



Revisión del estado actual de las investigaciones sobre *Rhizoctonia solani* Kühn*

Claudia Milena Quiroz Ojeda^a ■ Carlos Arturo Betancourth García^b ■ Claudia Elizabeth Salazar González^c

Resumen: *Rhizoctonia solani* Kühn es un hongo habitante natural del suelo que, en su estado patógeno, afecta cultivos de importancia económica, arvenses, pastos y forestales, por lo que es un microorganismo de estudio recurrente. El objetivo de esta revisión es presentar información actualizada de investigaciones hechas en torno a diferentes aspectos de *R. solani*. Los documentos científicos revisados correspondieron a artículos publicados entre 2017 y 2022 en revistas especializadas, y el análisis de la información se enfocó en cinco tópicos inherentes al patógeno: biología, genética, epidemiología, diagnóstico y control, que permitirán ampliar la visión que se tiene en los últimos años sobre el comportamiento de *R. solani* con relación a su variabilidad genética, a los efectos derivados de la interacción hospedante-patógeno-ambiente y a las posibilidades de manejo y control de las patologías que causa. La revisión hizo posible sostener que *R. solani* continúa siendo un patógeno relevante en todo el mundo, con alta variabilidad genética debida a sus grupos de anastomosis, lo que lo ha llevado a establecer relaciones parasíticas con diferentes hospedantes y en un amplio rango de condiciones ambientales, considerándose aún de difícil manejo. Por otra parte, se reportan avances en las técnicas de diagnóstico, caracterización biológica y molecular, y en la evaluación de diferentes medidas de control, facilitando la identificación, diseño y aplicación de estrategias adecuadas para el manejo integrado de las enfermedades causadas por *R. solani*.

Palabras clave: enfermedades; grupos de anastomosis; variabilidad genética y patogénica; manejo y control de Rhizoctonia

* Artículo de revisión.

- a Candidata a doctora en ciencias agrarias, máster en fitopatología, ingeniera agroforestal. Docente catedrática e investigadora en la Universidad de Nariño, Pasto, Nariño, Colombia.
Correo electrónico: cmqo2015@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0676-7427>
- b Ph. D. en ciencias agrarias, magíster en fitopatología, ingeniero agrónomo. Docente titular e investigador en la Universidad de Nariño, Pasto, Nariño, Colombia. Correo electrónico: cbet70@yahoo.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6573-4230>
- c Ph. D. en ciencias agrarias, magíster en ciencias agrarias, ingeniera agrónoma. Docente titular e investigador en la Universidad de Nariño, Pasto, Nariño, Colombia Correo electrónico: claudiasalazarg@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5461-2761>

Recibido: 17/11/2022 **Aceptado:** 22/06/2023 **Disponible en línea:** 29/12/2023

Cómo citar: Quiroz Ojeda, C. M., Salazar González, C. E., & Betancourth García, C. A. (2023). Revisión del estado actual de las investigaciones sobre *Rhizoctonia solani* Kühn. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 18(1), 61–74. <https://doi.org/10.18359/rfcb.6523>

Review of the Current State of Research on Rhizoctonia solani Kühn

Abstract: *Rhizoctonia solani* Kühn is a soil-inhabiting fungus that, in its pathogenic state, affects economically important crops, weeds, grasses, and forests, making it a recurrent subject of study. The aim of this review is to present updated information on research conducted on various aspects of *R. solani*. The reviewed scientific papers corresponded to articles published between 2017 and 2022 in specialized journals, and the analysis focused on five topics related to the pathogen: biology, genetics, epidemiology, diagnosis, and control. These topics will contribute to expanding the current understanding of *R. solani* behavior in recent years, including its genetic variability, the effects of host-pathogen-environment interactions, and the possibilities for management and control of the diseases it causes. The review indicates that *R. solani* remains a relevant pathogen worldwide, exhibiting high genetic variability due to its anastomosis groups, leading to parasitic relationships with different hosts under a wide range of environmental conditions, still considered challenging to manage. On the other hand, advances in diagnostic techniques, biological and molecular characterization, and the evaluation of different control measures are reported. These advances facilitate the identification, design, and application of suitable strategies for the integrated management of diseases caused by *R. solani*.

Keywords: Diseases; Anastomosis Groups; Genetic and Pathogenic Variability; Management and Control of *Rhizoctonia*

Revisão do estado atual das pesquisas sobre Rhizoctonia solani Kühn

Resumo: *Rhizoctonia solani* Kühn é um fungo habitante natural do solo que, em seu estado patogênico, afeta culturas de importância econômica, plantas daninhas, pastagens e florestas, tornando-se um micro-organismo de estudo recorrente. O objetivo desta revisão é apresentar informações atualizadas de pesquisas realizadas em torno de diferentes aspectos de *R. solani*. Os documentos científicos revisados correspondem a artigos publicados entre 2017 e 2022 em revistas especializadas, e a análise das informações concentrou-se em cinco tópicos inerentes ao patógeno: biologia, genética, epidemiologia, diagnóstico e controle, que permitirão ampliar a visão que se tem nos últimos anos sobre o comportamento de *R. solani* em relação à sua variabilidade genética, aos efeitos derivados da interação hospedeiro-patógeno-ambiente e às possibilidades de manejo e controle das patologias que ele causa. A revisão possibilitou afirmar que *R. solani* continua sendo um patógeno relevante em todo o mundo, com alta variabilidade genética devido aos seus grupos de anastomose, o que o levou a estabelecer relações parasitárias com diferentes hospedeiros e em uma ampla gama de condições ambientais, sendo considerado ainda de difícil manejo. Por outro lado, são relatados avanços nas técnicas de diagnóstico, caracterização biológica e molecular, e na avaliação de diferentes medidas de controle, facilitando a identificação, o design e a aplicação de estratégias adequadas para o manejo integrado das doenças causadas por *R. solani*.

Palavras-chave: doenças; grupos de anastomose; variabilidade genética e patogênica; manejo e controle de *Rhizoctonia*

Introducción

Rhizoctonia solani Kühn (teleomorfo *Thanatephorus cucumeris*) es un agente fitopatógeno que causa afectaciones en varios cultivos de importancia económica alrededor del planeta, entre estos, la papa [1], [2], la sandía [3], el tomate [4], el arroz [5], [6], el pimiento [7] y la soya [8]. Es por eso que, *R. solani* continúa siendo estudiado en diferentes partes del mundo, como lo reportan varios autores [1], [9]–[12].

Los estudios se centran en aspectos relacionados con su diversidad y variabilidad genética [1], [13]; caracterización morfológica, patogénica y molecular [2], [14]; grupos de anastomosis (AG) y subgrupos [4], [15]; nuevos hospedantes [16]–[18]; respuestas del hospedante [19]; evaluación de ingredientes activos para el control químico [20], [21]; enmiendas orgánicas [22]; identificación de controladores biológicos [9], [23]; búsqueda de resistencia [3], [24], entre otros.

Estos antecedentes han contribuido a ampliar el conocimiento de los atributos de *R. solani*. Sin embargo, en otros aspectos, la información existente aún no es suficiente para entender la interacción hospedante-patógeno-ambiente, los mecanismos de acción que causan afectaciones en los diferentes hospedantes y la epidemiología de las enfermedades, por lo que, la falta de conocimiento de estos ha dificultado el manejo y control de las patologías causadas por *R. solani*.

Lo expuesto, ha llevado a que *R. solani* sea objeto recurrente de investigación, puesto que, el ampliar la información conducirá a contar con las herramientas adecuadas para diseñar y aplicar planes de manejo integrado pertinentes para las enfermedades que se le atribuyen. Esto debido a que, *R. solani*, por su alta variabilidad genética, se expresa en diferentes vías.

Dicho lo anterior, se presenta esta revisión documental del estado actual de las investigaciones en torno a *R. solani*, enfocada en cinco tópicos de este patógeno: biología, genética, epidemiología, diagnóstico y control. Esto con el fin de aportar información que sirva de base para conocer los avances científicos que se han generado referente a su estudio y, también, con el propósito de identificar

vacíos de conocimiento que direccionen futuras investigaciones que posibiliten seguir aportando al conocimiento de *R. solani*.

Metodología

La revisión corresponde a una investigación de tipo documental, donde se siguió la metodología propuesta por Rizo [25], quien describe estas investigaciones como aquellas que tienen de material de trabajo la compilación de documentos escritos, que sirven como objetos de investigación, tal como lo afirma Kripta *et al.* [26] y que, después de ser analizadas, permiten generar conclusiones. Además, esta indagación es de enfoque cualitativo [27], ya que el análisis de la información se basó en la revisión selectiva de información científica, que se organizó, analizó e interpretó con el fin de aportar información actualizada, compilada y relevante referente al estado actual de *R. solani* a nivel mundial.

Estrategia de búsqueda y criterios de selección.

La búsqueda de los documentos se centró en revistas especializadas e indexadas en bases de datos de carácter científico, que se organizaron en dos grupos: el primer grupo correspondiente a *Scopus* y *ScienceDirect*, y el segundo grupo, a *Redalyc*, *Scielo* y *Google Scholar*. Se seleccionaron artículos publicados entre 2017 y 2022.

Los descriptores utilizados para la búsqueda fueron: *Rhizoctonia solani*, *diversity of R. solani*, *morphological characterization of R. solani*, *molecular characterization of R. solani*, *R. solani and pathogenicity*, *virulence of R. solani*, *AG of R. solani*, *R. solani and control or management*, *R. solani and biological control*, *epidemiology of R. solani*, *Thanatephorus cucumeris*, *black scab*, *stem canker*, *virulence of R. solani*, *cultural pattern of R. solani*, *physiological responses to infection of R. solani*. Los términos de búsqueda también se aplicaron en español, y con estos descriptores o palabras clave, junto con operadores booleanos, se diseñaron ecuaciones de búsqueda, lo que facilitó la revisión.

Para la escogencia de los documentos se hizo una exploración general de estos, poniendo el énfasis en el resumen, los resultados y las conclusiones, lo que condujo a que se eligieran aquellos artículos que aportaban información relevante sobre los tópicos seleccionados. La selección se hizo en inglés y en español, y una vez identificados los artículos, se subieron al gestor de referencias *Mendeley*, lo que facilitó la organización, consulta y referenciación de los documentos.

Análisis y discusión de resultados

Material recolectado

Se escogieron artículos científicos publicados en diferentes revistas en todo el mundo, que incluían variedad de temas relacionados con los tópicos en revisión, por lo que, al interior de estos, la información se distribuyó en categorías de análisis. Estas, a su vez, permitieron una mejor organización y análisis de la información. Así, en *biología*, se eligieron artículos relacionados con hospedantes y síntomas asociados, respuestas histológicas y fisiológicas debidas a la infección causada por *R. solani* y anastomosis hifal, que se refiere a los diferentes AG y subgrupos que presenta este patógeno; en *genética*, se seleccionó la caracterización morfológica y molecular, donde se describen las características macroscópicas y microscópicas que identifican a *R. solani* y a la variabilidad genética que determina las relaciones filogenéticas entre sus poblaciones, así como la caracterización patogénica, que se refiere a la evaluación del grado de virulencia de aislamientos de *R. solani* y a la identificación de genotipos resistentes; con respecto a *epidemiología*, se escogieron investigaciones que exponen el efecto de las variables ambientales sobre las enfermedades causadas por este patógeno; en *diagnóstico*, se puso el énfasis en modelos y marcadores moleculares para la identificación de *R. solani* y sus AG, y respecto al *control*, se revisaron documentos que reportan los diferentes métodos utilizados para el manejo de las enfermedades que causa *R. solani*, entre estos, los referentes a: control biológico, control químico,

control cultural y búsqueda o mejora de resistencia en los hospedantes.

Por otra parte, el proceso de selección mostró que la producción científica publicada en torno a *R. solani*, en los últimos años, se ha mantenido en el trascurso del periodo evaluado, citándose en esta revisión, en su mayoría, artículos publicados entre 2020 y 2021, lo que indica un interés creciente por parte de los investigadores en seguir aportando al conocimiento de *Rhizoctonia solani*.

Análisis de la información reportada en cada uno de los tópicos y sus categorías

Biología

Categoría *hospedantes y síntomas asociados a R. solani*

R. solani se caracteriza por causar enfermedades en un amplio rango de hospedantes por su condición de parásito necrotrófico, y a su vez, infectar diferentes órganos de la planta, entre estos, la corona [28], los tubérculos [1], las raíces [18], las hojas [29] y los tallos [4]. En interacción con sus hospedantes se evidencian síntomas, que son la expresión de la enfermedad, manifestándose alteraciones en el funcionamiento normal de la planta y que pueden ser observados a simple vista. Al respecto, [12] reportaron cancro del tallo y tizón aéreo de las hojas, causados por *R. solani* AG-3 PT en *S. tuberosum* y *S. phureja*. En *Lactuca sativa* L., infectada por *R. solani* AG 1-1B, se presenta pudrición en el pie de la planta, caracterizada por lesiones de color marrón dorado en las nervaduras de las hojas viejas o bajas, que son las que están en contacto con el suelo, donde se encuentra la fuente de inóculo [30]. Banerjee *et al.* [16] identificaron manchas marrón claro, asociadas a *R. solani*, en césped japonés (*Zoysia japonica* Steud.). En *Abelmoschus manihot* (L.) Medik, afectado por *R. solani* AG-4 HG-I, la enfermedad se manifiesta con disminución del crecimiento, marchitamiento de las hojas, pudrición de la corona y muerte [17]. *R. solani* en remolacha azucarera causa marchitamientos y clorosis de las hojas, lesiones marrones en la base del peciolo y, al final del cultivo, pudriciones de la raíz y corona [18].

Síntomas como amarillamiento y marchitamiento de hojas maduras, marchitamiento de hojas jóvenes y necrosis marrón en la corona se reportaron en *Brassica rapa* L. subsp. *rapa*, afectada por *R. solani* AG 2-1 [31]. En el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), *R. solani* causa lesiones irregulares y húmedas, de color marrón y de aspecto hundido, en los tallos de las plantas jóvenes y, en plantas maduras, marchitamiento y daño del tallo con cancro marrón en la corona de este [4]. Yang *et al.* [32] reportaron, en papa, lesiones secas, color marrón en el tallo de las plantas, destrucción total del floema en algunos de los tallos y exposición del xilema, sobre todo en papas inoculadas con AG-3.

Categoría respuestas fisiológicas e histológicas debidas a la infección causada por *R. solani*

En los patosistemas establecidos por *R. solani*, una vez que este ha penetrado y colonizado los tejidos del hospedante, suceden cambios fisiológicos, citológicos e histológicos que terminan afectando su funcionamiento. En referencia a esta condición, se reportó que la infección de *R. solani*, en la leguminosa *Medicago truncatula* Gaertn., redujo significativamente la producción de biomasa. Así mismo, disminuyó la asimilación neta de CO₂, la conductancia del mesófilo y la velocidad máxima de la carboxilación de la Rubisco, parámetros relacionados con la fotosíntesis. En el proceso de respiración, la captación total de oxígeno se redujo entre 16 % y 17 %, y la actividad de la vía citocromo oxidasa se disminuyó entre 20 % y 29 %. En el contenido de ácidos orgánicos, *R. solani* causó la disminución de fumarato y de citrato en 51 % [19]. Wei *et al.* [33] evaluaron 11 efectores putativos de *R. solani* AG1 IA, encontrando que solo uno, el RsIA, fue capaz de inducir muerte celular en *Nicotiana bentamiana* Domin., manifestando necrosis en las hojas. La inoculación de plántulas de sandía con *R. solani* indujo disminución de la tasa fotosintética y de los contenidos de clorofila α , clorofila b y carotenoides, en 38,8 %, 20,5 %, 63,4 % y 33,6 %, respectivamente [3].

Categoría anastomosis hifal

R. solani es un hongo con capacidad de anastomosis hifal, que se refiere al evento en el que hifas

genéticamente emparentadas se aparean y fusionan, permitiendo variabilidad genética. Esta característica ha sido utilizada para determinar los grupos de anastomosis (AG) presentes en este patógeno en distintos hospedantes. Sobre esto, aislamientos similares a *Rhizoctonia* obtenidos del pistacho (*Pistacia vera* L.) con síntomas de clorosis, pudrición marrón seca y manchas necróticas en las raíces y corona, se analizaron para identificar sus AG por medio de anastomosis hifal utilizando testigos con AG conocidos, que permitió determinar a *R. solani* AG-4 en tres de los aislamientos evaluados (Rs2, Rs7, Rs10) [34]. Manasikana *et al.* [5] evaluaron la diversidad de aislamientos de *R. solani* procedentes de tres variedades de arroz y registraron diversidad en las características culturales y morfológicas de los aislamientos, micelio multinucleado, con núcleos por hifa entre siete y ocho, anastomosis perfecta (C3) en la prueba de compatibilidad de los AG y AG-1 IA identificado en los aislamientos. Se encontraron los primeros reportes de *R. solani* AG 2-1 en *Alcea rosea* L., causando podredumbre de la corona, marchitamiento, retardo en el crecimiento y muerte de plantas [28]; *R. solani* AG-2-2 IV en césped japonés, en la India, produciendo parches alargados [16]; *R. solani* AG-4 HG-I en *Abelmoschus manihot* (L) Medik., provocando pudrición de la corona [17]; *R. solani* AG-1 IB causando tizón de la hoja y pudrición del peciolo en zanahoria [29], y *R. solani* AG2-2 IIIB en tubérculos de papa, provocando piel de elefante [11]. En [4], determinaron la presencia de AG-3-PT, AG-2-1, AG-2-2, AG-5 en aislamientos de *R. solani* procedentes de infecciones en tomate, siendo el AG-3-PT el de mayor distribución en las zonas principales de cultivo. Inokuti *et al.* [10] identificaron los AG de 67 aislamientos de *Rhizoctonia* sp. procedentes de papas con síntomas de costra negra, 49 correspondieron a *R. solani* y 18 a *Rhizoctonia* binucleada (BNR); los AG encontrados fueron: AG-3 PT, AG-4 HGI, AG-R, AG-2-1, AG-A y AG-1 IB. En [15], determinaron los AG y subgrupos de 45 aislamientos de *R. solani* obtenidos de 30 cultivos, que fueron previamente depositados en NARO Genebank del Japón, pero desconociendo los AG de 38 aislamientos y los subgrupos de siete. Hecha la evaluación, ellos encontraron 37 aislamientos multinucleados y ocho binucleados.

En los multinucleados se determinó la presencia de AG-4 HG-I, IA, AG-1 IB, AG-2-1, AG-2-2 IIIB, AG-2-2 LP, AG-2-2 subgrupo híbrido entre IIIB y IV, AG-3 PT, AG-4 subgrupo híbrido entre HG-I y HG-II, AG-4 HG-III, AG-5 y AG-6.

Genética

Categoría caracterización morfológica

La caracterización morfológica de *R. solani* implica determinar el patrón cultural y la condición nuclear, ya que *R. solani* es multinucleada; además, describir los esclerocios cuando estos se forman, e identificar las características microscópicas que permiten hacer una identificación inicial del hongo. En Colombia, 494 aislamientos de *R. solani* procedentes de municipios paperos de la región de Nariño, fueron agrupados por sus características macroscópicas, dando como resultado 5 agrupamientos. De cada uno de estos, se tomaron dos aislamientos representativos que fueron sometidos a caracterización morfológica. En cuanto a la hifa, se observaron ramificaciones en ángulo recto, septo distal cercano a la ramificación principal, constricción en la base de la ramificación, hifas pigmentas y multinucleadas. Las colonias exhibieron colores crema, marrón claro, marrón oscuro y salmón, con micelio afelpado y algodonoso, dispuesto en anillos simples y complejos, además de la formación de esclerocios [2]. Tiru *et al.* [35] evaluaron el efecto de diferentes medios de cultivo preparados con granos vegetales, con el fin de determinar el mejor medio de cultivo para el crecimiento micelial y la formación de esclerocios de *R. solani*. Los medios de cultivo fueron: Agar Dextrosa Arroz (RDA), Agar Dextrosa Maíz (MDA), Agar Dextrosa Remolacha (Btda), Agar Dextrosa Nutriente (NDA), Agar Dextrosa Papa (PDA), Agar Dextrosa Zanahoria (CDA), Agar Dextrosa Papa Maíz (MPDA), Agar Dextrosa Banano (BDA) y Agar Dextrosa Berenjena (BRDA). De estos, fue en el medio MPDA donde se registró el mayor crecimiento micelial y la formación de esclerocios. En este medio, el color del micelio fue blanco, de crecimiento abundante y de patrón de crecimiento disperso. Se contabilizaron 41 esclerocios por plato, que resultaron ser prominentes, negros y con exudado.

Colonias de color gris claro o marrón, con abundante crecimiento micelial, correspondientes a *R. solani* aislado de tomate y cultivado en Agar Extracto de Malta, fueron reportadas por [4]. En este caso, los aislamientos exhibieron las características típicas del hongo; todos fueron multinucleados. Además, de los 67 aislamientos evaluados, 89 % produjeron esclerocios color marrón oscuro a negro, que se formaron desde el centro hasta los bordes. En [6] observaron, en aislamientos de *R. solani* procedentes de arroz, hifas en ángulo recto, un septo cercano a la base de la ramificación y una ligera constricción en la base de esta, así como, presencia de células moniloides típicas y formación de esclerocios de forma irregular, además de su condición de multinucleados. Sumado a esto, los autores describieron colonias de color blanco y crema en colonias jóvenes, que se tornaron color marrón a medida que envejecieron; como también, formación de macroesclerocios y microesclerocios de diversos colores (blancos, marrón pálido y marrón oscuro) y patrón de distribución diverso. Colonias café claro a marrón, con formación de esclerocios que variaron en color, densidad y distribución, fueron reportadas por [14] en la caracterización morfológica de 60 aislamientos de *R. solani* obtenidos de papa.

Categoría caracterización molecular y filogenética

La caracterización molecular de *R. solani* ha permitido conocer la estructura genética de sus poblaciones, así como las relaciones de parentesco entre los aislamientos y AG. Este conocimiento contribuye a comprender, en mayor grado, la variabilidad genética de este patógeno y su efecto sobre los hospedantes. La amplificación por PCR y posterior secuenciación de la región ITS del rADN fue utilizada por [34] para determinar los AG presentes en siete aislamientos similares de *Rhizoctonia* que observadas microscópicamente presentaban hifas ramificadas en ángulo recto y colonias de color crema a marrón oscuro que formaban esclerocios. En este caso, la caracterización molecular identificó la presencia de *R. solani* AG-4 HGI en los aislamientos Rs2 y Rs10 y *R. solani* AG-4 en el aislamiento Rs7. El resto de aislamientos correspondieron a

Rhizoctonia binucleada. En [36] reportaron la secuenciación y el ensamblaje completo de *R. solani* AG-4 a partir del aislamiento Rhs4ca obtenido de hojas de pimiento enfermas. En el análisis determinaron 267 ARNs no codificantes y 11 592 genes, de estos, 2 488 están envueltos en las interacciones hospedante-patógeno. La diversidad genética de 13 aislamientos obtenidos de arroz con la enfermedad *tizón de la vaina*, causada por *R. solani*, fue determinada por caracterización molecular de la región ITS del ADN, encontrando alta relación genética con el aislamiento testigo AG-1 IA [5]. La diversidad genética de *R. solani* AG-3 PT fue evaluada por [12], donde se utilizaron 50 aislamientos provenientes de tubérculos de papa con síntomas de costra negra que, una vez sometidos a identificación molecular, permitieron confirmar que el AG-3 PT es el principal agente causal y origen etiológico de la costra negra en Colombia. Además, reportaron alta diversidad genética al interior de AG-3 PT. Al-Abedy *et al.* [13] evaluaron la variabilidad genética de ocho aislamientos de *R. solani* procedentes de papa, determinando, por comparación de las secuencias de nucleótidos, variabilidad genética entre estos y otros aislamientos de *R. solani* registrados en el Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI). En [14] concluyeron que existe alta diversidad genética y genotípica en las poblaciones de *R. solani* procedentes del centro y sur de Marruecos, como resultado de evaluar 60 aislamientos de este patógeno, obtenidos de tubérculos de papa con costra negra.

Categoría caracterización patogénica

Hacer una caracterización patogénica de *R. solani* conlleva, por una parte, a determinar el grado de virulencia de los aislamientos y las características de la manifestación de la enfermedad, y por otra, poder identificar hospedantes resistentes a las enfermedades que causa. En cuanto a esto, [2] reportaron, como resultados de pruebas de patogenicidad en papa, síntomas secundarios como amarillamientos, marchitamiento y reducción en el crecimiento de la planta y, como síntomas primarios, reducción de las raíces y lesiones necróticas en las puntas de estas en estolones y brotes. Así mismo, [37] hicieron pruebas de patogenicidad para

confirmar la virulencia de aislamientos identificados por medio de caracterización molecular, como *R. solani* AG-3. Los aislamientos fueron inoculados en tubérculos de papa al momento de la siembra y, 60 días después de la emergencia de las plantas, se determinó la presencia de los síntomas asociados al patógeno, como necrosis parcial de las raíces y costra negra en los nuevos tubérculos, debido a la formación de esclerocios. Esfahani [1] determinó la patogenicidad de 30 aislamientos de *R. solani* sobre plántula de papa procedentes de tubérculos-semilla certificados de la variedad Agria. Síntomas propios del cancro del tallo se presentaron 30 días después de la inoculación, comprobando la patogenicidad de los 30 aislamientos con grados de virulencia variable. En papa, 49 aislamientos de *R. solani* y 18 de *Rhizoctonia* binucleada resultaron patogénicos sobre esta, causando lesiones necróticas en los tallos subterráneos y difiriendo en agresividad, entre los AG evaluados [10]. La virulencia de *R. solani* en arroz fue evaluada por [6], comprobando que esta varía sin verse afectada por el origen de los aislamientos, además, no es consistente entre repeticiones del mismo aislamiento y no es influenciada por las características morfológicas. Seis aislamientos de *R. solani* recuperados de plantas enfermas de pimiento y tomate se probaron para ver su capacidad de causar mal del talluelo en preemergencia y postemergencia sobre pimiento cv. Beldi, por lo que se inoculó semilla y plántulas de pimiento cv. Beldi y Baklouti y se evaluó la habilidad de los aislamientos para causar pudrición de raíces. En ambos casos, los aislamientos resultaron patogénicos, causando enfermedad, tanto en la semilla, como en las plántulas de las variedades inoculadas [7].

Epidemiología

Categoría factores ambientales asociados a *R. solani*

Estudiar una enfermedad en plantas comprende, no solo el conocimiento del patógeno y del hospedante, sino también entender las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de las enfermedades, en particular, las causadas por *R. solani*. En *Lactuca sativa* L., infectada por *R. solani*

AG1-IB, las temperaturas cálidas y una alta humedad incrementan la severidad de la enfermedad, debido a que las lesiones se convierten rápidamente en podredumbre húmeda, empezando por el borde de las hojas y desplazándose hacia la cabeza [30]. En la India, [16] indicaron que el césped japonés (*Zoysia japonica* Steud.) presenta manchas circulares de color marrón claro causadas por *R. solani* cuando el césped entra de la estación cálida, a la dormancia en el invierno. Garibaldi *et al.* [17] precisaron que, en el otoño italiano, *A. manihot* muestra los síntomas asociados a *R. solani* AG-4 HG-I. En [38] refieren que *R. solani* es un patógeno sensible a diferentes condiciones ambientales y que, por eso, es importante estudiar la respuesta diferencial del hongo a la luz y a la oscuridad, pues esto ayuda a dilucidar los factores que regulan la patogenicidad. Por eso, ellos expusieron aislamientos de *R. solani* a periodos continuos de luz, de oscuridad y periodos alternados, con lo que comprobaron que la condición de alternancia fue la que tuvo un impacto significativo sobre los aislamientos, que exhibieron crecimiento abundante y formación de esclerocios adelantada, en comparación con los otros tratamientos. Así mismo, indujo un mayor número y peso de los esclerocios. Aislamientos de *R. solani* que fueron evaluados en diferentes niveles de temperatura y pH expresaron el mayor crecimiento micelial a 30 °C y pH 8. Por otra parte, a pH 7, presentaron la mayor producción de esclerocios [39].

Diagnóstico

Categoría modelos y marcadores moleculares para la identificación de *R. solani*

Sin duda, el éxito del manejo de enfermedades en plantas está condicionado por la correcta identificación del agente causante, lo que lleva a realizar un diagnóstico acertado de la etiología de las enfermedades presentes en un sistema de producción y, por lo tanto, a la generación de un plan de manejo adecuado que permita controlarlas o manejarlas. De ahí, que el conocimiento y uso apropiado de las técnicas de diagnóstico molecular es un aspecto primordial a tener en cuenta para tratar con las enfermedades causadas por *R. solani*.

En cuanto a esto, [40] aplicó ensayos basados en PCR múltiple para la detección rápida del AG-3 PT, por lo que se diseñaron cebadores específicos y se optimizó la temperatura de alineamiento y la concentración de los cebadores para mejorar la técnica. Los ensayos demostraron que la PCR múltiple, bajo esas condiciones, resultó ser altamente sensible y específica para los genes diana, incluso a bajas concentraciones de ADN. Así mismo, esta prueba detectó exitosamente a *R. solani* AG-3 presente en muestras de suelo y tubérculos de papa, por lo que se concluyó que la PCR múltiple puede ser utilizada para identificar a *R. solani* AG-3 en muestras de suelo y papa contaminadas con este patógeno [40]. La técnica de qPCR fue aplicada también por [30] para amplificar aislamientos de *R. solani* y *R. solani* AG1-IB, este último identificado como el principal AG causante de la pudrición del tallo de la lechuga en la región de Montérégie (Quebec). La secuenciación completa del genoma de *R. solani* AG-4 fue lograda por [36], utilizando tecnologías de secuenciamiento de tercera generación, representada por la combinación de datos de secuenciación de lectura larga de PacBio (*Pacific Biosciences*) y de extremo emparejado de Illumina, que permite corregir errores mediante lecturas cortas, convirtiéndose en un enfoque ampliamente utilizado para obtener genomas contiguos con una tasa de error baja. Análisis moleculares basados en PCR con cebadores específicos para AG-3 PT, RFLP (restricción enzimática de la región ribosomal) y RAMS (amplificación aleatoria de marcadores microsatélites), fueron utilizados para determinar la diversidad genética al interior de AG-3 PT, reportando alta diversidad al interior de este grupo [12]. Manasikana *et al.* [5] utilizaron cebadores universales ITS1 e ITS4 y PCR para realizar diagnóstico molecular y determinar las relaciones filogenéticas de aislamientos de *R. solani* procedentes de arroz, con lo que obtuvieron fragmentos de 600 a 700 pb, lo correspondiente a *R. solani*, y establecieron su relación genética con el AG-1A. Las regiones ITS1, ITS2 y 5.8S del rDNA fueron amplificadas con los cebadores ITS1 y ITS4 para la identificación de *R. solani* AG-3 obtenido de muestras de suelo, utilizando PCR en tiempo real [41]. En Irán, de 120 aislamientos obtenidos de papa con síntomas de

cancro de tallo, 30 fueron evaluados molecularmente, amplificando la ITS-rDNA con los marcadores universales ITS4 e ITS5, además de la utilización de un marcador específico para la determinación del AG-3 PT, RAPD (DNA polimórfico amplificado al azar) e ISSR (repetición de secuencias discretas) para analizar genéticamente los polimorfismos de los aislamientos. Como resultado, los 30 aislamientos se agruparon en un clúster que incluían referentes de *R. solani*, y se confirmó la identidad de los 30 aislamientos [1]. Aislamientos de *R. solani* procedentes de tomate fueron caracterizados molecularmente por medio de análisis PCR y RFLP, donde se utilizó, para la amplificación de la región ITS por PCR, los marcadores RS1 y RS4, y para RFLP, las enzimas discriminantes *MseI*, *AvaII* + *HincII* y *MunI*. Estos procedimientos identificaron a G-3-PT, AG-2-1, AG-2-2, AG-5 y AG-4-HGI en los aislamientos evaluados [4].

Control de las enfermedades causadas por R. solani

Categoría control biológico

El control biológico es una estrategia para el manejo de enfermedades en plantas que ha tomado importancia en la actualidad, porque permite disminuir la incidencia de las enfermedades de una forma ecológicamente amigable. El control biológico de *R. solani* hace uso de microorganismos [42]–[44], enmiendas orgánicas [45], entre otros. Para [46], entender los cambios a nivel molecular ocurridos en los hongos fitopatógenos, por efecto de los controladores biológicos, es importante para mejorar el biocontrol. Por eso, ellos dilucidaron el efecto de los compuestos húmicos durante la supresión del crecimiento de *R. solani*. En el ensayo, se adicionó 50 mg/L de los compuestos húmicos en los cultivos del patógeno y se comparó con un testigo sin adición de ellos. Pasado el periodo de evaluación, se encontró que el crecimiento micelial de *R. solani* fue inhibido en 24,88 %, también se evidenció un micelio ramificado, superpuesto y de aspecto rugoso. Además, el análisis molecular de secuencias del ARN reveló 175 genes expresados diferencialmente, en comparación con el testigo, todos ellos asociados con diferentes procesos moleculares que se

efectúan en *R. solani* y que se vieron afectados por la actividad biofungicida de los compuestos húmicos [46]. En [47] evaluaron, *in vitro*, el efecto inhibitorio de una cepa del género *Bacillus*, identificada más adelante como *B. subtilis* Hussaint-AMU, sobre aislamientos de *R. solani* obtenidos de tubérculos de papa. Se encontró que *Bacillus* disminuyó significativamente el crecimiento del hongo, con porcentajes de inhibición del crecimiento radial de *R. solani* del 59,60 %, por lo que, concluyeron que el aislamiento *B. subtilis* Hussaint-AMU es muy efectivo en contra de *R. solani* y puede ser explorado como una estrategia en manejo integrado de enfermedades. En Célebes (Indonesia), se estudió el efecto del fertilizante biológico “Biofresh”, un producto microbiano local compuesto por *Bacillus subtilis* ST21e, *B. cereus* ST21b y *Serratia* sp. SS29a, combinado con abono orgánico tipo bocashi, sobre el tizón de la vaina en maíz causado por *R. solani* [42]. Estos investigadores encontraron que la combinación de Biofresh, Bocashi Plus y 50 % de fertilizante inorgánico indujeron resistencia en variedades de maíz para el tizón de la vaina por aumento en la actividad del ácido salicílico y la enzima peroxidasa, lo que constituyó un control efectivo de la enfermedad. *Trichoderma asperelloides* fue evaluado como antagonico de *R. solani* Rs33 aislado de tomate (*S. lycopersicum* L.) con síntomas de pudrición de raíz, se comprobó el efecto protector y curativo de *T. asperelloides*, puesto que, este hongo, en condiciones *in vitro*, mostró actividad antagonica sobre *R. solani* del 83,33 % y, en condiciones de invernadero, disminuyó el índice de la enfermedad como resultado de inducir resistencia sistémica en el tomate [48]. Garrido *et al.* [49] valoraron la actividad micoparasítica de varios aislamientos de *Trichoderma* sp. sobre *R. solani* procedente de frijol Caupí (*Vigna unguiculata* L.) afectado por *chupadera fungosa*, encontrando que *T. harzianum* y *T. asperelum* presentaron menor porcentaje de incidencia de la enfermedad por la actividad micoparasítica ejercida sobre *R. solani*. En [43] reportaron que *Glomus* spp., una micorriza vesículo arbuscular aplicada a plántulas de papa infectadas por *R. solani*, aumento la longitud de las plántulas, su peso seco y fresco, el peso seco y fresco de la raíz, y el número y peso de los tubérculos. Además, precisaron que *G. hoi* y *G.*

mosseae mostraron el mayor control sobre *R. solani*, promoviendo una disminución en la apariencia del cancro causado por este patógeno. Las enmiendas orgánicas han sido utilizadas en los agroecosistemas como promotoras del crecimiento de las plantas y en el control de enfermedades causadas por patógenos habitantes del suelo, como lo es *R. solani* [45]. Caro *et al.* [23] aislaron 49 cepas de actinomicetes de la rizósfera de campos de cultivo de papa y evaluaron su capacidad antagónica frente a patógenos que causan enfermedades en plantas, entre ellos, *R. solani*. De los actinomicetes probados, el 55,1 % tuvo efecto antagónico sobre este patógeno, comprobando así la capacidad antagónica de actinomicetes rizosféricos.

Análisis de la categoría control químico

De las alternativas para el control de las enfermedades que causa *R. solani*, el control químico es de las medidas más utilizadas. En este aspecto, [50] probó, *in vitro*, diferentes productos químicos (Ácido acético+ZnSo₄, Agallol, Emissan, Thiram, Indophil M-45, Bavistin y Companion) para evaluar su efecto sobre la germinación y crecimiento de los esclerocios de *R. solani*, siendo la variable evaluada el diámetro de la colonia. Como resultado, se encontró que la mayoría de los productos químicos, en las dosis y tiempos examinados, inhibieron completamente el crecimiento micelial, a excepción del Ácido acético + Zinc sulfato, Thiram e Indophil M-45. En [51] evaluaron Penthiopyrad, en combinación con Azoxystrobin, como alternativa para controlar el mal del talluelo causado por *R. solani* en remolacha azucarera, precisando que, Penthiopyrad es efectivo como tratamiento a la semilla y proporciona una protección temprana de plántulas, mientras que Azoxystrobin puede ser aplicado después de la plantación, como protección para las plantas adultas. Zhao *et al.* [20] reportaron un nuevo fungicida, Pyrazole carboxamide con complemento de Diarilamina, que resultó con buena actividad antifúngica contra el tizón de la vaina del arroz causado por *R. solani*.

Análisis de la categoría control cultural

Las enfermedades en plantas también pueden ser controladas por medio de prácticas de manejo de

los agroecosistemas que generen condiciones desfavorables para el establecimiento de los patógenos. En cuanto a esto, se evaluó la incorporación de especies vegetales, como abonos verdes, para determinar su efecto benéfico en la disminución de *R. solani* en papa. Entre las especies vegetales estudiadas estuvieron la avena (*Avena sativa* L.), la cebada (*Hordeum vulgare* L.), la mostaza (*Sinapsis alba* L.) y el nabo forrajero (*Rhaphanus raphanistrum* L.), encontrando que, en etapa de emergencia total y tuberización, los abonos disminuyeron la incidencia de costra negra, y se destacó el efecto de la cebada por encima del de las otras especies. Además, se observaron incrementos en la producción de los tubérculos [22]. La desinfección biológica del suelo (BSD) fue evaluada por [9] para determinar su efecto sobre *R. solani* en papa. Este método depende de adicionar materia orgánica al suelo como fuente de carbono para favorecer el crecimiento de microorganismos. En este ensayo, fue el salvado de trigo lo que disminuyó significativamente la severidad del cancro del tallo y la costra negra causados por el *R. solani*, efecto que se incrementó en el tiempo.

Análisis de la categoría búsqueda o mejora de la resistencia en los hospedantes

La resistencia genética de los hospedantes ha sido la medida de control de enfermedades por excelencia, por ser, en términos económicos, sociales y ambientales, la más pertinente para el manejo de fitopatógenos. Considerando lo anterior, el análisis de imágenes satelitales fue utilizado como una herramienta para la identificación de materiales resistentes de *Schedonorus arundinaceus* (Schreb.) Dumort. ante el ataque de *R. solani*, causante de mancha marrón en esta especie, debido a que los síntomas causados por *R. solani* y *R. zea* en *S. arundinaceus* son indistinguibles en campo, sin embargo, varían en su distribución geográfica. Esta condición contribuyó a observar la variabilidad geográfica de cultivares mejorados de arroz en su respuesta de resistencia a la mancha marrón, por medio del uso de las imágenes digitales [24]. En [3] evaluaron el efecto de hongos micorrízicos arbusculares para vegetales (VT) como una medida para mejorar la resistencia de la sandía al mal

del talluelo causado por *R. solani*. La inoculación de las plántulas de sandía con VT disminuyó la incidencia de la enfermedad en comparación con el testigo, siendo de 18,4 % y 45,7 %, respectivamente. Así mismo, la colonización de los VT mejoró significativamente la tasa fotosintética, el contenido de clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides y mitigó el estrés oxidativo causado por *R. solani*. Finalmente, la edad de las plantas de la remolacha azucarera se analizó para determinar la respuesta de las plantas a *R. solani* conforme aumentan su edad. En los ensayos se utilizaron variedades susceptibles, moderadamente resistentes y resistentes, desde estado de semilla hasta plantas de 10 semanas de edad, inoculadas al mismo tiempo con *R. solani* AG2-2 que, al cabo de 28 días, fueron arrancadas para evaluar la severidad de la enfermedad en las raíces. Como resultados, se encontró que todos los cultivares fueron altamente susceptibles a tres semanas de edad y que, a las cuatro y cinco semanas, los cultivares resistentes comenzaron a mostrar significativamente la resistencia al patógeno. Concluyendo que, independientemente del nivel de resistencia asignado a los cultivares, estos son altamente susceptibles por debajo de las cuatro semanas de edad y que, por lo tanto, para controlar a *R. solani* es necesario un tratamiento químico a la semilla como medida complementaria a la resistencia de las variedades [52].

Conclusiones

Revisada y analizada la información científica de *R. solani* publicada en el periodo 2017-2022, se concluye que este patógeno aún continúa siendo objeto de amplio estudio, por el hecho de causar enfermedades en varios cultivos de importancia económica en todo el mundo, y que, de no manejarse, generan grandes pérdidas económicas en los sistemas de producción agrícola.

Así mismo, el conocimiento generado por las diferentes investigaciones reportadas en esta revisión contribuye al entendimiento de la relación que *R. solani* establece con sus hospedantes desde aspectos biológicos, genéticos y patogénicos, lo que es importante para comprender la interacción hospedante-patógeno en los diferentes patosistemas.

Sin embargo, también es importante recalcar que hay categorías dentro de los tópicos analizados donde se debe ampliar la investigación, como es el caso de los aspectos epidemiológicos, el control cultural y la búsqueda de genotipos resistentes, ya que la consecución de documentación científica en esos aspectos, para la ventana de tiempo analizada, resultó escasa.

La revisión también permitió evidenciar innovaciones en cuanto a metodologías para la identificación y caracterización del *R. solani* y sus AG, información que es fundamental para el conocimiento del microorganismo y para el diseño de planes exitosos de manejo integrado para las enfermedades que causa este patógeno. Al respecto, se observaron avances en investigaciones relacionadas con el control biológico de *R. solani*, lo que es importante si se propende por medidas de control amigables con el medioambiente y sistemas de producción sostenibles.

Referencias

- [1] M. N. Esfahani, "Genetic variability and virulence of some Iranian *Rhizoctonia solani* isolates associated with stem canker and black scurf of potato (*Solanum tuberosum* L.)", *J Plant Prot Res*, vol. 60, n.º 1, pp. 21–30, 2020, DOI: 10.24425/jppr.2020.132201.
- [2] C. Betancourth, B. Castro, C. Quiroz, B. Sañudo, C. Florez and C. Salazar, "Morphology and pathogenicity of *Rhizoctonia solani* Kühn associated with potato black scurf in Nariño (Colombia)", *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 15, n.º 1, pp. 1–20, 2021, DOI: 10.17584/rcch.2021v15i1.11821.
- [3] M. Wu *et al.*, "Arbuscular mycorrhizal fungi for vegetable (VT) enhance resistance to *Rhizoctonia solani* in watermelon by alleviating oxidative stress", *Biological control*, vol. 152, n.º 104433, pp. 1–11, 2021, DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104433.
- [4] A. S. Gondal, A. Rauf and F. Naz, "Anastomosis Groups of *Rhizoctonia solani* associated with tomato foot rot in Pothohar Region of Pakistan", *Sci Rep*, vol. 9, n.º 3910, pp. 1–12, 2019, DOI: 10.1038/s41598-019-40043-5.
- [5] A. Manasikana, S. Sulandari and A. Priyatmojo, "Diversity of *Rhizoctonia solani* Isolates of Rice Varieties of Ciharang, IR 64, Mekongga, and Situ Bagendit", *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, vol. 17, n.º 4, pp. 141–150, 2021, DOI: 10.14692/jfi.17.4.141-150.

- [6] S. D. Desvani, I. B. Lestari, H. R. Wibowo, S. Supyani, S. H. Poromarto and H. Hadiwiyono, "Morphological characteristics and virulence of *Rhizoctonia solani* isolates collected from some rice production areas in some districts of Central Java", *AIP Conf Proc*, vol. 2014, n.º 020068, pp. 1–8, 2018, DOI: 10.1063/1.5054472.
- [7] S. Mannai, H. Jabnoun-Khiareddine, B. Nasraoui and M. Daami-Remadi, "Rhizoctonia Root Rot of Pepper (*Capsicum annuum*): Comparative Pathogenicity of Causal Agent and Biocontrol Attempt using Fungal and Bacterial Agents", *J Plant Pathol Microbiol*, vol. 09, n.º 02, pp. 1–9, 2018, DOI: 10.4172/2157-7471.1000431.
- [8] O. O. Ajayi-Oyetunde and C. A. Bradley, "Identification and Characterization of *Rhizoctonia* Species Associated with Soybean Seedling Disease", *Plant Dis*, vol. 104, n.º 4, pp. 520–533, 2017, DOI: 10.1094/PDIS-06-16-0810-RE.
- [9] M. Hashi and T. Kareem, "Effects of Biological Soil Disinfestation on *Rhizoctonia solani* Causal Agent of Potato Black Scurf and Stem Canker Disease", *Indian Journal of Ecology*, vol. 47, n.º 10, pp. 214–219, 2020.
- [10] E. M. Inokuti, A. Reis, P. C. Ceresini, M. P. S. Câmara and S. J. Michereff, "Diversity and pathogenicity of anastomosis groups of *Rhizoctonia* associated with potato stem canker and black scurf diseases in Brazil", *Eur J Plant Pathol*, vol. 153, n.º 4, pp. 1333–1339, 2019, DOI: 10.1007/s10658-018-01627-5.
- [11] S. Gush, N. Muzhinji, M. Truter and J. E. Van der Waals, "First report of *Rhizoctonia solani* AG 2-IIIB causing elephant hide on potato tubers in South Africa", *Plant Dis*, vol. 103, n.º 7, p. 1776, 2019, DOI: 10.1094/PDIS-10-18-1850-PDN.
- [12] E. Chavarro-Mesa, N. Herrera-Blanco, C. Beltrán-Acosta, A. Cotes-Prado and J. Ángel-Díaz, "Genetic diversity of *Rhizoctonia solani* AG-3PT, the etiological cause of stem canker and black scurf in Colombian potatoes", *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, vol. 22, n.º 3, pp. 1-24, 2021, DOI: 10.21930/RCTA.VOL22_NUM3_ART:1888.
- [13] A. N. Al-Abedy, F. A. Al-Fadhal, M. H. Kareem, Z. Al-Masoudi and S. A. AL-Mamoori, "Genetic variability of different isolates of *Rhizoctonia solani* Kühn isolated from iranian imported potato tubers (*Solanum tuberosum* L.)", *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*, vol. 14, n.º 2, pp. 587–598, 2018.
- [14] I. Kotba, M. Achouri, A. Benbouazza, E. H. Achbani, A. O. Touhami and A. Douira, "Morphological, Pathogenic and Molecular Characterisation of *Rhizoctonia solani* Strains Isolated from Potato", *Annu Res Rev Biol*, vol. 29, n.º 4, pp. 1–16, 2018, DOI: 10.9734/arrb/2018/44926.
- [15] T. Misawa and D. Kurose, "Anastomosis group and subgroup identification of *Rhizoctonia solani* strains deposited in NARO Genebank, Japan", *Journal of General Plant Pathology*, vol. 85, n.º 4, pp. 282–294, 2019, DOI: 10.1007/s10327-019-00848-8.
- [16] A. Banerjee *et al.*, "First report of *Rhizoctonia solani* AG-2-2 IV causing large patch disease of Japanese lawn grass in India", *Journal of Plant Pathology*, vol. 102, n.º 4, pp. 1-4, 2020, DOI: 10.1007/s42161-020-00634-y.
- [17] A. Garibaldi, G. Tabone, D. Bertetti and M. L. Gullino, "First report of *Rhizoctonia solani* AG-4 HG-I causing crown rot on *Abelmoschus manihot* in Italy", *Journal of Plant Pathology*, vol. 102, n.º 1303, p. 1303, 2020, DOI: 10.1007/s42161-020-00588-1.
- [18] A. Barreto, S. Paulus, M. Varrelmann and A. K. Mahlein, "Hyperspectral imaging of symptoms induced by *Rhizoctonia solani* in sugar beet: comparison of input data and different machine learning algorithms", *Journal of Plant Diseases and Protection*, vol. 127, n.º 4, pp. 441–451, 2020, DOI: 10.1007/s41348-020-00344-8.
- [19] M. Batnini *et al.*, "The alternative oxidase pathway is involved in optimizing photosynthesis in *Medicago truncatula* infected by *Fusarium oxysporum* and *Rhizoctonia solani*", *Physiol Plant*, vol. 169, n.º 4, pp. 600–611, 2020, DOI: 10.1111/ppl.13080.
- [20] Y. Zhao, N. Yang, Y. Deng, K. Tao, H. Jin and T. Hou, "Mechanism of Action of Novel Pyrazole Carboxamide Containing a Diarylamine Scaffold against *Rhizoctonia solani*", *J Agric Food Chem*, vol. 68, n.º 40, pp. 11068–11076, 2020, DOI: 10.1021/acs.jafc.9b06937.
- [21] X. Cheng *et al.*, "Fungicide SYP-14288 inducing multidrug resistance in *Rhizoctonia solani*", *Plant Dis*, vol. 104, n.º 10, pp. 2563–2570, 2020, DOI: 10.1094/PDIS-01-20-0048-RE.
- [22] C. Betancourth, B. Sañudo, C. Flórez and C. Salazar, "Manejo de la costra negra de la papa (*Rhizoctonia solani*) con el establecimiento de abonos verdes", *Información Tecnológica*, vol. 32, n.º 2, pp. 165–174, 2021, DOI: 10.4067/S0718-07642021000200165.
- [23] J. Caro, C. Mateo, J. Cisneros, N. Galindo Cabello and J. León Quispe, "Isolation and selection of rhizospheric actinomycetes with antagonistic activity against potato phytopathogens (*Solanum tuberosum* spp. *Andigena*)", *Ecología Aplicada*, vol. 18, n.º 2, pp. 101–109, 2019, DOI: 10.21704/rea.v18i2.1329.

- [24] V. R. Sykes *et al.*, “Screening tall fescue for resistance to *Rhizoctonia solani* and *Rhizoctonia zeae* using digital image analysis”, *Plant Dis*, vol. 104, n.º 2, pp. 358–362, 2020, DOI: 10.1094/PDIS-05-19-1070-RE.
- [25] J. Rizo, *Técnicas de Investigación Documental*, UNAN, Matagalpa (Nicaragua): Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, 2015.
- [26] R. M. L. Kripka, M. Scheller and D. D. L. Bonotto, “Pesquisa documental na pesquisa qualitativa: conceitos e caracterização”, *Revista de Investigações UNAD*, vol. 14, n.º 2, pp. 55–73, 2015.
- [27] P. Cadena-Iñiguez, R. Rendón-Medel, J. Aguilar-Ávila, E. Salinas-Cruz, F. D. R. De la Cruz-Morales and D. Ma. Sangerman-Jarquín, “Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales”, *Rev Mex De Cienc Agric*, vol. 8, n.º 7, pp. 1603–1617, 2017, DOI: 10.29312/remexca.v8i7.515.
- [28] A. Garibaldi, G. Tabone, I. Luongo and M. L. Gullino, “First report of *Rhizoctonia solani* AG 2-1 causing crown rot on alcea rosea in Italy”, *Plant Disease*, vol. 105, n.º 3, p. 707, 2021, DOI: 10.1094/PDIS-07-20-1635-PDN.
- [29] M. Mori, T. Bannai and T. Misawa, “First report of leaf blight and petiole rot of carrot caused by *Rhizoctonia solani* AG-1 IB”, *Journal of General Plant Pathology*, pp. 1–4, 2020, DOI: 10.1007/s10327-020-00966-8.
- [30] T. Wallon, A. Sauvageau and H. van der Heyden, “Detection and quantification of *Rhizoctonia solani* and *Rhizoctonia solani* AG1-IB causing the bottom rot of lettuce in tissues and soils by multiplex qPCR”, *Plants*, vol. 10, n.º 57, pp. 1–17, 2021, DOI: 10.3390/plants10010057.
- [31] S. T. Koike, H. Stanghellini and A. Burkhardt, “First report of crown rot caused by *Rhizoctonia solani* AG 2-1 on broccoli rabe in Arizona”, *Plant Disease*, vol. 104, n.º 11, p. 3079, 2020, DOI: 10.1094/PDIS-03-20-0514-PDN.
- [32] S. Yang *et al.*, “Anastomosis Group and Pathogenicity of *Rhizoctonia solani* Associated with Stem Canker and Black Scurf of Potato in Heilongjiang Province of China”, *American Journal of Potato Research*, vol. 94, n.º 2, pp. 95–104, 2017, DOI: 10.1007/s12230-016-9535-3.
- [33] M. Wei, A. Wang, Y. Liu, L. Ma, X. Niu and A. Zheng, “Identification of the Novel Effector RsIA_NP8 in *Rhizoctonia solani* AG1 IA That Induces Cell Death and Triggers Defense Responses in Non-Host Plants”, *Front Microbiol*, vol. 11, n.º 1115, pp. 1–12, 2020, DOI: 10.3389/fmicb.2020.01115.
- [34] M. Aydin and F. Ünal, “Anastomosis Groups and Pathogenicity of *Rhizoctonia solani* Kühn Isolates Isolated from Pistachio (*Pistacia vera* L.) Saplings in Siirt Province, Turkey”, *Turk Tarim Arast Derg*, vol. 8, n.º 1, pp. 18–26, 2021, DOI: 10.19159/tutad.781041.
- [35] Z. Tiru, M. Sarkar, A. Chakraborty, A. Pal and P. Mandal, “Effect of different vegetable-grains media on variability in mycelial growth pattern and sclerotia formation of *Rhizoctonia solani*”, *J Adv Sci Res*, vol. 12, n.º 1, pp. 295–300, 2021.
- [36] Z. Zhang *et al.*, “Genome sequence of *Rhizoctonia solani* Anastomosis Group 4 strain Rhs4ca, a widespread pathomycete in field crops”, *Molecular Plant-Microbe Interactions*, vol. 34, n.º 7, pp. 826–829, 2021, DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI-12-20-0362-A>
- [37] S. Takooree *et al.*, “First report of black scurf caused by *Rhizoctonia solani* AG-3 on potato tubers in Mauritius”, *Plant Disease*, vol. 105, n.º 1, p. 213, 2021, DOI: 10.1094/PDIS-06-20-1183-PDN.
- [38] S. W. Budiarti, R. Lukman, C. Sumardiyono, A. Wibowo and A. Priyatmojo, “Effect of photoperiod on the cultural morphology of *Rhizoctonia solani* isolates of maize from Yogyakarta and Central Java, Indonesia”, *Biodiversitas*, vol. 20, n.º 7, pp. 2028–2038, 2019, DOI: 10.13057/biodiv/d200732.
- [39] P. Patidar, G. K. Awadhiya and K. P. Patil, “Assessing the effects of varied temperature, pH and wave length of light on the growth and sclerotial formation of *Rhizoctonia solani* Kühn”, *Agriculture Update*, vol. 12, n.º 7, pp. 1866–1873, 2017, DOI: 10.15740/has/au/12.tech-sear(7)2017/1866-1873.
- [40] L. Iradukunda, Y.-P. Wang, O. Nkurikiyimfura, T. Wang, L.-N. Yang and J. Zhan, “Establishment and Application of a Multiplex PCR Assay for the Rapid Detection of *Rhizoctonia solani* Anastomosis Group (AG)-3PT, the Pathogen Causing Potato Black Scurf and Stem Canker”, *Pathogens*, vol. 11, n.º 627, pp. 1–11, 2022, DOI: 10.3390/pathogens11060627.
- [41] A. L. Salamone and P. A. Okubara, “Real-time PCR quantification of *Rhizoctonia solani* AG-3 from soil samples”, *J Microbiol Methods*, vol. 172, n.º 105914, pp. 1–8, 2020, DOI: 10.1016/j.mimet.2020.105914.
- [42] A. Khaeruni, T. Wijayanto, M. H. Musa, M. Rahayu, A. Rahman and V. N. Satrah, “Effectiveness of the composition of bokashi organic materials on the ability of biofresh biological agents in inducing resistance of three maize varieties to sheath blight disease (*Rhizoctonia solani*)”, *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 454, n.º 012150, pp. 1–8, 2020, DOI: 10.1088/1755-1315/454/1/012150.

- [43] S. Mohammadi, E. Shahabi and A. Kasraian, “Effect of endomycorrhiza fungi *Glomus* spp. on induction of resistance in potato plants against *Rhizoctonia solani*”, *Indian Phytopathol*, vol. 73, n.º. 2, pp. 213–217, 2020, DOI: 10.1007/s42360-020-00207-0.
- [44] M. Ebrahimi-Zarandi, G. Shahidi Bonjar, R. Roohallah Saberi, M. El-Shetehy, I. Saadoun and E. Barka, “Exploring two streptomycetes species to control *Rhizoctonia solani* in tomato”, *Agronomy*, vol. 11, n.º. 1384, 2021, DOI: 10.3390/agronomy11071384.
- [45] G. Bonanomi *et al.*, “Decomposition and organic amendments chemistry explain contrasting effects on plant growth promotion and suppression of *Rhizoctonia solani* damping off”, *PLoS One*, vol. 15, n.º. 4, pp. 1–20, 2020, DOI: 10.1371/journal.pone.0230925.
- [46] S. Wei *et al.*, “Molecular level changes during suppression of *Rhizoctonia solani* growth by humic substances and relationships with chemical structure”, *Ecotoxicol Environ Saf*, vol. 209, n.º. 71, p. 111749, 2021, DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111749.
- [47] T. Hussain, A. Khan and M. A. Khan, “Biocontrol of Soil Borne Pathogen of Potato Tuber Caused by *Rhizoctonia solani* through Biosurfactant based *Bacillus* strain”, *J Nepal Agric Res Counc*, vol. 7, pp. 54–66, 2021, DOI: 10.3126/jnarc.v7i1.36921.
- [48] A. A. Heflish, A. Abdelkhalek, A. A. Al-Askar and S. I. Behiry, “Protective and curative effects of *Trichoderma asperelloides* Ta41 on tomato root rot caused by *Rhizoctonia solani* Rs33”, *Agronomy*, vol. 11, n.º. 1162, pp. 1-17, 2021, DOI: 10.3390/agronomy11061162.
- [49] C. Garrido-Flores, C. Cedano-Saavedra, M. Delgado-Junchaya and Z. Neira-Sánchez, “Actividad micoparasítica de nueve aislamientos de diferentes cepas de *Trichoderma* sp. sobre *Rhizoctonia solani* en frejol Cauquí (*Vigna unguiculata* L.)”, *TAYACAJA*, vol. 4, n.º. 2, pp. 59–65, 2021, DOI: 10.46908/tayacaja.v4i2.172.
- [50] M. Rupesh Sharma, “Effect of Different Concentration and Duration of Chemical Treatment on the Germination and Growth of Sclerotia of *Rhizoctonia Solani* Kuhn”, vol.7, n.º 4, pp. 202-204, 2022. ISSN No:-2456-2165
- [51] Y. Liu, A. Qi, M. E. Haque, M. Z. R. Bhuiyan and M. F. R. Khan, “Combining penthiopyrad with azoxystrobin is an effective alternative to control seedling damping-off caused by *Rhizoctonia solani* on sugar beet”, *Crop Protection*, vol. 139, n.º 105374, pp. 1-6, 2021, DOI: 10.1016/j.cropro.2020.105374.
- [52] Y. Liu, A. Qi and M. Khan, “Age-Dependent Resistance to *Rhizoctonia solani* in Sugar Beet,” *Plant Dis*, vol. 103, n.º 9, pp. 2322–2329, 2019, DOI: 10.1094/PDIS-11-18-2001-RE.