

Pudrición del cuello de la raíz en Pasifloras: *Fusarium solani* f.sp. *passiflorae* en sistemas productivos colombianos

Passi lora root rot: *Fusarium solani* f.sp. *passiflorae* in Colombian production systems

Erika P. Martínez^{1,2*}; Johan A. Vergara²; Ginna N. Cruz²; Jaime E. Aguirre²

Recibido para publicación: 16 de octubre de 2024 - Aceptado para publicación: 13 de diciembre de 2024

RESUMEN

La pudrición del cuello de la raíz causada por *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. 1881, es una enfermedad de importancia económica para muchos cultivos entre los que se encuentran las pasifloras. Para Colombia, maracuyá, gulupa y granadilla sustentan la economía de miles de familias rurales y exportadores, generando divisas significativas y empleo. Esta revisión analiza la literatura científica disponible sobre la taxonomía, epidemiología, diagnóstico y manejo de *F. solani* f.sp. *passiflorae* con énfasis en pasifloras para identificar oportunidades de investigación en este patosistema. El patógeno pertenece al complejo *F. solani*. En los cultivos en donde se ha estudiado muestra alta variabilidad genética y adaptabilidad a diferentes huéspedes, ocasionando síntomas en el cuello de la raíz que conllevan a la marchitez y muerte de la planta. Su diagnóstico se realiza mediante técnicas morfológicas, patogénicas y moleculares, y las estrategias de manejo incluyen prácticas culturales, control químico y biológico, pero su eficacia es limitada debido a la capacidad de sobrevivir en el suelo. En la actualidad, la mayoría de los reportes se han centrado en la búsqueda de resistencia genética en especies silvestres de *Passiflora*, mostrando avances en el desarrollo de variedades tolerantes. El análisis bibliométrico permitió identificar a Brasil, líder de la investigación principalmente en maracuyá, mientras que en Colombia escasamente en maracuyá y gulupa, y ocasionalmente en granadilla. Esto evidencia la necesidad de ampliar estudios sobre la estructura genética poblacional del patógeno, epidemiología y fuentes de resistencia para desarrollar estrategias de manejo integrado más efectivas que protejan este importante sector de la agricultura colombiana.

Palabras clave: Análisis bibliométrico; Epidemiología; Fruta de la pasión; Diagnóstico; Manejo y taxonomía.

ABSTRACT

Root rot caused by *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. 1881, is an important economic disease for many crops, including Passifloraceae. For Colombia, species such as passion fruit, gulupa, and sweet granadilla support the economy for thousands of rural families and exporters, generating significant foreign exchange and employment. This review analyzes the available scientific literature on taxonomy, epidemiology, diagnosis, and management of *F. solani* f.sp. *passiflorae*, focused on passion fruit, to identify research opportunities on this pathosystem. The pathogen belongs to the *F. solani* species complex and, in crops where it has been studied, shows high genetic variability and adaptability to different hosts, causing symptoms at the collar root and leading to wilting and plant death. The diagnostic is based on morphological, pathogenic, and molecular techniques, while control include cultural practices, chemical and biological control; however, their effectiveness is limited due to pathogen's ability to survive in soil. Currently, most reports have focused on the search for genetic resistance in wild *Passiflora* species, showing advances in the development of tolerant varieties. Bibliometric analysis identified Brazil as the research leader, mainly in passion fruit. In Colombia, there is scarce research in passion fruit and gulupa, and few studies in sweet granadilla. This evidences the need to expand studies on pathogen's population genetic structure, epidemiology, and resistance origin to develop more effective integrated management strategies to protect this important sector of Colombian agriculture.

Key words: Bibliometric analysis; Epidemiology; Passion fruit; Diagnostics; Management and taxonomy.

Cómo citar

Martínez, E. P., Vergara, J. A., Cruz, G. N. y Aguirre, J. E. 2024. Pudrición del cuello de la raíz en Pasifloras: *Fusarium solani* f. sp. *passiflorae* en sistemas productivos colombianos. Temas Agrarios. 29(2): 225–245. <https://doi.org/10.21897/q15q0254>

¹Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), Universidad Nacional, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. Heredia, Costa Rica.

²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA

*Autor para correspondencia: Erika Patricia Martínez Lemus
E-mail: emartinezl@agrosavia.co



Temas Agrarios 2024. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

INTRODUCCIÓN

El hongo *Fusarium solani*, es un patógeno de amplio espectro, representa una grave amenaza para diversas plantas, incluyendo las pasifloras. En esta enfermedad conocida como secadera o pudrición del cuello, el hongo a través de la secreción de enzimas descompone las paredes celulares e invade los tejidos internos de la planta, lo que ocasiona lesiones en el tallo, necrosis y obstrucción de los vasos del xilema. Como consecuencia, las plantas afectadas experimentan una reducción drástica en su producción y, en casos severos, pueden llegar a morir (Martínez *et al.*, 2023). En Colombia, este hongo afecta particularmente especies de gran importancia económica y potencial de exportación, como la gulupa (*Passiflora edulis* Sims), la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y el maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) (Osorio *et al.*, 2020).

Según el informe de la Cadena de las Pasifloras del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural del primer trimestre de 2021, Huila y Antioquia son los departamentos con mayor área sembrada con el 20% de la producción, sin embargo, las pasifloras están presentes en 22 departamentos más, lo que lo constituye como un cultivo importante dentro de la agricultura familiar (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2021). El maracuyá es la pasiflora más sembrada en Colombia (Agrosavia, 2022), pero la gulupa destaca entre las frutas por ser la cuarta especie más exportada en fresco (3.3%), luego del aguacate Hass, el banano y la lima Tahití, y es la más exportada de las pasifloras seguida por la granadilla, el maracuyá y la curuba. El 84% de las exportaciones de gulupa llega a los Países Bajos (Holanda) generando ingresos anuales de alrededor de 48,68 millones USD (Asociación Hortifrutícola de Colombia [Asohofrucol], 2024; Asociación Nacional de Exportadores [Analdex], 2023).

Teniendo en cuenta la importancia de las pasifloras para la economía colombiana y la baja disponibilidad de información científica relacionada con la pudrición del cuello de la raíz, es necesario compilar y analizar la información de estudios existentes de este patosistema, que aborden diferentes tópicos de investigación desde un panorama global. El análisis bibliométrico es un método de investigación cuantitativa que se utiliza para analizar y evaluar publicaciones científicas, citas y otros datos (Chatterjee y Dethlefs, 2021). Las ecuaciones de búsqueda desempeñan un papel importante en la optimización del proceso de investigación científica, debido a que permite filtrar información de manera eficiente y proporcionar una visión panorámica del campo de estudio que permita convertirlas en instrumentos indispensables para la búsqueda precisa de artículos y la construcción de revisiones bibliográficas (El Hammoudani *et al.*, 2024).

El propósito de los estudios bibliográficos es construir bases de datos bibliográficas, catálogos de bibliotecas e índices completos y normalizados que faciliten el acceso a los artículos científicos (El Hammoudani *et al.*, 2024). Además, estos estudios desempeñan un papel crucial en la identificación de áreas de investigación emergentes, la evaluación crítica de temas específicos, el análisis de brechas en el conocimiento y la detección de tendencias recientes (Page *et al.*, 2021). Asimismo, fomentan la colaboración entre investigadores y proporcionan información valiosa para la toma de decisiones informadas en el ámbito científico (Tripathy *et al.*, 2024). En conjunto, estas herramientas no solo facilitan la identificación de fuentes relevantes y significativas, sino que también garantiza la rigurosidad y objetividad de las revisiones bibliográficas y los análisis científicos (Çelik, 2024; Singh *et al.*, 2019).

El objetivo del presente estudio fue realizar una revisión sistemática de literatura disponible sobre *Fusarium solani* teniendo en cuenta aspectos relacionados con taxonomía,

huéspedes, síntomas, epidemiología, métodos de diagnóstico, evaluación y alternativas de manejo, temas determinantes que pueden servir como línea base para adelantar estudios de la pudrición del cuello de las pasifloras cultivadas en Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ecuación de búsqueda

Para el desarrollo de este trabajo se hizo una búsqueda sistemática de información definiendo los componentes y las palabras clave relacionadas. Se estableció la ecuación de búsqueda en la que se fijaron tres componentes agrupados en categorías asociados a las palabras clave de la siguiente manera:

Componente I -Especies de pasifloras

“*Passiflorae*” OR “*Passion fruit*” OR “*Passion ligularis*” OR “Sweet granadilla” OR “*Passiflora ligularis* Juss” OR “Purple passion fruit” OR “*P. edulis* f. *edulis* Sims” OR “*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener” OR “*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*” OR “*Passiflora ligularis*”

Componente II –Patógeno

“*Neocosmospora solani*” OR “*Nectria haematococca*” OR “*Fusarium solani*” OR “*Fusarium solani* f. sp. *passiflorae*” OR “*Neocosmospora solani* (Mart.) L. Lombard”.

Componente III –Aspectos epidemiológicos y factores de manejo

“Collar rot crown rot” OR “Collar rot” OR “crown rot Epidemiology” OR “Distribution” OR “Dispersion” OR “Epidemiology models” OR “predisposing factors” OR “Soil” OR

“Geographic distribution” OR “Symptoms” OR “Management””.

La ecuación de búsqueda se definió combinando los componentes I, II y III y las palabras clave asociadas. Se utilizaron las preposiciones AND y OR para la unión de los componentes y las palabras clave respectivamente.

Análisis bibliométrico

Se utilizó la ecuación en las bases de datos de Scopus y Web Of Science como fuente de información para realizar la revisión; los parámetros de búsqueda para el tema en cuestión fueron “ABS, TITLE, OR KEYWORDS” en Scopus y “All fields” en Web of Science (WoS) lo que dio como resultado 17 publicaciones (Scopus = 17 y WoS =14) desde 2018 hasta 2024. Es importante destacar que para esta etapa se revisaron los documentos completos y se excluyeron aquellos que no correspondían con el propósito del estudio.

Se realizó un análisis exploratorio usando métodos e indicadores bibliométricos, de las bases de datos usadas para obtener las publicaciones asociados con la producción científica de los componentes descritos previamente, para esto se usó la herramienta Bibliometrix (Aria y Cuccurullo, 2017) del software estadístico R (R Core Team, 2023) y la función Biblioshiny, para el importe del conjunto de datos de fuentes bibliográficas (Taqi et al., 2021). Con esta información se construyó el conjunto de datos de información asociada a la producción científica anual, países con mayor productividad en el área de estudio, artículos con mayor índice de citación, autores y revistas con más impacto en el tema de interés. Con los datos recopilados se logró establecer los artículos con mayor importancia para el desarrollo de esta revisión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultado del análisis

En la Tabla 1 se observa la información asociada al análisis bibliométrico realizado. Se encontraron un total de 17 documentos entre artículos, material editorial y revisiones y un total de 457 referencias relacionadas con los componentes establecidos en la ecuación de búsqueda.

Entre las fuentes más relevantes para *F. solani* se destacan la Revista Brasileira de Fruticultura, Plant Disease, Phytopathology, Fitopatología Brasileira, Plant Pathology, entre otras, que representan el 64,66% del total de publicaciones de este estudio (Figura 2). En cuanto a los autores con mayor número de citas asociadas al tema de búsqueda, se encuentran: Ivan Fischer (4 artículos), César Júnior Bueno (3 artículos), Kelly Lana Araújo (2 artículos), Edson Luiz Furtado (2 artículos), Leonarda Neves (2 artículos) y Danie Dias Rosa (2 artículos).

Tabla 1. Análisis bibliométrico de la revisión bibliográfica *F. solani* en pasifloras.

Métrica	Valor
Período de tiempo	2003-2023
Fuentes	14
Documentos	17
Tasa de crecimiento anual	3,53%
Autores	76
Autores de un solo documento	0
Coautores internacionales	5,882%
Coautores por documento	5
Palabras clave del autor (DE)	52
Referencias	457
Edad promedio de documentos (años)	7,12
Citaciones promedio por documento	5,941

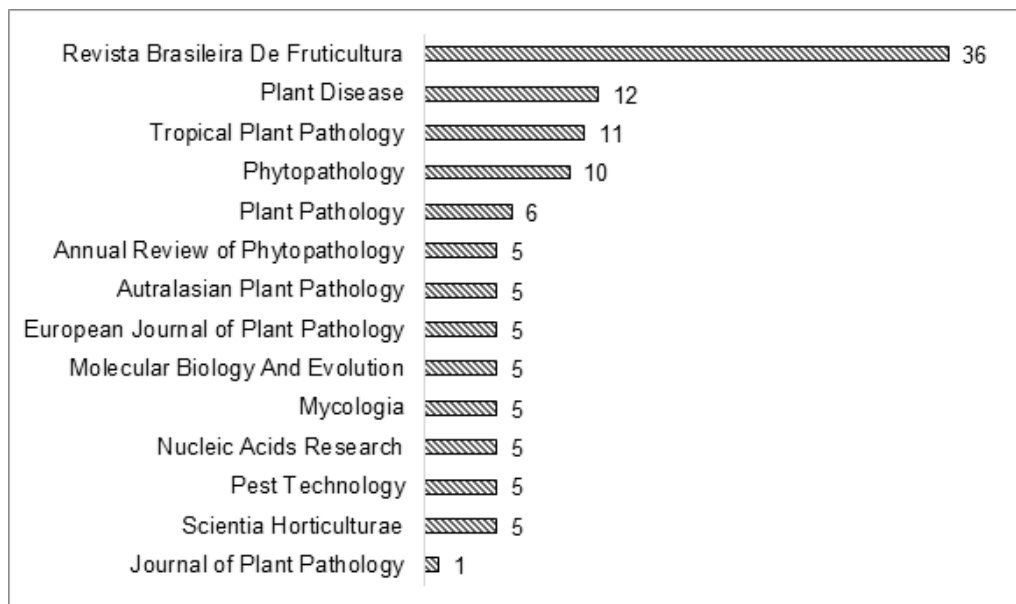


Figura 1. Principales fuentes de consulta sobre *F. solani* en pasifloras Fuente. Elaboración propia a partir de información recuperada de Scopus® y Web of Science®. Software de análisis Bibliometrix® y Excel®.

Las tres especies de mayor importancia económica en Colombia son:

Maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) (Figura 3a). El área cultivada es de aproximadamente 12964.69 hectáreas y los principales departamentos productores son Huila, Antioquia, Meta y Tolima (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Agrosavia], 2022). El rendimiento promedio es de 17,06 toneladas por hectárea y una producción total de 221232.44 toneladas anuales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2025). El 60 % de la producción se usa para consumo en fresco y el 40 % restante se destina a la industria para elaborar jugos, pulpas, concentrados y otros productos (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2021). Los principales mercados para exportación son: Países Bajos, Alemania, Bélgica, Francia y Estados Unidos. El volumen exportado en 2022 fue alrededor de 25.000 toneladas, generando ingresos por 3.1 millones USD (Asociación Nacional de Exportadores [Analdex], 2023).

Gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) (Figura 3b). El área cultivada es aproximadamente 12.000 hectáreas. Los principales departamentos productores son Huila, Cundinamarca, Antioquia, Tolima y Valle del Cauca (DANE. 2023). El rendimiento promedio es de 15 toneladas por hectárea y

una producción total de alrededor de 33322.72. toneladas anuales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2021). El 70% de la producción se utiliza para el consumo en fresco mientras el 30% restante se destina a la industria para la elaboración de jugos, pulpas, concentrados y otros productos. En cuanto a las exportaciones, los principales mercados son, Países Bajos. En 2023, se exportaron 14.266 toneladas por un valor total de 709.9 millones USD (Asociación Hortifrutícola de Colombia [Asohofrucol], 2024).

Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) (Figura 3c). El área cultivada es de aproximadamente 5.000 hectáreas, los principales departamentos productores son Cundinamarca, Huila, Antioquia, Tolima y Valle del Cauca (DANE, 2023). El rendimiento promedio es de 11 toneladas por hectárea lo que genera una producción total de alrededor de 41.289 toneladas anuales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2025). Alrededor del 80% de la producción se destina para consumo en fresco mientras que el 20% restante se destina a la industria para la elaboración de jugos, pulpas, concentrados y otros productos. Los principales mercados son: Estados Unidos, Europa y Asia. En 2021, se exportaron alrededor de 5.000 toneladas de granadilla generando ingresos por 6 millones USD (Asociación Hortifrutícola de Colombia [Asohofrucol], 2024).

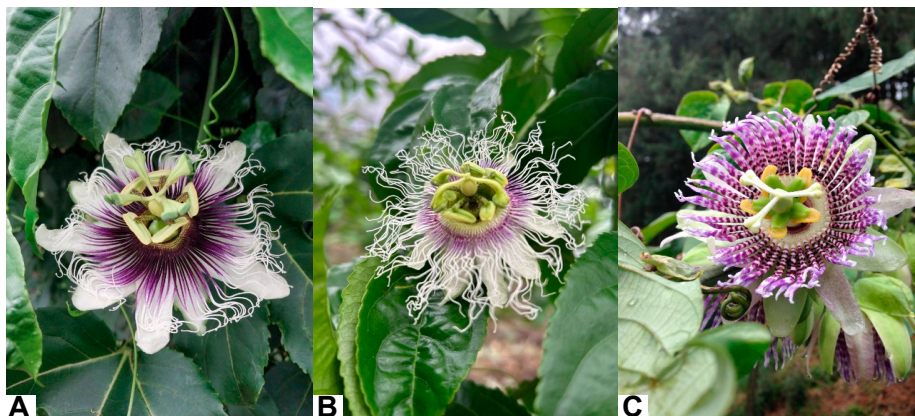


Figura 3. Flores de las especies de *Passiflora*: **A.** *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener, **B.** *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener, **C.** *Passiflora ligularis* Juss.

1- *Fusarium solani* f.sp. *passiflorae*.

La clasificación taxonómica de la especie *Fusarium* se ubica en el Reino Fungi, Phylum Ascomycota, específicamente en la Clase Sordariomycetes y el Orden Hypocreales. Perteneció a la Familia Nectriaceae y al Género *Fusarium*. La especie en cuestión es el complejo de especies *Fusarium solani*, más concretamente *Fusarium solani* f.sp. *passiflorae* (Mart.) Appel & Wollenweber, teleomorfo *Haematonectria*.

Además, esta especie tiene un sinónimo homotípico: *Neocosmospora passiflorae*, nombre que fue propuesto por Bueno y colaboradores (2014) y Zhang et al., (2023). Esta información se puede consultar en la base de datos NCBI Taxonomy (Schoch et al., 2020), que ofrece una actualización completa sobre la curaduría, los recursos y las herramientas relacionadas, publicada en la revista Database (Oxford) en 2020.

Historia y distribución geográfica

El género *Fusarium* fue introducido por Link en 1809, durante más de 100 años muchos trabajos se centraron en la identificación de las especies y el diagnóstico de la enfermedad. En los últimos 100 años, la taxonomía de *Fusarium* ha sufrido un gran número de cambios, los más recientes han sido adaptados en 2006 por Leslie and Summerell en "The *Fusarium* Laboratory Manual", allí se describen 70 especies.

Las especies de *Fusarium* se encuentran entre los hongos más extendidos del mundo y son de gran importancia económica, tanto así que la sociedad de fitopatología estadounidense ha reportado que 81 de las 101 plantas de importancia económica tienen al menos una enfermedad causada por *Fusarium* (Babadoost, 2018).

En las pasifloras las enfermedades más difíciles de controlar son las causadas por microorganismos del suelo, especialmente la marchitez por *Fusarium* (*Fusarium wilt*), y la pudrición del cuello y la corona (collar rot and crown rot); esta enfermedad es causada por *Fusarium solani* y según Fisher y colaboradores (2008), sus primeros reportes fueron en Uganda (Emechibe y Mukibi 1976), Surinam (Power y Verhoeff 1984), Taiwán (Lin y Chang 1985), Venezuela (Cedeño et al., 1990), Zimbabwe (Cole et al., 1992), China (Li et al., 1993), Estados Unidos (Ploetz, 1991) y las Islas Mauricio (Lutchmeah y Musaphur 1992).

En un estudio reciente en China se identificó a *Neocosmospora solani* como el agente causal de la pudrición del cuello en gulupa.). Para identificar al agente causal de esta enfermedad, se recolectaron muestras de plantas afectadas y se aislaron colonias fúngicas. Se realizó un análisis de ADN de estas colonias y se compararon con bases de datos genéticas para identificar la especie. Se determinó que el hongo responsable pertenece a la especie *Fusarium solani*, que ahora se conoce como *Neocosmospora solani* (Hao et al., 2021).

En Brasil ha causado pérdidas graves en la producción de maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa*), obligando a una migración constante de los cultivos (Fischer et al. 2005; Fisher et al., 2008). En Colombia se conoce comúnmente como secadera (*Fusarium solani* f.sp. *passiflorae* (Mart.) Appel & Wollenweber, teleomorfo *Haematonectria haematococca* (Berk. y Broome) Samuels y Nirenberg). Se encuentra en todas las zonas productoras de pasifloras, siendo la enfermedad más limitante en los cultivos de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.), maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener.) y gulupa (*P. edulis* Sim.), puede afectar las plantas en los diferentes estados de desarrollo, este mismo patógeno también se

ha reportado en otras especies de *Passifloras* como: maracua (*P. alata* Curtis.), cholupa (*P. maliformis* L.) y badea (*P. quadrangularis* L.) (Fischer y Rezande, 2008; Patiño y Perez, 2021). Los departamentos más afectados son Antioquia, Valle del Cauca, Tolima, Huila y Cundinamarca, mientras que en Boyacá no es el problema más limitante del cultivo (Osorio et al., 2020).

2- Huéspedes y variación del patógeno

El complejo de especies de *Fusarium solani* (FSSC) es un grupo diverso de hongos fitopatógenos que afecta a una amplia variedad de cultivos. Debido a su capacidad para infectar diferentes plantas, estos hongos se han clasificado en formas especiales (f.sp.) según la especie vegetal que infectan. A pesar de su importancia en la agricultura, la taxonomía del FSSC aún está en constante evolución, con estimaciones que sugieren la existencia de al menos 60 especies distintas dentro de este complejo (Coleman, 2016; Nalim et al., 2011; O'Donnell, 2000; O'Donnell et al., 2008).

Análisis filogenéticos recientes han revelado que las formas especiales corresponden a especies biológica y filogenéticamente distintas. Los genomas de algunos de estos hongos incluyen cromosomas supernumerarios que son prescindibles y codifican factores de virulencia específicos del huésped (Babadoost, 2018).

Los miembros del FSSC representan un conjunto diverso de especies autofértiles (homotálicas) y autoestériles (heterotálicas), aunque sólo se conocen ciclos sexuales para aproximadamente un tercio de las especies (O'Donnell, 2000; O'Donnell et al., 2008). Siete de las especies heterotálicas se clasificaron originalmente como poblaciones reproductoras (MP I a VII) de *Nectria haematococca* debido a su capacidad para

aparearse con otros miembros de la misma especie biológica (Matuo y Snyder, 1973); sin embargo, se ha demostrado que cada población de apareamiento representa especies filogenéticamente distintas (O'Donnell, 2000). En Taiwán, un estudio realizado por Lo y colaboradores (2025) reveló una alta diversidad del complejo de especies *Fusarium solani* (FSSC) que causa la pudrición del collar y del fruto en el maracuyá, siendo *F. solani-melongenae* la especie dominante, y las cepas taiwanesas distintas de las brasileñas y chinas.

La pudrición del cuello y la marchitez por *Fusarium* muestran síntomas similares en pasifloras y ambas son causadas por especies de *Fusarium*. La enfermedad se ha informado en *P. edulis*, *P. edulis* f. *flavicarpa*, *P. alata*, *P. ligularis*, *P. maliformis* y *P. quadrangularis* (Junqueira et al., 2005).

En el cultivo de gulupa mediante diagnósticos con marcadores biológicos y morfológicos indicaron la presencia de dos enfermedades, marchitez por *Fusarium* y pudrición de cuello, causadas por *F. oxysporum* y *F. solani*, respectivamente (Ortiz y Hoyos, 2012).

3 - Síntomas y epidemiología

El hongo, a través de la secreción de enzimas (amilasa, lipasa, celulasa, proteasas (caseinasa y gelatinasa), lacasa (oxidasa) y catalasa) (Bueno et al., 2009), degrada la pared celular vegetal, facilitando la colonización de los tejidos internos. La invasión fúngica provoca lesiones necróticas en el tallo y una obstrucción del sistema vascular, lo que conlleva una disminución drástica en el rendimiento y, en casos severos, la muerte de la planta (Martínez-Lemus et al., 2023).

Nectria haematococca (anamorfo: *F. solani*) infecta las plantas mediante un tubo germinativo que atraviesa los tejidos de las

raíces y coloniza los vasos del xilema hasta obstruirlos impidiendo la translocación de agua y nutrientes a otros órganos de la planta (Ortíz *et al.*, 2014; Castaño, 2015). Durante la transpiración, el hongo asciende fácilmente por los haces vasculares; paulatinamente la planta cierra las estomas, las hojas pierden turgencia, se marchitan, se desprenden y la planta finalmente muere, reduciendo el ciclo de vida del cultivo (Ortíz y Hoyos, 2012). Posteriormente, el hongo invade todos los tejidos de la planta muerta y empieza a esporular, reiniciando el ciclo de dispersión e infección (Castaño, 2009) (Figura 4 A y

4B). Una vez que inicia este proceso, el manejo del patógeno, mediante alternativas químicas o biológicas, se dificulta, debido a la formación de estructuras de supervivencia (clamidosporas), que pueden permanecer en el suelo por largos periodos de tiempo y ser fácilmente diseminadas por la lluvia, el agua de riego y el viento (Castaño-Zapata, 2009; Silva *et al.*, 2013; Ángel *et al.*, 2018). Frecuentemente la enfermedad se presenta en el cultivo con un patrón de distribución en focos que corresponde a la presencia de uno o varios grupos de plantas con síntomas (Osorio *et al.*, 2020).



Figura 4. Síntomas ocasionados por *Fusarium solani* f.sp. *passiflorae* en plantas de pasifloras. **A.** Pudrición en cuello de la raíz de granadilla. **B.** Marchitez en gulupa.

La patogenicidad de *Fusarium solani* en las pasifloras implica la superación de las defensas de la planta para obtener nutrientes y colonizar sus tejidos. Diversas sustancias, incluyendo enzimas extracelulares, juegan un papel crucial en este proceso. Las enzimas amilasa, lipasa, celulasa, proteasas, lacasa y catalasa son ejemplos de enzimas extracelulares potencialmente involucradas en la patogenicidad de *F. solani* (Pacheco *et al.*, 2020). Si bien el análisis de la producción enzimática en hongos ha sido utilizado para evaluar la variabilidad genética, se conoce

poco sobre la fisiología de *F. solani* en pasifloras, particularmente en lo que respecta a la producción de enzimas extracelulares (Bueno *et al.*, 2014).

Según algunos estudios, la actividad enzimática de *F. solani* varía según el tipo de sustrato, el tiempo de incubación, el pH y la temperatura. Por ejemplo, se ha reportado que la actividad celulolítica es mayor a pH 5 y a 30°C, mientras que la actividad lipolítica es mayor a pH 7 y a 37°C (Mendes *et al.*, 2022). También se ha observado que

la actividad proteolítica es mayor en los aislamientos de origen humano que en los de origen animal o vegetal (Ortega & Acosta 2021). Además, se ha encontrado que la actividad pectinolítica está asociada con la virulencia de *F. solani* en el cultivo de frijol, y que algunas bacterias endófitas pueden inducir resistencia sistémica en las plantas contra este patógeno (Valencia, 2011).

Otros estudios han evaluado la producción de varias enzimas extracelulares a partir de aislados de *F. solani* de maracuyá en medios de cultivo individuales. Encontraron que todos los aislados producen amilasa, lipasa, celulasa, caseinasa y lacasa, aunque en cantidades variables. Aunque no se identificó una enzima específica como característica de *F. solani* en maracuyá, la producción de gelatinasa y catalasa fue uniforme, pero en cantidades mínimas (Bueno et al., 2009).

La actividad enzimática de *F. solani* es un tema de interés para la biotecnología, la medicina y la agricultura, ya que puede tener aplicaciones industriales, diagnósticas y de control biológico. Sin embargo, también representa un riesgo para la salud y el medio ambiente, por lo que se requiere más investigación para comprender mejor los mecanismos moleculares y ecológicos que regulan esta actividad.

4 - Métodos de diagnóstico y evaluación de patogenicidad.

Morfométricos y moleculares.

La identificación de especies de *Fusarium* ha sido tradicionalmente realizada mediante la observación de sus características morfológicas y culturales, de ahí que claves taxonómicas como los de Booth (1977) y Nelson et al. (1983) han sido ampliamente difundidas para este propósito. Sin embargo, el manual de Leslie y Summerell (2006) ha sido el más ampliamente utilizado. Con el avance de la biotecnología, las herramientas de biología

molecular han revolucionado la identificación y caracterización de fitopatógenos, técnicas de PCR para la identificación del hongo ha reducido considerablemente el tiempo de análisis mediante marcadores moleculares como las regiones espaciadoras transcritas internas (ITS), incluido el gen 5.8S, la subunidad grande (LSU, 28S) y pequeña (SSU, 18S) de los genes nucleares del ARN ribosómico, así como los genes codificadores de proteínas, como la subunidad 1 de la citocromo oxidasa (COX1, COI), la subunidad más grande de la ARN polimerasa II (RPB1), la segunda subunidad más grande de la ARN polimerasa II (RPB2), la β -tubulina (TUB2), el factor de elongación traduccional 1- α (TEF1- α), la γ -actina y la calmodulina (CaM) (Arif et al., 2012; Ponts et al., 2020; Geiser et al., 2021; Zhou et al., 2021; Lo et al., 2024; Sáenz, 2024).

Patológicos y genéticos.

Varios estudios han investigado la patogenicidad de especies de *Fusarium* en pasifloras. Ortiz y Hoyos (2012) demostraron la eficacia de los métodos de inoculación y la importancia de los estudios histopatológicos para comprender las interacciones huésped-patógeno. Preisigke et al. (2015) realizaron una investigación la cual se centró en encontrar especies de *Passiflora* resistentes a la pudrición del cuello causada por *Fusarium solani* en Brasil. Evaluaron catorce especies de *Passiflora*: *P. quadrangularis*, *P. nitida*, *P. foetida*, *P. tenuifolia*, *P. alata*, *P. setacea*, *P. cincinnata*, *P. mucronata*, *P. micropetala*, *P. suberosa*, *P. morifolia*, *P. eichleriana*, *P. edulis* y *P. coccinea*. utilizando análisis estadísticos multivariados para identificar las más resistentes. Las reacciones de las especies de *Passiflora* inoculadas se evaluaron con el uso de 12 rasgos de resistencia. Observaron tres grupos distintos de especies: susceptibles, moderadamente resistentes y resistentes. Los rasgos que más contribuyeron a la diversidad

genética fueron el tiempo de inoculación y el área bajo la curva de la expansión de la lesión. Los análisis multivariados permitieron identificar con mayor precisión las especies más resistentes, principalmente *P. nitida* y *P. cincinnata*.

Marostega et al. (2021) realizaron un estudio el cual buscó estimar parámetros genéticos y predecir ganancias en la selección de genotipos resistentes a la pudrición del cuello en híbridos de maracuyá. Se utilizaron 40 híbridos interespecíficos, cruzando especies silvestres resistentes con genotipos de *Passiflora edulis* Sims mediante la metodología de Comstock y Robinson Design II, con dos progenitores masculinos (*P. nitida* Kunth y *P. quadrangularis* L.) y dos femeninos de *P. edulis*. Se evaluaron 10 variables de resistencia durante 33 días, mostrando predominio de efectos genéticos y de dominancia. Se observaron altas heredabilidades, indicando la posibilidad de seleccionar genotipos prometedores, como 115-5, 115-4, 115-7, 115-6, 115-3, 115-1, 128 y 115-9, para reducir la severidad de la pudrición del cuello.

Martínez-Lemus et al. (2023), lograron estandarizar un método de infección artificial y una escala de evaluación para los síntomas de la pudrición del cuello en dos especies de *Passiflora*. El propósito del estudio fue evaluar la reproducibilidad de un protocolo de infección artificial y una escala de evaluación para los síntomas primarios en la base del tallo/cuello de la raíz, así como los síntomas secundarios en hojas y raíces. Evaluaron los efectos de la inoculación de sustratos de siembra de plantas de granadilla y maracuyá con tres concentraciones de *F. solani* f.sp. *passiflorae* (0.5×10^6 , 1×10^6 y 2×10^6 conidios gramo⁻¹ de sustrato), utilizando plantas no inoculadas como testigos bajo condiciones controladas. El estudio incluyó lecturas de desarrollo de síntomas integradas en un índice de gravedad

de la enfermedad (IS) para la pudrición del cuello, con lo que determinaron que el método de inoculación fue efectivo para replicar los síntomas de la enfermedad en condiciones de invernadero que puede ser útil para estudios epidemiológicos, control de enfermedades y evaluación de germoplasma en busca de resistencia a la enfermedad.

5 - Alternativas de manejo.

Manejo Químico

En Brasil han evaluado el comportamiento de cinco cultivares de maracuyá injertados en cinco especies diferentes de pasifloras (*Passiflora alata*, *P. maliformis*, *P. morifolia*, *P. mucronata* y *P. suberosa*) en suelos donde ha sido frecuente la presencia de la enfermedad, adicionalmente, se evaluó la efectividad de varios productos químicos y biológicos en el control de la podredumbre del cuello en maracuyá amarillo en condiciones de campo. Se encontró que el maracuyá amarillo injertado en ciertas especies de *Passiflora* mostró mayor resistencia a la enfermedad con relación al no injertado. Sin embargo, los productos aplicados a las plantas no lograron reducir la aparición de la enfermedad, independientemente de la frecuencia de la aplicación (Fischer et al., 2005).

Fenamacril, un inhibidor específico de la miosina 5, ha demostrado ser un fungicida eficaz contra un amplio espectro de especies de *Fusarium*. Su mecanismo de acción, centrado en la inhibición de la proteína motora miosina 5, ha permitido su registro para el control de enfermedades causadas por este género fúngico a través de aplicaciones foliares, radicales y de tratamiento de semillas. Sin embargo, *Fusarium solani* ha mostrado resistencia intrínseca por cambios específicos en la miosina 5, esto demostrado por Mao et al. (2023), a través de la alineación de secuencias identificaron sitios diferenciales clave (T218 y K376) en la miosina 5 entre las especies de *Fusarium*.

Manejo biológico

Estudios han demostrado el potencial de cepas de *Bacillus subtilis* como agentes biocontroladores para combatir la enfermedad en maracuyá. Estas cepas bacterianas exhiben una notable capacidad para inhibir la germinación de conidios del patógeno, reduciendo significativamente la severidad de la enfermedad en las plantas. Su eficacia se atribuye a una combinación de mecanismos de acción que afectan directamente a *F. solani*, como la alteración de la morfología de los conidios, pérdida de la integridad de la membrana celular, reducción del potencial de la membrana mitocondrial, interferencia con el metabolismo energético, aumento de la acumulación de especies reactivas de oxígeno y activación de la muerte celular similar a la apoptosis. Un papel importante en este proceso, lo desempeñan las surfactinas, moléculas producidas por *B. subtilis* que actúan como detergentes, disrumpiendo la membrana celular del hongo y desencadenando su muerte. En conjunto, estas características posicionan a las cepas de *Bacillus subtilis* como herramientas valiosas para el manejo sostenible de la enfermedad de pudrición del cuello en maracuyá, ofreciendo una alternativa ecológica y efectiva a los fungicidas químicos tradicionales (Chen et al., 2021).

Otros estudios sugieren que tanto el uso de hongos antagonistas del género *Trichoderma* como la aplicación de ciertos pesticidas químicos podrían ser alternativas para controlar la pudrición de raíces y el cuello en plantas de maracuyá. En laboratorio ha sido evaluado el efecto antagónico de tres especies de *Trichoderma* sobre *Fusarium solani*, así como el impacto de diversos pesticidas en el crecimiento micelial de ambos hongos. Los resultados mostraron que *Trichoderma*, especialmente *T. harzianum* y *T. viride*, mostraron una notable capacidad para inhibir el crecimiento de *F. solani*, con porcentajes

de inhibición que oscilaron entre el 42.7% y el 69.8%. La mayoría de los pesticidas probados demostraron efectos significativos en la inhibición del crecimiento de *F. solani*, con excepción del pencycuron. Entre ellos, el fosfito de potasio destacó por su eficacia en la inhibición del crecimiento micelial de *F. solani* sin afectar el crecimiento de las especies de *Trichoderma* (Silva et al., 2014).

Manejo genético

Ante el riesgo de reducir la producción en las pasifloras, se han probado varias estrategias para aumentar la viabilidad y resistencia del cultivo, incluyendo el uso de material genético resistente (Cavichioli et al., 2011; Preisigke et al., 2017) y biofungicidas (Preisigke et al., 2017; Silva et al., 2014).

La interacción entre *Meloidogyne* y *Fusarium* puede tener un impacto significativo en la respuesta de los genotipos de maracuyá frente a estos patógenos. Un estudio se llevó a cabo con el objetivo de evaluar la respuesta de 10 genotipos de *Passiflora* spp. al complejo *Meloidogyne incognita* raza 3 y *Fusarium solani*. Después de 180 días desde la siembra, se determinó la reacción a *Meloidogyne* mediante la respuesta a *Fusarium solani* se evaluó según el tamaño de las lesiones en raíces y tallos. Siguiendo los criterios establecidos por Oostenbrink (1966) y Moura y Regis (1987), se identificó que los genotipos BRS-SC, M-19-UFV, *P. alata* y *P. cincinnata* demostraron resistencia, mientras que *P. giberti* fue catalogada como susceptible. Por otro lado, de acuerdo con el criterio de Taylor y Sasser (1983), se encontró que BRS-SC, M-19-UFV, *P. alata*, *P. cincinnata* y *P. giberti* mostraron diferentes niveles de resistencia, desde resistente hasta susceptible, respectivamente. Entre los genotipos evaluados, se observó que *P. mucronata*, *P. nitida*, *P. setacea*, *P. cincinnata* y M-19-UFV presentaron el menor porcentaje

de plantas con síntomas de *Fusarium solani*. En presencia simultánea de ambos patógenos, se destacó que M-19-UFV, *P. alata* y *P. nitida* exhibieron las lesiones más extensas. En cuanto a la presencia exclusiva de *Fusarium solani*, se observó que BRS-SC, *P. alata*, *P. cincinnata* y *P. ligularis* fueron los genotipos con las lesiones más amplias (Rocha et al., 2021).

Otro estudio llevado a cabo en Brasil tuvo como propósito evaluar la resistencia y susceptibilidad de varias especies del género *Passiflora* a los patógenos del suelo provenientes de distintos biomas de Mato Grosso, incluyendo el Cerrado, Pantanal y Amazonía. Se examinó la respuesta de las especies *P. edulis* Sims, *P. foetida*, *P. nitida* y *P. quadrangularis* frente a ocho aislados de *Fusarium solani*. En una segunda fase, se analizaron los genotipos de *P. edulis* Sims, *P. mucronata*, *P. foetida*, *P. nitida* y *P. morifolia* en relación con tres aislados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*. Entre los aislados de *Fusarium solani*, se observó que FS8A y FS3P mostraron mayor agresividad, lo que sugiere una variabilidad genética significativa entre los aislados. Las especies más resistentes a este patógeno fueron *P. nitida* y *P. foetida*. Respecto a los aislados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, no se encontraron diferencias significativas en los niveles de agresividad, y se determinó que las especies *P. mucronata* y *P. nitida* presentan mayor resistencia frente a esta cepa de *Fusarium*. En consecuencia, se destaca que los genotipos de *P. nitida*, *P. foetida* y *P. mucronata* podrían ser considerados como fuentes de resistencia valiosas para la mejora de los programas de cultivo comercial de maracuyá (Carvalho et al., 2021).

En Colombia (Patiño y Perez 2022), evaluaron la resistencia en dieciocho especies de la familia *Passifloraceae* a la pudrición del cuello, utilizaron un aislamiento altamente

virulento seleccionado mediante pruebas de patogenicidad con plantas de granadilla. Para la inoculación de *F. solani* f. sp. *passiflorae* siguieron el protocolo descrito por Ortiz y Hoyos (2012). Pudieron agrupar las accesiones en cuatro categorías según su nivel de resistencia o susceptibilidad al patógeno: resistentes, moderadamente resistentes, susceptibles y muy susceptibles. Las especies catalogadas como muy susceptibles presentaron síntomas de la enfermedad entre 6 y 9 días después de la inoculación, siendo las accesiones CP, PQ05, PE06, PE07 y PM01 las más afectadas. Por otro lado, las plantas clasificadas como susceptibles mostraron síntomas después de un periodo de incubación más prolongado, entre 10 y 21 días, incluyendo las accesiones PM008, PM03, PM009 y PA018. Según los resultados, después de la inoculación con el patógeno once especies de *Passifloras* fueron susceptibles, en contraste cinco genotipos de maracuyá (PE10, PE11, PE13, PE15 y PE17) y dos cholupas (PM02 y PM04), fueron resistentes ya que no manifestaron síntomas.

Prácticas culturales

El manejo cultural en el cultivo de pasifloras en Colombia se enfoca en prácticas que optimizan el crecimiento y la producción. Estas incluyen la selección de variedades adecuadas, uso de semillas sanas, manejo integrado de plagas y enfermedades, uso eficiente de fertilizantes y riego, podas para mejorar la ventilación y producción, implementación de zonas de desinfección para entrar al lote y sistemas de soporte como el uso de distintas estructuras de tutorado. Adicional a esto, es importante el monitoreo constante para ajustar estas prácticas según las condiciones específicas del cultivo (Rozo et al., 2008); Osorio et al., 2020; Ocampo et al., 2022.

Varios estudios en otros patosistemas de *Fusarium solani* han investigado el efecto de diferentes prácticas agrícolas en las

poblaciones de patógenos del suelo y la incidencia de enfermedades. Por ejemplo, se ha encontrado que el compostaje puede inactivar varios patógenos del suelo debido al calor generado durante el proceso, adicionalmente, la aplicación de compost como enmienda del suelo puede mejorar la supresión de enfermedades transmitidas por el suelo, incluyendo la pudrición del cuello. Sin embargo, una falencia del uso de compost es la falta de estandarización de los métodos de preparación y aplicación (Bollen *et al.*, 1989; Oroz *et al.*, 2021). Por otra parte, se ha observado que la irrigación a largo plazo puede afectar las comunidades de *Pythium*, *Fusarium* y *Rhizoctonia* en el suelo, lo cual a su vez influye en la incidencia de enfermedades como la pudrición de raíz en la soya (Liu *et al.*, 2020).

El manejo de enfermedades como la pudrición radicular en diferentes cultivos puede beneficiarse de un enfoque integrado. Esto puede incluir prácticas como la rotación de cultivos, diferentes sistemas de labranza, tratamiento de semillas (tanto químico como biológico), y técnicas de siembra como el uso de camas elevadas. Por ejemplo, en guisantes, se encontró que la combinación de siembra en camas elevadas y tratamiento de semillas con fungicidas o agentes de biocontrol como *Trichoderma harzianum* resultó en una menor incidencia e intensidad de la enfermedad comparado con la siembra en camas planas sin tratamiento de semillas (Nazir *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

El análisis bibliométrico ha demostrado ser una herramienta para evaluar la producción científica relacionada con *Fusarium solani* y su impacto en las pasifloras. Mediante el uso de ecuaciones de búsqueda y análisis cuantitativos, se lograron identificar los autores y países con mayor contribución

en esta área, así como las tendencias de investigación y las áreas menos exploradas. Lo anterior, proporciona una base importante para el desarrollo de estudios que promuevan estrategias de manejo efectivas y sostenibles. El complejo de especies *Fusarium solani*, muestra una notable variabilidad genética y adaptación a diferentes huéspedes, lo que complica su control y manejo en la agricultura. La subdivisión en formas especiales y la presencia de cromosomas supernumerarios que codifican factores de virulencia destacan la necesidad de enfoques específicos y avanzados para el control de enfermedades causadas por estos patógenos.

La presente revisión evidencia la importancia de la pudrición del cuello como una limitante significativa en la producción de pasifloras en Colombia y resalta la necesidad de profundizar en la investigación en este patosistema para desarrollar estrategias de manejo más efectivas. En Colombia, es bajo el número de investigaciones sobre la estructura genética del hongo presente en las pasifloras colombianas para identificar grupos genéticos, diversidad poblacional y la posibilidad de adaptación del patógeno a diferentes condiciones ambientales para la identificación de fuentes de resistencia genética en las plantas y el desarrollo de variedades tolerantes. A la vez, se debe avanzar en estudios epidemiológicos que permitan determinar la distribución y dispersión de *Fusarium solani* f. sp. *pasiflorae* con miras a generar estrategias de prevención basadas en la estimación del riesgo para la toma de decisiones de manejo que combine el uso de variedades resistentes, prácticas culturales adecuadas y productos biológicos a base de microorganismos y extractos vegetales, para reducir las pérdidas causadas por esta enfermedad en la producción de los sistemas de pasifloras colombianas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que este trabajo de revisión se realizó de manera independiente y objetiva, sin recibir ningún tipo de financiamiento externo que pudiera influir en los resultados o conclusiones presentadas. Ninguno de los autores tiene afiliaciones con empresas o instituciones que produzcan o comercialicen productos o servicios relacionados con los temas abordados en esta revisión. Asimismo, los autores no poseen patentes, acciones, ni consultorías que puedan generar un conflicto de intereses. La información presentada en este artículo se basa exclusivamente en la revisión exhaustiva de la literatura científica disponible y refleja el consenso actual en el campo.

AGRADECIMIENTOS

La presente revisión surgió a partir de la ejecución del proyecto “Estrategias de prevención de enfermedades limitantes de las pasifloras (gulupa, granadilla y maracuyá) en Colombia”, Resolución Número 000010 de 2021 (25 enero 2021), por medio de lo cual se realizó la transferencia de recursos a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia para la vigencia 2021, por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia - MADR.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, C., Bonilla, M. y Caetano, C. 2016.** Evaluación de la diversidad y patrones de distribución de *Passiflora* subgénero *Astropheia* (*Passifloraceae*) en Colombia. Un reto para la investigación taxonómica, florística y de conservación de las especies. *Acta Agronómica*, 65(4): 422-430.
- Ángel-García, C., Robledo-Buriticá, J., y Castaño-Zapata, J. 2018.** Comparación de métodos de inoculación de *Fusarium solani* f. sp. *passiflorae* en plántulas de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1): 23-31. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.659>

- Aria, M. y Cuccurullo, C. 2017.** Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4): 959–975. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Arif, M., Chawla, S., Zaidi, M. W., Rayar, J. K., Variar, M. y Singh, U. S. 2012.** Development of specific primers for genus *Fusarium* and *F. solani* using rDNA sub-unit and transcription elongation factor (TEF-1 α) gene. *African Journal of Biotechnology*, 11(2): 444-447.
- Asociación Hortifruticola de Colombia (Asohofrucol). 2024.** Panorama de Exportaciones Hortifrutícolas colombianas 2023. Unidad Técnica de Proyectos Asohofrucol. https://www.asohofrucol.com.co/img/archivosGeneralesFiles/2291Boletin_De_Exportaciones_2022-2023.pdf
- Asociación Nacional de Comercio exterior (Analdex). 2023.** Informe de las exportaciones colombianas de frutas 2022. <https://analdex.org/2023/04/20/informe-de-las-exportaciones-colombianas-de-frutas-2022/>
- Babadoost, M. 2018.** *Fusarium*: Historical and continued importance. *Fusarium—Plant Diseases, Pathogen Diversity, Genetic Diversity, Resistance and Molecular Markers*, 13-24.
- Booth, C. 1977.** *Fusarium*: laboratory guide to the identification of the major species. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England, 58 pp.
- Bollen, G. J., Volker, D. y Wijnen, A. P. 1989.** Inactivation of soil-borne plant pathogens during small-scale composting of crop residues. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 95, 19-30.
- Bueno, C. J., Fischer, I. H., Rosa, D. D. y Furtado, E. L. 2009.** Produção de enzimas extracelulares por *Fusarium solani* de maracujazeiro amarelo. *Tropical Plant Pathology*, 34, 343-346. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762009000500009>

- Bueno, C. J., Fischer, I. H., Rosa, D. D., Firmino, A. C., Harakava, R., Oliveira, C. M. G. y Furtado, E. L. 2014.** *Fusarium solani* f. sp. *passiflorae*: a new forma specialis causing collar rot in yellow passion fruit. *Plant Pathology*, 63(2): 382-389.
- Castañó-Zapata, J. 2009.** Enfermedades importantes de las pasifloráceas en Colombia. En: Miranda, D., Fischer, G., Carranza, C., Magnitskiy, S., Casierra, F., Piedrahíta, W., Flórez, L (eds.). *Cultivo, Poscosecha y Comercialización de las Pasifloráceas en Colombia: Maracuyá, Granadilla, Gulupa y Curuba*. Soc. Col. Ciencias Hort. p.223-245.
- Castañó-Zapata, J. 2015.** Principios básicos de hongos fitopatógenos. Centro Editorial Universidad de Caldas (Colombia). 362p.
- Carvajal, L., Turbay, S., Rojano, B., Álvarez, L., Restrepo, S., Álvarez, J., Bonilla, K., Ochoa, C. y Sánchez, N. 2011.** Algunas especies de *Passiflora* y su capacidad antioxidante. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(4): 354-363
- Carvalho, J. A. D., Jesus, J. G. D., Araujo, K. L., Serafim, M. E., Gilio, T. A. S. y Neves, L. G. 2021.** Passion fruit (*Passiflora* spp.) species as sources of resistance to soil phytopathogens *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* complex. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 43, e-427.
- Cavichioli, J. C., Corrêa, L. D. S., Boliani, A. C. y Santos, P. C. D. 2011.** Desenvolvimento e produtividade do maracujazeiro-amarelo enxertado em três porta-enxertos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 558-566.
- Cedeño, L., Prü, E.L.P., Marques N.J. y Tavira M.E. 1990.** *Nectria haematococca*, agente causal de la muerte repentina de la parchita em Venezuela. *Fitopatología Venezolana* 3, 15-18
- Çelik, Ş. 2024.** Bibliometric analysis of horticultural crop secondary metabolism. *Heliyon*, 10(4): e26079. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26079>
- Chatterjee, J. y Dethlefs, N. 2021.** Scientometric review of artificial intelligence for operations & maintenance of wind turbines: The past, present and future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 111051. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111051>
- Chen, Y. H., Lee, P. C. y Huang, T. P. 2021.** Biological Control of Collar Rot on Passion Fruits Via Induction of Apoptosis in the Collar Rot Pathogen by *Bacillus subtilis*. *Phytopathology*, 111(4): 627–638. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-20-0044-R>
- Cole, D.L., Hedges, R. y Ndowora T. 1992.** A wilt of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) caused by *Fusarium solani* and *Phytophthora nicotianae* var. *nicotianae*. *Tropical Pest Management* 38, 362-366
- Coleman, J. J. 2016.** The *Fusarium solani* species complex: ubiquitous pathogens of agricultural importance. *Molecular plant pathology*, 17(2): 146-158.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) 2022.** La fruta de la pasión nos apasiona. Disponible en: <https://www.agrosavia.co/noticias/la-fruta-de-la-pasi%C3%B3n-nos-apasiona#:~:text=Para%20evidenciar%20esta%20afirmaci%C3%B3n%2C%20en,seg%C3%BAAn%20la%20cadena%20de%20pasifloras>.
- Departamento Administrativo Nacional (DANE). 2021.** El cultivo del maracuyá, (*Passiflora edulis* L.) y un estudio de caso de los costos de producción en el municipio de Dabeiba (Antioquia). boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria.

- Departamento Administrativo Nacional (DANE) 2023.** Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario. Componente de Abastecimiento de Alimentos (SIPSA_A) Enero de 2023. Boletín Técnico
- Emechebe, A.M. y Mukiibi, J. 1976.** *Nectria* collar and root rot of passion fruit in Uganda. Plant Disease Reporter 60, 227-231
- El Hammoudani, Y., Dimane, F., Haboubi, K., Benaissa, C., Benaabidate, L., Bourjila, A., Achoukhi, I., El Boudammoussi, M., Faiz, H., Touzani, A., Moudou, M. y Esskifati, M. 2024.** Micropollutants in wastewater treatment plants: A bibliometric-bibliographic study. Desalination and Water Treatment, 317, 100190. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100190>
- Fischer, I.H., Lourenço, A.S., Martins, M.C., Kimati, H. y Amorim, L. 2005.** Seleção de plantas resistentes e de fungicidas para o controle da podridão do colo do maracujazeiro causada por *Nectria haematococca*. Fitopatologia Brasileira 30, 250-258
- Fischer, I.H. y Rezende, J.A.M. 2008.** Diseases of passionflower (*Passiflora* spp.). Pest Technology, Isleworth, 2 (1): 1-19.
- Geiser, D. M., Al-Hatmi, A. M., Aoki, T., Arie, T., Balmas, V., Barnes, I. y Viljoen, A. 2021.** Phylogenomic analysis of a 55.1-kb 19-gene dataset resolves a monophyletic *Fusarium* that includes the *Fusarium solani* species complex. Phytopathology, 111(7): 1064-1079.
- Hao, C. H., Chai, X., Wu, F. C. y Xu, Z. F. 2021.** First Report of Collar Rot in Purple Passion Fruit (*Passiflora edulis*) Caused by *Neocosmospora solani* in Yunnan Province, China. Plant Disease, 105(11): 3750.
- Junqueira, N. T., Braga, M. F., Faleiro, F. G., Peixoto, J. R. y Bernacci, L. C. 2005.** Potencial de espécies silvestres de maracujazeiro como fonte de resistência a doenças. En: Faleiro, F. G., N. T. Junqueira y M. F. Braga (eds.). Maracujá: germoplasma e melhoramento genético. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados. Brasil. Cap. 4 p. 81 - 108.
- Leslie, J.F. y Summerell, B.A. 2006.** The *Fusarium* Laboratory Manual. Ames, Iowa, USA: Blackwell Publishing. 387 p
- Lin, Y.S. y Chang, H.J. 1985.** Collar rot of passion fruit possibly caused by *Nectria haematococca* in Taiwan. In: Parker CA, Rovira AD, Moore KJ, Wong PTW, Kollmorgen JF (Eds) Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens, APS Press, St Paul, Minnesota, pp 41-45
- Li DF Yang, J.Q., Zhang, X.Y. y Sun, L.F. 1993.** Identification of the pathogen causing collar rot of passion fruit in Fujian. Acta Phytopathologica Sinica 23, 372
- Link, H.F. 1809.** Observations in ordines plantarum natural, dissertation. Magazin der Gesellschaft Naturforschenden Freunde Berlin. 1809; 3:3-42
- Liu, B., Wei, H., Shen, W. y Smith, H. 2020.** Long-term effect of non-irrigation and irrigation on soil *Pythium*, *Fusarium*, and *Rhizoctonia* communities and their relation with seed-rot, root-rot, and damping-off of soybean. European Journal of Plant Pathology, 158, 297-314.
- Lo, P. H., Huang, J. H., Chang, C. C., Namisy, A., Chen, C. Y. y Chung, W. H. 2025.** Diversity and characteristics of *Fusarium solani* species complex (FSSC) isolates causing collar rot and fruit rot of passion fruit in Taiwan. Plant disease, 109(1): 170–182. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-24-1161-RE>

- Lutchmeah, R.S. 1992.** A new disease of passion fruit in Mauritius: postharvest stem-end rot caused by *Phomopsis tersa*. *Plant Pathology* 41, 772-773.
- Mao, Y., Zhang, Z., Shen, J., Yin, X., Wang, T., Zheng, X. y Duan, Y. 2023.** The intrinsic resistance of *Fusarium solani* to the *Fusarium*-specific fungicide phenamacril is attributed to the natural variation of both T218S and K376M in myosin5. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 196, 105595. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2023.105595>
- Marostega, T. N., Preisigke, S. C., Chimello, A. M., Silva, G. C., Gilio, T. A., Araújo, K. L. y Neves, L. G. 2021.** Different strategies for estimating genetic parameters for collar rot resistance characteristics in *Passiflora* spp. *Chilean journal of agricultural research*, 81(3): 281-290.
- Martinez-Lemus, E. P., Osorio-Cardona, J. A., Hio, J. C., Cruz-Castiblanco, G. N., Aguirre-Rodríguez, J. E., Rojas-Zambrano, E. D. y Vergara-Avila, J. A. 2023.** Artificial infection with *Fusarium solani* f.sp. *passiflorae* in plants of passion fruit under controlled conditions. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 40(3): e3219. <https://doi.org/10.22267/rcia.20234003.219>
- Matuo, T. y Snyder, W. C. 1973.** Host virulence and the *Hypomyces* stage of *Fusarium solani* f. sp. *passiflorae*. *Phytopathology* 62: 731-735.
- Mendes, D. B., Silva, F. F. da., Guarda, P. M., Almeida, A. F. de. y Guarda, E. A. 2022.** Lipasa de *Fusarium solani*: optimización de las condiciones de cultivo, propiedades bioquímicas y producción. *Research, Society and Development*, 11(11), e191111133447. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33447>
- Ministerio de Agricultura Desarrollo Rural (MADR). 2019.** Cadena de las pasifloras. Indicadores e instrumentos. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales Diciembre 2019.
- Ministerio de Agricultura Desarrollo Rural (MADR). 2021.** Cadena de las Pasifloras. Indicadores e instrumentos. Primer Trimestre 2021.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). 2022.** La fruta de la pasión nos apasiona. Agronet. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/La-fruta-de-la-pasi%C3%B3n-nos-apasiona.aspx>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). 2025.** Agronet: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo - Estadísticas maracuyá, gulpa y granadilla. Agronet. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Moura, R. M. y Regis, E. M. O. 1987.** Reações de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*) em relação ao parasitismo de *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* (Nematoda: *Heteroderidae*). *Nematologia Brasileira*, 11, 215-225.
- Nalim, F.A., Samuels, G.J., Wijesundera, R.L. y Geiser, D.M. 2011.** New species from the *Fusarium solani* species complex derived from perithecia and soil in the Old World tropics. *Mycologia*, 103, 1302–1330. <https://doi.org/10.3852/10-307>
- Nelson, P.E., Toussoun, T.A. y Marasas, WFO. 1983.** Especies de *Fusarium: Un manual ilustrado para su identificación*. University Park, Pensilvania, Estados Unidos: Pennsylvania State University Press.
- Nazir, N., Badri, Z. A., Bhat, N. A., Bhat, F. A., Sultan, P., Bhat, T. A. y Sakina, A. 2022.** Effect of the combination of biological, chemical control and agronomic technique in integrated management pea root rot and its productivity. *Scientific Reports*, 12(1), 11348. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15580-1>

- Ocampo, J. 2013.** Diversidad y distribución de las *Passifloraceae* en el departamento del Huila en Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(3): 511-516. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2013000300010&lng=en&nrm=iso
- Ocampo, J., Coppens, G., Restrepo, M., Jarvis, A., Salazar, M. y Caetano, C. 2007.** Diversity of Colombian *Passifloraceae*: biogeography and an updated list for conservation. *Biota Colombiana*, 8(1): 1-45
- Ocampo, J. A., Velásquez, A. I. y Velásquez, J. O. 2020.** A rediscovery for the Colombian flora: *Passiflora mariquitensis* Mutis ex L. Uribe (*Passifloraceae*), a species lost for more than two centuries. *Check List*, 16(6): 1591-1602. doi: 10.1080/10496475.2023.2181260
- Ocampo, J., Morillo-Coronado, Y., Espinal, F. y Moreno, I. 2022.** Tecnología para el cultivo del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) en Colombia. Universidad Nacional de Colombia y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia Palmira. Palmira, Colombia. 90 p. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83650>
- O'Donnell, K. 2000.** Molecular phylogeny of the *Nectria haematococca*–*Fusarium solani* species complex. *Mycologia*, 92, 919–938
- O'Donnell, K., Sutton, D.A., Fothergill, A., McCarthy, D., Rinaldi, M.G., Brandt, M.E., Zhang, N. y Geiser, D.M. 2008.** Molecular phylogenetic diversity, multilocus haplotype nomenclature, and in vitro antifungal resistance within the *Fusarium solani* species complex. *J. Clin. Microbiol.* 46, 2477–2490. <https://doi.org/10.1128/JCM.02371-07>
- Oostenbrink, M. 1966.** Major characteristics of the relation between nematodes and plants. *Mendelingen Landbouwhogeschool*, 66(4): 1-46.
- Oroz, V., Tomócsik, A., dmeter, I., Aranyos, T. y Makádi M. 2021.** Control of plant pathogen *Fusarium* spp. with compost, compost tea application – A review. *COLUMELLA – Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 8(2):55-71. <https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2021.8.2.55>
- Ortíz, E. y Hoyos, L. 2012.** Description of the symptomatology associated with fusariosis and its comparison with other diseases for the purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.) in the Sumapaz región (Colombia). *Rev. Col. Ciencias Hort.* 6(1):110-116. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732012000100011&lng=en&nrm=iso
- Ortíz, E., Cruz, M., Melgarejo, L.M., Marquínez, X. y Hoyos-Carvajal, L. 2014.** Histopathological features of infections caused by *Fusarium oxysporum* and *F. solani* in purple passionfruit plants (*Passiflora edulis* Sims). *Summa Phytopathol. (Brasil)*. 40(2):134-140.
- Osorio Cardona, J. A., Martínez Lemus, E. P., Hio, J. C., Aguirre Rodríguez, J. E., Vergara Ávila, J. A., Luque Sanabria, N. Y. y Rojas Zambrano, E. D. y Cruz Castiblanco, G. N. 2020.** Caracterización sanitaria de los cultivos de granadilla, gulupa y maracuyá en Colombia, con especial referencia a la secadera causada por *Fusarium solani* f. *sp. passiflorae*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).
- Ortega, R. I. y Acosta, I. 2021.** Degradación de polietileno de baja densidad por *Fusarium solani*. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 12(2): 13-31.

- Pacheco, M. M. M., García, A. F., Jaramillo, M. A. Z., Parga, M. C. C. y Navarrete, M. A. 2020.** Optimization of production of xylanases with low cellulases in *Fusarium solani* by means of a solid-state fermentation using statistical experimental design. *Revista argentina de microbiología*, 52(4): 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.12.003>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S. y Moher, D. 2021.** The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Patiño-Pacheco, M. y Pérez-Cardona, O. 2021.** Evaluación de la resistencia de genotipos de *Passifloras* a *Fusarium solani* f.sp. *passiflorae* en granadilla. *Entramado*, 17(2), 256-267. Epub January 29, 2022. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.682>
- Perea, M., Fisher, G. y Miranda, D. 2010.** *Passifloraceae* passifloras maracuyá, granadilla, curuba, gulupa. En M. Perea, L. Matallana, & A. Tirado (Eds.), *Biotechnología aplicada al mejoramiento de los cultivos de frutas tropicales* (pp. 350-390). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ploetz, RC. 1991.** Sudden wilt of passionfruit in southern Florida caused by *Nectria haematococca*. *Plant Disease* 75, 1071-1073
- Ponts, N., Gautier, C., Gouzy, J., Pinson-Gadais, L., Foulongne-Oriol, M., Ducos, C. y Barroso, G. 2020.** Evolution of *Fusarium tricinctum* and *Fusarium avenaceum* mitochondrial genomes is driven by mobility of introns and of a new type of palindromic microsatellite repeats. *BMC Genomics* 21, 358 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6770-2>
- Power R.H. y Verhoeff, K. 1984.** Dieback of passionfruit in Surinam. *Phytopathologische Zeitschrift* 110, 336-345
- Preisigke, S. D. C., Neves, L. G., Araújo, K. L., Barbosa, N. R., Serafim, M. E. y Krause, W. 2015.** Multivariate analysis for the detection of *Passiflora* species resistant to collar rot. *Bioscience Journal*, 31(6), 1700-1707.
- Preisigke, S. D. C., Silva, L. P. D., Serafim, M. E., Bruckner, C. H., Araújo, K. L. y Neves, L. G. 2017.** Seleção precoce de espécies de *Passiflora* resistente a fusariose. *Summa Phytopathologica*, 43(4), 321-325.
- R Core Team. 2023.** *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <https://www.R-project.org/>
- Rocha, L. D. S., Xavier, A. A. y Ribeiro, R. C. F. 2021.** Reaction of passion fruit genotypes to the complex *Meloidogyne incognita* and *Fusarium solani*. *Revista Caatinga*, 34, 605-613. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n312rc>
- Rozo Wilches, L. S., Ruiz Quiñónez, N., Quiroga Rojas, M. F., Sandoval Lozano, L. A. y Lozano Tovar, M. D. 2008.** Manual del manejo preventivo de la secadera (*Fusarium* sp.) en el cultivo *del maracuyá*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA

- Sáenz, V., Lizcano Salas, A. F., Gené, J. y Celis Ramírez, A. M. 2024. *Fusarium* and *Neocosmospora*: fungal priority pathogens in laboratory diagnosis. *Critical Reviews in Microbiology*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2024.2369693>
- Schoch, C. L., Ciufu, S., Domrachev, M., Hotton, C. L., Kannan, S., Khovanskaya, R., Leipe, D., Mcveigh, R., O'Neill, K., Robbertse, B., Sharma, S., Soussov, V., Sullivan, J. P., Sun, L., Turner, S. y Karsch-Mizrachi, I. 2020. NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. *Database: the journal of biological databases and curation*, 2020, baaa062. <https://doi.org/10.1093/database/baaa062>.
- Silva, A. D., Azevedo, G. D., Rocha Sobrinho, G. G. y Novaes, Q. D. 2014. Effect of chemical products and use of the *Trichoderma* spp. for control of *Fusarium solani* in passion fruit trees. *Interciencia*. 39. 398-403.
- Silva, A., Oliveira, J., Haddad, F., Ferraz, F., Nunnes, O., Santos, S., Pereira, M. y Freitas, P. 2013. Identification of passion fruit genotypes resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*. *Tropical Plant Pathology (Brasil)*. 38(3):236-242. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762013005000008>
- Singh, P., Vaishnav, A., Singh, S. y Sahu, J. 2019. A scientometric analysis on WoS reports to evaluate the research on *Fusarium oxysporum* since 2009. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 52, 795–812. <https://doi.org/10.1080/03235408.2018.1564429>
- Taqi, M., Rusydiana, A., Kustiningsih, N. y Firmansyah, I. 2021. Environmental Accounting: A Scientometric using Biblioshiny. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11, 369–380. <https://doi.org/10.32479/ijee.10986>
- Taylor, A. L. y Sasser, J. N. 1983. *Biología, identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz*. Universidad de Carolina del Norte, 111.
- Tripathy, P., Jena, P. K. y Mishra, B. R. 2024. Systematic literature review and bibliometric analysis of energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 200, 114583. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114583>
- Valencia-Guerrero, M. F., Quevedo-Hidalgo, B., Franco-Correa, M., Díez-Ortega, H., Parra-Giraldo, C. M. y Rodríguez-Bocanegra, M. X. 2011. Evaluación de actividades enzimáticas de *Fusarium* spp., aislados de lesiones en humanos, animales y plantas. *Universitas Scientiarum*, 16(2): 147-159. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-74832011000200004&lng=en&tling=es
- Zhang, H., Zeng, Y., Wei, T. P., Jiang, Y. L. y Zeng, X. Y. 2023. Endophytic *Fusarium* and allied fungi from *Rosa roxburghii* in China. *Mycosphere*, 14(1): 2092-2207. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/14/1/25>
- Zhou, Y., Liu, Y., Tang, J. y Xu, X. 2021. Stem collar rot of passion fruit caused by *Fusarium solani* in Zhanjiang, China. *Journal of Plant Pathology*, 103: 739-739. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-74832011000200004&lng=en&tling=es