6}$). Las comparaciones múltiples que utilizaron la prueba de Dunn y el ajuste Bonferroni evidenciaron diferencias significativas entre T11 (0 % de inhibición promedio) y T10 y T5 (100 % de inhibición promedio) ($p < 0.05$). Los tratamientos T10, T5, T6, T7, T8 y T9 lograron inhibición total del crecimiento micelial (100 % de PIC), mientras que T11 no evidenció eficacia, con un promedio de (0 % de PIC) (Figura 1). Dhami y Maharjan (2023) menciona que el carbendazim es efectivo para inhibir el crecimiento micelial de *R. solani*; así mismo, Zhang et al. (2022) afirman que afecta la membrana celular y el equilibrio de nutrientes a nivel intracelular, lo cual afecta el metabolismo del hongo. Por su parte, Sigdel et al. (2022) mencionan que el carbendazim presenta riesgos de toxicidad para el agroecosistema y la salud de las personas, por lo que es recomendable usar soluciones más amigables con el medio ambiente. Aziz et al. (2022) afirman que el extracto de canela es eficaz en la inhibición de *R. solani* después de 72 horas de incubación debido al (E)-cinamaldehído que inhibe las enzimas extracelulares de pectinasas y proteasas que degradan la pared celular del hongo.

El tercer día, Kruskal-Wallis mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($H = 45.633$, $gl = 10$, $p < 2.2 \times 10^{-6}$). Las comparaciones múltiples indicaron diferencias entre tratamientos como T10 y T11 ($p < 0.05$). T10, T7, T8 y T9 demostraron la mayor efectividad, pues alcanzaron inhibiciones promedio superiores al 96 %, mientras que T11 no mostró eficacia, ya que permaneció en un 0 % de inhibición. Los tratamientos T2, T3, T4, T5 y T6 presentaron inhibiciones moderadas, en las que destacó T2 (65.88 %), mientras que T1 alcanzó un 7.72 % (Figura 1). Mihajlovic et al. (2020) mencionan que iprodiona es muy eficaz en el control de *R. solani*, y que se requiere baja concentración para inhibir el crecimiento del micelio del hongo; además, fue el más efectivo con un EC50 de 0.43 mg/l.

El cuarto día la prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias altamente significativas ($H = 58.126$, $gl = 10$, $p < 0.0001$). Las comparaciones de Dunn revelaron diferencias entre tratamientos T10, T7, T8 y T9 en relación con T11 ($p < 0.0001$), ya que alcanzó una inhibición cercana al 100 %, mientras que T11 no mostró eficacia (0 %). A su vez, los tratamientos intermedios (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T12) mostraron una eficacia limitada, con promedios de 9.08 % a 54.93 % (Figura 1). Maaoui et al. (2024) mencionan que la azoxistrobina presenta una eficacia limitada para el control de *R. solani*, lo que evidencia una actividad antifúngica reducida en ensayos *in vitro*.

El quinto día Kruskal-Wallis evidenció diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($H = 59.667$, $gl = 10$, $p < 0.0001$). Las comparaciones múltiples de Dunn revelaron diferencias significativas entre los tratamientos de alta eficacia del T10 y T7, que lograron inhibición del 100 %. En contraste, T11 resultó ineficaz, con 0 %. Los tratamientos intermedios (T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9) presentaron inhibiciones que variaron entre 6.45 % y 99.37 % (Figura 1). Según Aziz et al. (2022) el extracto de canela ha inhibido por completo el crecimiento de *R. solani* al ser aplicado en concentraciones que oscilan entre 300 ppm y 450 ppm luego de 72 horas de incubación *in vitro*.

El análisis del sexto día, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, reveló diferencias significativas entre los tratamientos ($H = 58.418$, $gl = 10$, $p < 0.0001$). Las comparaciones de Dunn mostraron diferencias significativas entre T11 y los tratamientos más eficaces, como T10 y T7, los cuales alcanzaron una inhibición total (100 %), mientras que T11 no mostró eficacia (0 %). T8 (98.67 %) y T9 (99.43 %) fueron eficaces, aunque ligeramente inferiores a T10 y T7. Los tratamientos restantes mostraron eficacias que oscilaron entre 5.18 % y 56.10 % (Figura 1).

Sahoo (2020) afirma que el carbendazim es eficaz para el control de *R. solani* en pruebas de campo y laboratorio *in vitro*, puesto que inhibe totalmente el crecimiento del micelio a concentraciones de 100 ppm. Por su parte, la iprodiona es efectiva en

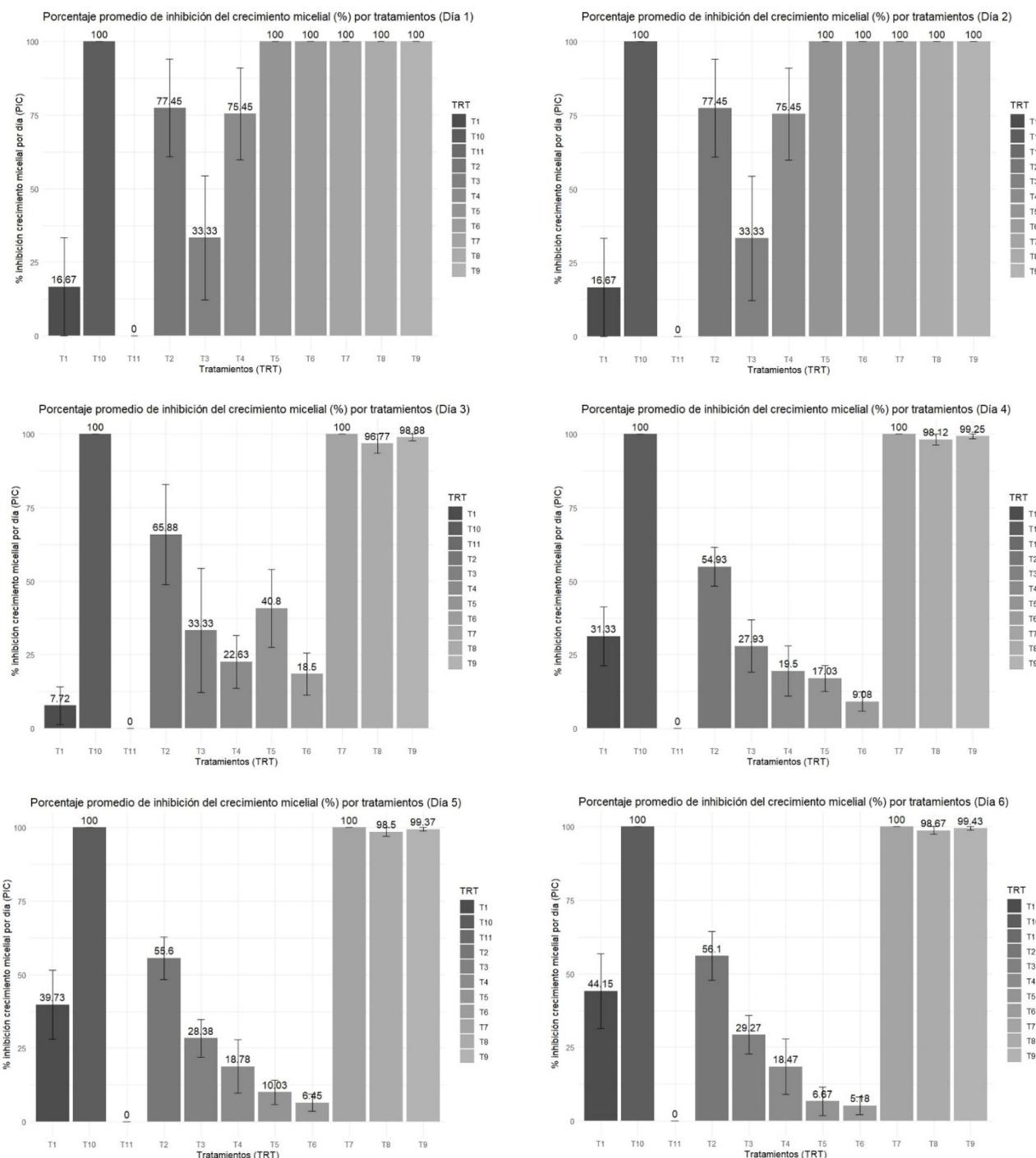


Figura 1. Porcentaje promedio de inhibición del crecimiento micelial (%) de *Rhizoctonia solani* bajo diferentes tratamientos (T1-T11) evaluados durante 6 días.

bajas concentraciones, pero el uso prolongado de ambos puede llevar a que el patógeno desarrolle resistencia.

El último día, Kruskall-Wallis mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($H = 58.008$, $gl = 10$, $p < 0.0001$). T10 y T7 alcanzaron inhibición total (100 %), con lo que se consolidaron como los más efectivos; mientras que T8 (98.45 %) y T9 (99.7 %) fueron alternativas cercanas (Figuras

2 y 3). En contraste, el T2 (51.95 %) y T1 (38.68 %) mostraron inhibición moderada; mientras que T3, T4, T5 y T6 no superaron el 16 % (Figuras 2 y 4). Por otra parte, Mihajlovic et al. (2020) mencionan que la iprodiona se descompone de manera acelerada en condiciones *in vitro*, en el suelo y sobre las hojas de las plantas, debido a su corto periodo de carencia, que varía entre 7 a 14 días. Ciertos microorganismos del suelo tienen la capacidad de descomponer el fungicida con mayor facilidad, pero existe el riesgo

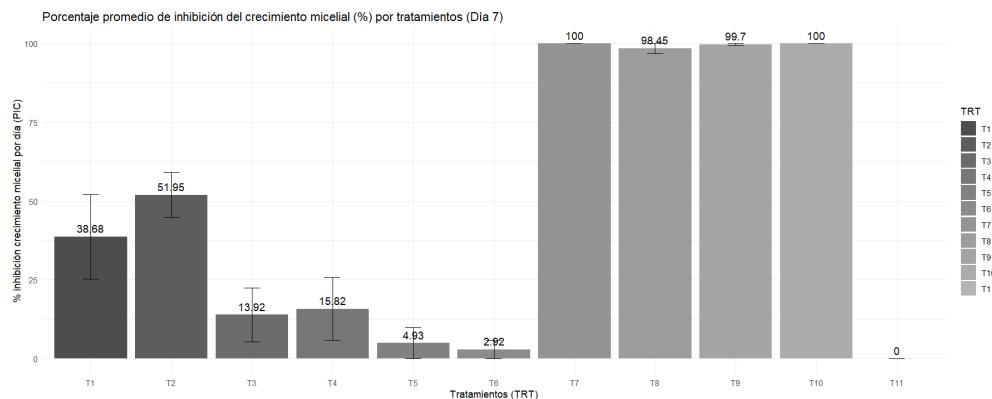


Figura 2. Porcentaje promedio de inhibición del crecimiento micelial (%) de *Rhizoctonia solani* en respuesta a diferentes tratamientos (T1-T11), evaluados el último día del experimento.

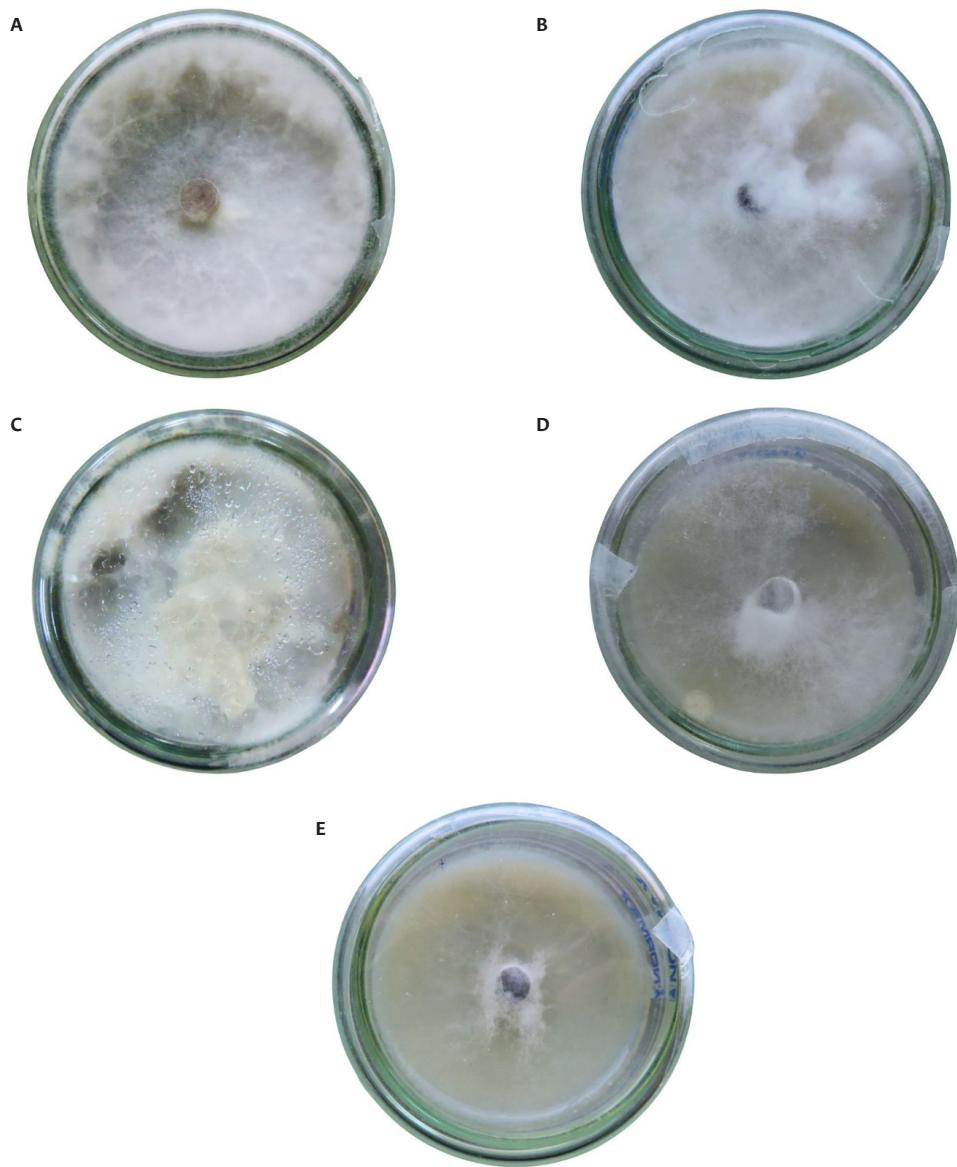


Figura 3. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PIC) de *Rhizoctonia solani* en el séptimo día de evaluación de tratamientos con menor eficacia: A (T10), B (T7), C (T9), D (T8), E (T2).

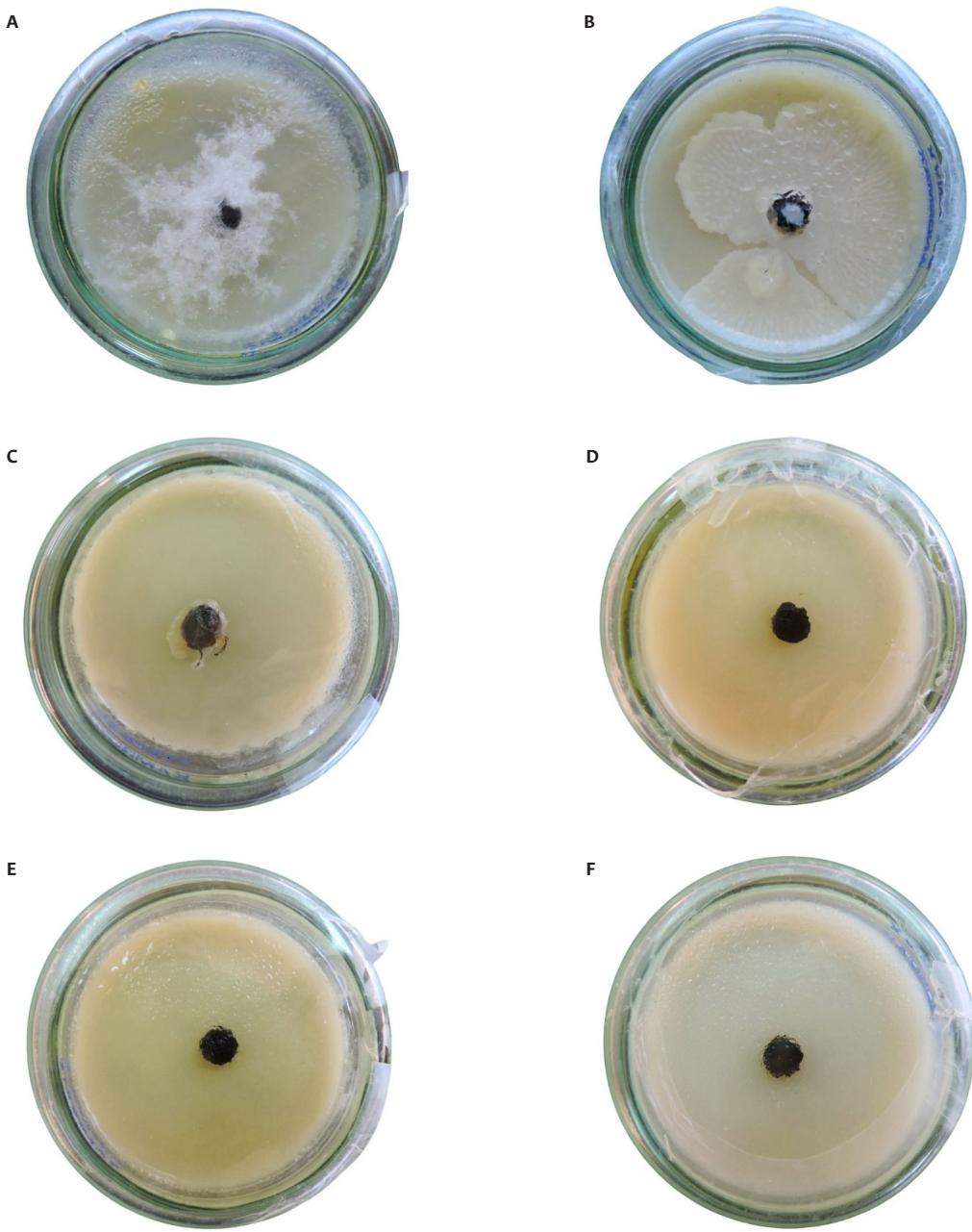


Figura 4. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PIC) de *Rhizoctonia solani* en el séptimo día de evaluación de tratamientos con mayor eficacia: A (T1), B (T4), C (T3), D (T5), E (T6), F (T11).

que el uso excesivo de ipodriona pueda alterar la población microbiana del suelo, lo que afectaría la disponibilidad de macro y micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

Conclusiones

Los hallazgos obtenidos sugieren que, de los tratamientos evaluados, la iprodiona demostró la mayor eficacia en el control de *R. solani* en *U. tuberosus* durante la poscosecha, seguida por

azoxistrobina y el extracto natural de canela. Estos resultados se obtuvieron a partir de un inóculo homogéneo, preparado mediante la mezcla equitativa de aislamientos provenientes de 3 localidades productoras, lo que permite representar la población combinada del patógeno bajo condiciones reales de almacenamiento masivo en la región. Por tanto, estos tratamientos constituyen opciones viables y recomendables para el manejo sanitario del hongo en este contexto agrícola. Los procedimientos implementados comprendieron la recolección de los tubérculos, su desinfestación y el aislamiento

del patógeno, seguido de la aplicación de diversos tratamientos bajo condiciones controladas de laboratorio. La evaluación de los resultados se llevó a cabo con pruebas estadísticas de Kruskal-Wallis y comparaciones múltiples con la prueba de Dunn, lo que permitió identificar diferencias significativas de los tratamientos en cuanto a la inhibición del crecimiento micelial.

En conclusión, la iprodiona es una alternativa óptima y eficiente para el control efectivo de *R. solani* en los tubérculos de *O. tuberosus* en posocosecha, mientras que el extracto de canela, a pesar de su potencial de control en los primeros días, presenta restricciones a largo plazo, lo que lo convierte en una alternativa complementaria dentro de un enfoque integrado de manejo de enfermedades. Estos resultados aportan información relevante y aplicable para mejorar la conservación y calidad del tubérculo en la región de estudio.

Referencias

- Agroactivo. (2021). Ficha técnica carbendazim [Ficha técnica]. Agroactivo. <https://agroactivocol.com/wp-content/uploads/2020/09/Carbendazim.pdf>
- Avalos-Gavilla, Anabel, Morales-Romero, Lilian M., & Rojas-Moya, Xiomara. (2019). Actividad antifúngica in vitro del extracto acuoso de *Psidium cattleianum* Sabine frente a *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. Revista de Protección Vegetal, 34(2), . Epub 16 de noviembre de 2019. Recuperado en 09 de septiembre de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-2752201900020009&ln=g-es&tlang=es_1
- Aziz, S.; Abo-shady, A.; Ibrahim, M. y Helmy, M. (2022). Inhibition of rhizoctonia solani growth and its extracellular hydrolytic enzymes by different extracts of cinnamon (*Cinnamomum cassia*) and black cumin seeds (*Nigella sativa*). Arab Universities Journal of Agricultural Sciences, 30(1), 1-18. <https://doi.org/10.21608/ajs.2022.92048.1410>
- Bragard, C.; Dehnen-Schmutz, K.; Di Serio, F.; Gonthier, P.; Jacques, M.; Jaques Miret, J. A.; Justesen, A. F.; MacLeod, A.; Magnusson, C. S.; Milonas, P.; Navas-Cortes, J. A.; Parnell, S.; Potting, R.; Reignault, P. L.; Thulke, H.; Van der Werf, W.; Vicent Civera, A.; Zappalà, L.; Lucchi, A.; Urek, G.; Gómez, P.; Mosbach, O.; Maiorano, A.; De la Peña, E. y Yuen, J. (2021). Commodity risk assessment of *Ullucus tuberosus* tubers from Peru. EFSA Journal, 19(3), e06428. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6428>
- Buskila, Y.; Tsror Lahkim, L.; Sharon, M.; Teper-Bamnolker, P.; Holczer-Erlich, O.; Warshavsky, S.; Ginzberg, I.; Burdman, S. y Eshel, D. (2011). Postharvest dark skin spots in potato tubers are an oversuberization response to Rhizoctonia solani infection. Phytopathology, 101(4), 436-444. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-10-0251>
- CABI. (2019). *Ullucus tuberosus* (ulluco). CABI Compendium, 55568. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.55568>
- Chavarro-Mesa, E.; Herrera-Blanco, N. A.; Beltrán-Acosta, C. R.; Cotes-Prado, A. M. y Ángel-Díaz, J. E. (2021). Genetic diversity of Rhizoctonia solani AG-3PT, the etiological cause of stem canker and black scurf in Colombian potatoes. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 22(3), e1888. https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL22_NUM3_ART:1888
- Dhami, G. y Maharjan, D. (2023). In vitro evaluation of different chemical fungicides for the control of *Rhizoctonia solani* Kuhn. Journal of the Plant Protection Society, 8(1), 108-114. <https://doi.org/10.3126/jpps.v8i1.56452>
- Erdevil, A. Z. y Erkilig, A. (2022). Investigation of chemical and biological control possibilities of stem canker and black scurf (*Rhizoctonia solani*) diseases in potatoes. Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 27(2), 253-265. <https://doi.org/10.37908/mkutbd.1080205>
- Fernández-Ortuño, D.; Grabke, A.; Li, X. y Schnabel, G. (2015). Independent emergence of resistance to seven chemical classes of fungicides in *Botrytis cinerea*. Phytopathology, 105(4), 424-432. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-14-0161-R>
- González, R.; Martínez, D. y Pérez, L. (2021). Evaluación de dosis de extracto etanólico de canela más agua ozonificada sobre el manejo de enfermedades foliares en banano. Agricultura y Sociedad, 13(2), 78-85. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/464>
- Jacobelis, W.; Aires, E. S.; Ferraz, A. K. L.; Marques, I. C. da S.; Freitas, F. G. B. F.; Silva, D. M. R.; Ono, E. O. y Rodrigues, J. D. (2023). Application of strobilurins and carboxamides improves the physiology and productivity of tomato plants in a protected environment. Horticulturae, 9(2), 141. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020141>
- Kiptoo, J. J.; Abbas, A.; Bhatti, A. M.; Usman, H. M.; Ali Shad, M.; Umer, M.; Atiq, M. N.; Alam, S. M.; Ateeq, M.; Khan, M.; Peris, N. W.; Razzaq, Z.; Anwar, N. y Iqbal, S. (2021). *Rhizoctonia solani* of potato and its management: A review. Plant Protection, 5(3), 157-169. <https://doi.org/10.33804/pp.005.03.3925>
- Maaoui, M.; Tarhouni, B. y Djébali, N. (2024). Sensitivity of *Rhizoctonia solani* to fertilizers and fungicides and their synergistic effects. Plant Pathology, 74(2), 378-388. <https://doi.org/10.1111/ppa.14024>
- Mahadevan, N.; Fernanda, R.; Kouzai, Y.; Kohno, N.; Nagao, R.; Nyein, K. T.; Watanabe, M.; Sakata, N.; Matsui, H.; Toyoda, K.; Ichinose, Y.; Mochida, K.; Hisano, H. y Noutoshi, Y. (2025). Distinct infection mechanisms of *Rhizoctonia solani* AG-1 IA and AG-4 HG-I+II in *Brachypodium distachyon* and Barley. Life, 15(2), 235. <https://doi.org/10.3390/life15020235>
- Mejdoub-Trabelsi, B.; Abdallah, R.; Jabnoun-Khiareddine, H.; Faker, A. y Daami-Remadi, M. (2022). Antagonizing impact of endophytic fungal isolates against potato black scurf (*Rhizoctonia solani*). International Journal of Phytopathology, 11(1), 9-18. <https://doi.org/10.33687/phytopath.011.01.3897>
- Mihajlovic, M.; Rekanovic, E.; Hrustic, J.; Grahovac, M.; Stevanovic, M. y Tanovic, B. (2020). Effects of fungicides and biofungicides on *Rhizoctonia solani*, a pathogen of pepper. Pesticidi i Fitomedicina, 35(2), 97-104. <https://doi.org/10.2298/pif2002097m>
- Mothibeli, K.; Lekota, M.; Liphotu, M.; Morojele, M. E. y Muzhinji, N. (2023). First report of *Rhizoctonia solani* associated with black scurf of potato tubers in Lesotho. International Journal of Phytopathology, 12(1), 87-97. <https://doi.org/10.33687/phytopath.012.01.4377>
- Neogram Perú. (2024). Forte 50 PM. Ficha técnica. [https://neoagrum.com.pe/assets/files/fichas-tecnicas/FT%20-%20FORTE%2050%20PM%20\(02\).pdf](https://neoagrum.com.pe/assets/files/fichas-tecnicas/FT%20-%20FORTE%2050%20PM%20(02).pdf)
- Peerzada; Viswanath, H. y Bhat, K. (2020). Integrated disease management (IDM) strategies to check the late blight (*Phytophthora infestans*) disease apart from boosting the yield of potato crop. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9(3), 219-225. <https://www.phytojournal.com/archives/2020.v9.i3.11263/integrated-disease-management-idm-strategies>

[to-check-the-late-blight-phytophthora-infestans-disease-apart-from-boosting-the-yield-of-potato-crop](#)

Romanazzi, G.; Orçonneau, Y.; Moumni, M.; Davillerd, Y. y Marchand, P. A. (2022). Basic substances, a sustainable tool to complement and eventually replace synthetic pesticides in the management of pre and postharvest diseases: Reviewed instructions for users. *Molecules*, 27(11), 3484. <https://doi.org/10.3390/molecules27113484>

Sahoo, T. (2020). Use of plant products, bio control agents, chemicals and organic amendments for integrated management of *Rhizoctonia solani* in cowpea. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences*, 8(4), 66-75. <https://doi.org/10.18782/2582-2845.7968>

Sigdel, S.; Ranabhat, S.; Bhandari, S.; Magar, P. B.; Shrestha, J. y Subedi, S. (2022). In vitro evaluation of different fungicides against *Rhizoctonia solani* and *Alternaria citri* infecting citrus. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 5(1), 138-149. <https://doi.org/10.3126/janr.v5i1.50703>

Zhang, Y.; Li, Q.; Wang, C. y Liu, S. (2022). Transcriptomic and metabolomic analyses reveal the antifungal mechanism of the compound phenazine-1-carboxamide on *Rhizoctonia solani* AG1IA. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1041733. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1041733>