

Artículo de revisión

***Bacillus subtilis* Cohn como biocontrolador de enfermedades radicales en los cultivos de especies de Solanaceae**

Bacillus subtilis Cohn as a biocontroller of root diseases in crops of Solanaceae species

Pérez Kleiver A.¹, Castellanos Leónides², Escalante Juan Carlos³

¹Ingeniero Agrónomo en ejercicio libre. Pamplona, Norte de Santander. Código postal: 543058. Correo: kleiverarmando1998@hotmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5245-1837>. ²Ingeniero Agrónomo, PhD. Profesor tiempo completo. Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Pamplona, Dirección: Vía A Bucaramanga #Km 1, Pamplona, Norte de Santander. Código postal: 543058. Tel: (57+3166993265). Correo: lclcastell@gmail.com. Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-9285-4879>. ³Licenciado en Administración de Empresas Agropecuarias, MSc, profesor horas cátedras de la Universidad de Pamplona, Grupo de Investigación en Agricultura y Ganadería sostenible (GIAS). Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Zootecnia. Dirección: Vía A Bucaramanga #Km 1, Pamplona, Norte de Santander. Código postal: 543058. Correo: jcescalante1212@gmail.com. Orcid ID: 0000-0003-0754-0774.

RESUMEN

La familia Solanaceae es de gran importancia económica por la cantidad de especies cultivables que representa en Colombia y el mundo; sin embargo, las especies de esta familia se han visto afectadas por diversos microorganismos fitopatógenos que afectan su sistema radicular, siendo una de las limitantes en la producción de los cultivos. El control de estas enfermedades es complicado ya generalmente se realiza con productos agroquímicos los cuales han venido causando grandes impactos ambientales, por lo cual surge la necesidad de realizar controles más amigables con el ambiente como lo son los controladores biológicos antagonistas como *B. subtilis* que ha permitido controlar algunos de estos patógenos. El objetivo de esta investigación fue contribuir a la divulgación de la información existente sobre *Bacillus subtilis* Cohn como biocontrolador de enfermedades radicales en los cultivos de especies de Solanaceae, para lo cual se realizó una compilación de documentos actualizados de diferentes países referente a este tema. En los documentos compilados se investigó la eficacia o el efecto de *B. subtilis* como antagonistas de enfermedades causadas en las solanáceas por varios hongos tanto foliares como del suelo entre los que se ubicaban los géneros *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Sclerotinia*, *Alternaria*, así como cromistas del género *Phytophthora* y bacterias de los géneros *Erwinia*, *Ralstonia* y *Streptomyces*.

Palabras clave: bacterias, hongos, cromistas, papa, tomate, fitopatógenos.

ABSTRACT

The Solanaceae family is of great economic importance due to the number of cultivable species it represents in Colombia and the world; However, the species of this family have been affected by various phytopathogenic microorganisms that affect their root system, being one of the limitations in the production of crops. The control of these diseases is complicated and is generally carried out with agrochemical products which have been causing great environmental impacts, for which the need arises for more environmentally friendly controls such as antagonistic biological controllers such as *B. subtilis* that has made it possible to control some of these pathogens. The objective of this research was to contribute to the dissemination of existing information on *Bacillus subtilis* Cohn as a biocontroller of root diseases in crops of Solanaceae species, for which a compilation of updated documents from different countries on this topic was made. In the compiled documents, the efficacy or effect of *B. subtilis* as antagonists of diseases caused in Solanaceae by various fungi, both foliar and soil, were investigated, among which were the genera *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Sclerotinia*, *Alternaria*, as well as chromists of the genus *Phytophthora* and bacteria of the genera *Erwinia*, *Ralstonia* and *Streptomyces*.

Keywords: bacteria, fungi, chromist, potato, tomato, phytopathogens

Recibido: 30-03-2021

Aceptado: 30-05-2021

Publicado: 30-05-2021

Autor de correspondencia: Castellanos Leonides.
Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Pamplona. Correo electrónico: lclcastell@gmail.com

Introducción

La producción de los cultivos de solanáceas juega un papel importante en la economía colombiana por su amplia cantidad de especies cultivables, entre las que se encuentran los cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.), tomate (*Solanum lycopersicon* L.), uchuva (*Physalis peruviana* L.), lulo (*Solanum quitoense* Lam.), tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) y pimentón (*Capsicum annum* L.) (Carreño *et al.*, 2007).

Históricamente en estos cultivos se han venido presentando pérdidas de producción por problemas de enfermedades radiculares causadas por patógenos de diferente tipo. Estas enfermedades son causadas por diferentes géneros de hongos y cromistas patógenos como *Fusarium* spp., *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., *Rhizoctonia solani* Kühn., *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary), *Verticillium dahliae* Kleb. Éstos son algunos de los patógenos más conocidos por su alta incidencia y las importantes pérdidas económicas que generan en los cultivos de solanáceas, el control de estos patógenos generalmente se realiza con agroquímicos los cuales generan alta contaminación y deterioro al medio ambiente, por ende surge la necesidad de presentar otras alternativas de controles amigables con el ambiente y la salud humana, encontrando allí los microorganismos antagonistas que funcionan como método de control biológico (Bernal, 2010)

Existen muchos microorganismos del suelo que ejercen cierto grado de control biológico sobre muchos fitopatógenos, entre estos encontramos los antagonistas, tales como: *Bacillus subtilis* Cohn, la cual es una bacteria cosmopolita presente en numerosos hábitats y resulta ser un excelente agente de control biológico de enfermedades causadas por hongos y pseudohongos del suelo como *Sclerotium rolfii* Sacc., *Fusarium* spp., *Verticillium* spp., *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary), *Phytophthora capsici* Leo., *Pythium* spp. y *Rhizoctonia solani* Kühn, (Calderón *et al.*, 2002).

La presente revisión tuvo como objetivo compilar la información científica referida a *Bacillus subtilis* Cohn como biocontrolador de enfermedades en los cultivos de especies de Solanaceae en los últimos diez años.

La investigación se ejecutó en el período comprendido entre julio de 2020 y noviembre de 2020. Realizando una investigación documental descriptiva (Hernández *et al.*, 2014) del tipo analítica (Jordi *et al.*, 2016) donde las unidades de análisis fueron artículos y tesis recopilados en una búsqueda bibliográfica.

Este trabajo se involucró la compilación de información actualizada de artículos publicados por las revistas y tesis de investigación seleccionadas para realizar esta compilación de información sobre *B. subtilis* como controlador biológico de patógenos que causan enfermedades radiculares en los cultivos de solanáceas de mayor importancia económica en Colombia. Este proceso de dio durante tres diferentes etapas.

Se realizó la recopilación de información de artículos publicados en revistas y tesis de investigación que presenten alta validez en su información, buscando de tal modo se presentara un documento monográfico con información de trabajos realizados en los últimos años, entre estas revistas se encuentran la revista Agronomía Colombiana la cual es un medio de difusión científico-técnico del sector agrícola del país, editada por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá; la Revista de Ciencias Agrícolas siendo ésta un medio de publicación de investigación científica y tecnológica, editada por la facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño; la Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) realizando publicaciones oficiales de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), destinada a publicar artículos resultado de las investigaciones originales en el área Agraria, Ambiental y afines. La revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Esta revista publica artículos de investigación, de reflexión y de revisión, editada por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. La revista Ciencia y Agricultura es una revista internacional que busca publicar avances científicos originales desarrollados por investigadores de varias universidades y centros de investigación nacionales en torno a las ciencias agrícolas, es editada por la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Para la investigación se consultó información en cuenta las búsquedas en las bases de datos pagas por la Universidad de Pamplona donde se encontraron las tesis documentadas en el trabajo ya algunos de los artículos, las bases de datos manejadas fueron: Scopus siendo esta una base de datos de referencias bibliográficas, de literatura peer review y contenido web de calidad, con herramientas para el seguimiento, análisis y visualización de la investigación. SpringerLink es una base de datos de la prestigiosa editorial Springer que contiene aproximadamente 6.500 e-books a texto completo en 12 áreas del conocimiento, con información de alta calidad científica y académica presentándose como una excelente herramienta para realizar búsquedas de artículos. Science Direct es la plataforma digital y base de datos que permite consultar las publicaciones de la que probablemente sea la editorial científico-académica más importante del mundo, Elsevier. Taylor and Francis, es una innovadora plataforma y base de datos académicos, que permite acceder a documentos completos de publicaciones de la editorial del mismo nombre.

El trabajo fue de tipo descriptivo se iniciando con la búsqueda de los documentos los cuales se buscará mediante palabras clave entre las que encontramos *B. subtilis* como controlador biológico de hongos del suelo y *B. subtilis* control biológico de enfermedades radiculares en solanáceas, luego se procederá a extraer los documentos y

artículos con información de alta calidad científica e investigativa con respecto al tema, la metodología que se empleó en el estudio fue compilar y resaltar los aspectos más importantes sobre el tema, realizando una muestra de artículos y tesis publicados en los últimos años.

Para el análisis de la información se tuvieron en cuenta diferentes criterios los cuales fueron que el autor presentara una profesión en el ámbito agronómico en cuanto a los artículos que autor perteneciera alguna institución académica o de investigación, en cuanto al documento que este presentara información precisa, además que indicara las fuentes de información utilizada y se encuentren bien citadas, de igual manera que el autor presente unos resultados confiables de su investigación, así mismo que las conclusiones que realizo sean argumentadas y fundamentadas, por otra parte en el análisis se tuvo en cuenta la fecha en que fue publicado el artículo o presentada la tesis, que los datos contenidos en las publicaciones si estén actualizados ya que el objetivo fue presentar un documento con información actualizada que esta información si fuese de acuerdo con el tema.

En total se compilaron 12 tesis y 14 artículos científicos que abordaron investigaciones para el control de patógenos en las solanáceas con *B. subtilis* contra diferentes patógenos que afectan a las solanáceas. A continuación, se analizan los resultados sobre los patógenos o grupos de estos:

Ralstonia solanacearum

En cuanto al uso de *Bacillus subtilis* contra *Ralstonia solanacearum* se encontraron tres investigaciones realizadas por diferentes autores, los cuales reportan la implementación del antagonista para logra control dicho patógeno en diferentes cultivos (Tabla 1).

Tabla 1. *B. subtilis* como antagonista de *Ralstonia solanacearum*.

Título	Cultivo	Referencia
Evaluation of rhizosphere bacterial antagonists for their potential to bioprotect potato (<i>Solanum tuberosum</i>) against bacterial wilt (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	Papa	Aliye <i>et al.</i> (2008)
Bacterias antagonistas para el control biológico de <i>Ralstonia solanacearum</i> (E. F. Smith) en tomate (<i>Solanum lycopersicon</i> L.)	Tomate	Valdez (2016)
Sustainable management strategies for bacterial wilt of sweet peppers (<i>Capsicum annuum</i>) and other Solanaceous crops	Pimientos dulces	Mamphogoro y Babalola (2020)

Fuente: Autores

Aliye *et al.* (2008) señala que *B. subtilis* fue uno de los antagonistas bacterianos de mayor eficiencia en el control de *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de papa. Este antagonista fue aislado de un campo de papa donde no se presentó registros de enfermedad de marchitez bacteriana.

El antagonista fue eficaz para suprimir el del patógeno tanto in vitro como a nivel de estudios de campo, concluyendo que este antagonista puedes ser parte den un paquete integrado para manejo de la enfermedad marchitamiento bacteriano.

Valdez (2016) realizó un aislamiento de microorganismos antagonistas para el control de *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de tomate con el fin de encontrar cual en era controlador bilógico más eficiente para este patógeno que causa grandes pérdidas en el cultivo. Para determinar que la bacteria pertenecía a la especie *B. subtilis* realizaron pruebas moleculares las cuales les dieron una identidad de 99 a 100 % de la bacteria, luego de identificada el antagonista determinaronel nivel de control contra *R. solanacearum* llegando a obtener hasta un 80 % de efectividad biológica con respecto al testigo.

Mamphogoro y Babalola (2020) evaluaron estrategias de manejo sostenibles para el marchitamiento de pimiento dulce y otros cultivos de solanáceas, haciendo uso de diversas rhizobacteria antagonistas como lo fueron *B. cereus*, *P. putida*, *B. subtilis*, *Paenibacillus macerans*, *Serratia marcescens*, *B. pumilus* y *P. fluorescens*. Determinaron que el control biológico de la enfermedad del marchitamiento bacteriano puede lograrse mediante el uso de rhizobacteria antagonistas y bacterias epífitas como *B. cereus*, *B. pumilus*, *B. subtilis*, lo cual remite concluir el género *Bacillus* si logra controlar eficazmente este patógeno, además que *B. subtilis* es una de las especies que permite realizar control esta enfermedad en el cultivo de pimiento.

Rhizoctonia solani

En cuanto al control bilógico de *Rhizoctonia solani* en cultivos de la familia solanaceae por medio del antagonista *B. subtilis*, se encontraron cinco investigaciones en dos cultivos de importancia económica como lo es la papa y el tomate (Tabla 2).

Tabla 2. Documentos sobre *B. subtilis* como antagonista de *Rhizoctonia solani*.

Título	Cultivo	Referencia
Biocontrol of <i>Rhizoctonia solani</i> Damping-off of tomato With <i>Bacillus subtilis</i> RB14.	Tomate	Asaka y Shoda (1996)
Characterization of Mycolytic Enzymes of <i>Bacillus</i> Strains and Their Bio-Protection Role Against <i>Rhizoctonia solani</i> in Tomato	Tomate	Kumar <i>et al</i> (2012)
Control biológico de <i>Rhizoctonia solani</i> kühn en papa (<i>Solanum tuberosum</i> L), mediante diferentes concentraciones y formulados de una cepa de <i>Bacillus subtilis</i> Cohn.	Papa	Barahona <i>et al</i> (2012)
<i>Bacillus subtilis</i> Hussain T- AMU and its Antifungal activity against Potato Black scurf caused by <i>Rhizoctonia solani</i> on seed tubers	Papa	Hussain y Khan (2020)
Biological control of soilborne diseases in organic potato production using hypovirulent strains of <i>Rhizoctonia solani</i>	Papa	Larkin (2020)

Fuente: Autores

Asaka y Shoda (1996) investigaron el efecto de *B. subtilis* contra el empapado de las plántulas de tomate causado por *R. solani*. Diseñaron una metodología la cual fue plantar las plántulas en macetas donde unas de estas fueron infestadas con el patógeno, y otras no, las macetas que no fueron infestadas las plántulas crecieron normalmente y no se presentó la enfermedad, sin embargo en las macetas infectadas el porcentaje de incidencia del patógeno fue de 85,2 % las cuales fueron tomadas como testigos mientras tanto los tratamientos tratados con *B. subtilis* el porcentaje de la enfermedad disminuyó al 16,7 % lo cual permitió concluir que *B. subtilis* es eficaz para el control biológico de este patógeno.

Kumar *et al.* (2012) investigó en el cultivo de tomate donde evaluó la efectividad de cuatro cepas de *Bacillus* spp, dos de estas pertenecían a la especie de *B. subtilis* las cuales fueron denominadas con las siglas MB3 y MB14, las otras dos sepas pertenecían a las especies de *B. megaterium* denominada con las siglas MB3 y *B. amyloliquefaciens* denominada MB101, todas estas fueron evaluadas obteniendo como resultados que la sepa *B. megaterium* fue la que presentó menor porcentaje de control con respecto a las otras tres cepas, mientras que las dos cepas *B. subtilis* presentaron un control similar, en cambio la cepa de MB101 ejerció un mayor control de la enfermedad (70 %), lo cual permitió concluir que las cuatro cepas de *Bacillus* proporcionaron control del patógeno.

Barahona *et al.* (2012) evaluó a nivel de campo la capacidad antagonista de *B. subtilis* frente a *R. solani*, agente causal de la costra negra de la papa. Se emplearon varias formulaciones; bioformulación líquida concentrada y capsulas los dos se evaluaron en suelo infectados por el patógeno además los tubérculos – semilla también estaban infestados de *R. solani*, obteniendo como resultados que las aplicaciones del antagonista como bioformulación líquida con una frecuencia de cada 4 semanas presenta una mayor capacidad de inhibitoria frente a *R. solani* donde la incidencia en los nuevos tubérculos solo fue de un 4,7 %, el segundo método presentó un menonivel de control, lo cual indica que la mejor forma de aplicación de antagonista es por medio de bioformulación líquida.

Hussain y Khan (2020) demostraron que las cepas de *B. subtilis* logran una inhibición significativa del crecimiento del micelio de *R. solani* en comparación con el control tradicional del manejo de la enfermedad en el cultivo, para llegar a esta afirmación los investigadores evaluaron la cepa de *B. subtilis* HussainT-AMU como antagonista de *R. solani* en el cultivo de papa a nivel de campo e in vitro donde obtuvieron como resultados la disminución de la incidencia de la enfermedad. In vitro se obtuvo una eficacia de un 71 %, mientras que a nivel de campo solo se logró llegar a un 50 % de control. Esta diferencia se pudo deber a que las condiciones de la maceta fueron más favorables para que antagonista lograra una mayor capacidad de colonización por ende un mejor control.

Larkin *et al.* (2020) realizó una investigación en el control biológico de *R. solani* en papa con *B. subtilis*, el cual demostró que presentaba actividad en la supresión de la enfermedad indicando que el manejo de este es relativamente viable gracias a su grado de control en cual fue de aproximadamente un 50 %.

Fusarium spp.

El género *Fusarium* spp. ha venido presentado pérdidas en los cultivos de la familia de las solanáceas por ende se ha convertido en un patógeno de vital importancia de control. Ensayos con *B. subtilis* demostraron que es un eficiente supresor de esta enfermedad. En las investigaciones realizadas se encontraron cinco importantes trabajos que muestran que tan efectivo es el control del antagonista sobre este patógeno (Tabla 3).

Tabla 3. Compilación de *B. subtilis* como antagonista de *Fusarium* spp.

Título	Cultivo	Referencia
Aplicación de <i>Bacillus</i> spp. Para el control biológico de <i>Fusarium oxysporum</i> Schlechtend. f. sp. <i>Radici-lycopersici</i> en tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i> L.)	Tomate	Lugo (2011)
<i>Bacillus</i> spp. En el control de la marchitez causada por <i>Fusarium</i> spp. en <i>Capsicum chinense</i>	Chile habanero	Mejía <i>et al.</i> (2016)
Control del marchitamiento vascular de la uchuva basado en mezclas de microorganismos rizosféricos provenientes de suelos potencialmente supresivos.	Uchuva	García (2018)
Antagonismo de <i>Bacillus subtilis</i> sobre hongos fitopatógenos y su efecto en <i>Capsicum</i> spp.	<i>Capsicum</i> spp.	Bacab (2019)

Fuente: Autores.

Lugo (2011) aplicó en el cultivo de tomate de bacterias antagonistas del género *Bacillus*, implementando tres bioensayos de los cuales los primeros dos se realizaron con *Bacillus subtilis* y el último como *B. thuringiensis*, para el control de *F. oxysporum* Schlechtend. En el primer bioensayo se observó que la aplicación de una de las cepas de *B. subtilis*, identificada como 144, demostró ser potencialmente antagonista contra *F. oxysporum* obteniendo un 87 % de control, con respectos a los dos siguientes bioensayos con *B. subtilis* denominado (145) y *B. thuringiensis* llamado (537) presentaron menor grado de control son respecto a la cepa 144 (40 y 52 %), por otra parte se logró determinar que las dos cepas de *B. subtilis* no presentan un mismo grado de control por ende no se podría indicar que las cepas *B. subtilis* sean totalmente eficientes en el control biológico de esta enfermedad.

Mejía *et al.* (2016) evaluó el antagonismo in vitro de diez cepas de *Bacillus* contra *F. equiseti* y *F. solani*, todas las cepas bacterianas inhibieron el crecimiento micelial entre 21,28 y 71,70 %, Los dos patógenos mostraron 100 % de incidencia de la enfermedad en plántulas de chile habanero y severidad de 90,0 % por *F. solani* y 77,5 % por *F. equiseti*. En pruebas de resistencia a la marchitez se

utilizaron cuatro cepas de *Bacillus* con base en la actividad antagonista, además se realizaron tres inoculaciones en la base del tallo a los 15, 28 y 35 días después de la germinación, se obtuvo que *B. subtilis* y *B. cereus* redujeron la severidad de la enfermedad ocasionada por *F. equiseti*, y para *F. solani*, en un 47,7, 37,8 y 50,9 % respectivamente a los 28 días de la evaluación.

García (2018) evaluó el efecto potencial de supresividad del suelo rizosférico y de sus microorganismos cultivables en el control del marchitamiento vascular producido por *F. oxysporum* en uchuva. Utilizó suelo rizosférico previamente propagado con microbio para evaluar su efecto en la reducción de la enfermedad. Los microbianos presentes en estos suelos lograron un control superior al 80 % atribuido a 12 antagonistas, entre ellos estaba *B. subtilis*. Con estos resultados, se plantea una alternativa de biocontrol contra el marchitamiento vascular, mediante el uso de consorcios microbianos donde participa *B. subtilis* con capacidad antagonista contra *F. oxysporum*.

Bacab (2019) evaluó el antagonismo de *B. subtilis* sobre hongos fitopatógenos y su efecto en la germinación y crecimiento de plantas de *Capsicum* spp. donde los fitopatógenos a controlar fueron del género *Fusarium* spp., al cultivo se le realizaron aplicación del *B. subtilis* en diferentes cepas, obteniendo como resultado que el antagonista logro inhibir el micelio del patógeno en un 64, 66 y 69 %, respectivamente.

Phytophthora infestans

En cuanto al control biológico de *P. infestans* en cultivos de la familia Solanaceae por medio del antagonista *B. subtilis*, se encontraron dos investigaciones en el cultivo de la papa, tubérculo de gran importancia económica (Tabla 4).

Tabla 4. *B. subtilis* controlador biológico de *Phytophthora infestans*.

Título	Cultivo	Referencia
Inductores químicos y biológicos de resistencia para el control de <i>Phytophthora infestans</i> en papa cultivar Yungay	Papa	Romero (2010)
Field application of <i>Bacillus subtilis</i> isolates for controlling late blight disease of potato caused by <i>Phytophthora infestans</i>	Papa	Kumbar et al. (2019)

Fuente: Autores.

Romero (2010) evaluó el efecto de inductores químicos y biológicos de resistencia para el control de *P. infestans* en el cultivo de papa, para lo cual se condujo un diseño experimental empleando tres sustancias químicas encontrando entre estas el fosfito Ca, fosfito K y fosfito Mg, por otra parte manejaron dos microorganismos biológicos los cuales fueron *B. subtilis* y *T. harzianum*, los cuales fueron distribuidos en 16 tratamientos incluido un testigo, donde los controladores biológicos fueron aplicados al momento de la siembra y las sustancias químicas se aplicaron foliarmente obteniendo como resultado que los

tratamientos químicos presentaron mayor control del patógeno indicando que estos tiene un efecto, mientras que los tratamientos con los antagonistas *B. subtilis* y *T. harzianum* no mostraron un efectos de inhibición del patógeno. *B. subtilis* resultó ser el menos eficiente ya que este presentó el mismo grado de severidad que el testigo que no se había tratado. Concluyendo que *B. subtilis* no es eficiente para el control de este patógeno.

Kumbar et al. (2019) aplicó *B. subtilis* para controlar la enfermedad tizón tardío de la papa causada por *P. infestans*, y como una contraparte se manejó un control químico con mancozeb. Los tratamientos se aplicaron al suelo y foliarmente, obteniendo como resultado que los tratamientos con el antagonista redujeron en mayor porcentaje la incidencia de la enfermedad del tizón tardío en comparación con el control químico, ya que mientras que con *B. subtilis* fue de un 32,73 %, con mancozeb solo fue de 14,3 %, permitiendo concluir a los investigadores que el control biológico con *B. subtilis* es muy favorable para el manejo de dicha enfermedad bajo estas condiciones.

Phytophthora capsici Leonian

En cuanto al control biológico de *P. capsici* por medio del antagonista *B. subtilis*, se encontraron dos investigaciones en el cultivo de pimentón (Tabla 5).

Tabla 5. *B. subtilis* controlador biológico de *Phytophthora capsici* Leonian

Título	Cultivo	Referencia
Control de <i>Phytophthora capsici</i> Leonian en <i>Capsicum annuum</i> cv. Papri king con fungicidas, fertilizantes y biocontroladores.	Pimentón	Huallanca y Cadenas (2013)
Efecto de <i>Bacillus subtilis</i> en el desarrollo de <i>Phytophthora capsici</i> L. En <i>Capsicum annuum</i> L. Var. Longum.	Pimentón dulce	Alfaro y del Solar (2019)

Fuente: Autores.

Huallanca y Cadenas (2013) evaluaron diferentes controladores de patógeno *P. capsici* el cual afecta el cultivo de pimiento, donde evaluó diferentes métodos de control, encontrando en primer lugar los fungicidas metalaxil + mancozeb, fosfonato de potasio y sulfato de cobre pentahidratado y de tres biocontroladores: *T. viride*, *T. harzianum* y *B. subtilis*. El fungicida con metalaxyl + mancozeb inhibió al 100 % el crecimiento de las colonias de *P. capsici*, mientras que el fosfonato de potasio y el sulfato de cobre no resultaron ser efectivos para inhibir totalmente el crecimiento del patógeno. Por otra parte, los biocontroladores *T. viride*, *T. harzianum* y *B. subtilis* causaron un menor desarrollo de las colonias de *P. capsici* llevando a con los investigadores que las del control biológico con *T. viride*, *T. harzianum* y *B. subtilis* no es efectivo para controlar el patógeno.

Alfaro y del Solar (2019) evaluaron el efecto de *B. subtilis* como controlador de *P. capsici* también en cultivo de

pimiento, donde su metodología fue evaluar solo el controlador biológico, aplicando 50 mL de suspensión bacteriana a la raíz de las plantas, veinte días después repitieron la aplicación pero con una menor dosis, la cual fue de 20 mL, además de estos en el ensayo también manejaron un testigo sin antagonistas ni patógeno y otro con el patógeno *P. capsici*, obteniendo como resultados que las cepas de *B. subtilis* en cultivo in vitro mostraron inhibición del crecimiento del micelial de patógeno, mientras que en los ensayos a nivel de campo no lograron mostrar una inhibición de patógeno ya que la severidad de patógeno se presentaba muy alta entre 85 y 90 % , lo cual conlleva a la muerte de la planta entre los 17 a 21 días después de la inoculación. Conllevando a que los investigadores concluyeran que las cepas de *B. subtilis* no logran controlar este patógeno ya que no redujeron la severidad de la marchitez causada por *P. capsici*.

Sclerotinia spp.

El género *Sclerotinia* spp. ha venido presentado pérdidas en los cultivos de la familia de las solanáceas, donde se han venido realizando diferentes investigaciones con controles biológicos como *B. subtilis* el cual ha mostrado control de esta enfermedad, encontrando dos investigaciones en dos cultivos de importancia económica (Tabla 6).

Tabla 6. *B. subtilis* controlador biológico de *Sclerotinia* spp.

Título	Cultivo	Referencia
Ensayo experimental para testar la eficacia del uso de fungicidas biológicos y químicos frente a <i>Sclerotium rolfisii</i> en cultivo de patata.	Papa	Ramírez (2018)
Evaluation of the effectiveness of tomato-associated rhizobacteria applied singly or as three-strain consortium for biosuppression of <i>Sclerotinia</i> stem rot in Tomato	Tomate	Abdeljalil et al. (2020)

Fuente: Autores.

Ramírez (2018) experimentó en el cultivo de papa, para determinar la eficacia del uso de fungicidas biológicos los cuales pertenecen a cepas de *T. asperellum* y *B. subtilis* y dos fungicidas químicos frente a la enfermedad de la podredumbre blanca producida por el patógeno *Sclerotium rolfisii*. Los tratamientos con ciazofamida y la cepa de *T. asperellum* presentan un mejor control de la enfermedad con respecto a los otros dos tratamientos con un 16 y 12 % de severidad del patógeno. Con referencia a los tratamientos con la cepa de *B. subtilis* que también presentaron excelentes resultados del control tan solo un 15,67 % de severidad de la enfermedad, en cambio el tratamiento con menor control fue el tratado con Azoxistrobin con un 25 % de severidad.

Streptomyces spp.

En cuanto al control biológico de patógenos del género *Streptomyces* spp., en cultivos de la familia Solanaceae por

medio del antagonista *B. subtilis*, se encontró una investigación en el cultivo de la papa donde es una gran limitante de este (Tabla 7).

Tabla 7. *B. subtilis* controlador biológico de *Streptomyces* spp.

Título	Cultivo	Referencia
Evaluación de la efectividad de <i>Trichoderma harzianum</i> (hartz) y <i>Bacillus subtilis</i> (khön), para el control de la sarna de la papa <i>Streptomyces</i> spp.	Papa	Castro (2011)

Fuente: Autores.

Castro (2011) en su tesis evalúa la efectividad de dos antagonistas *T. harzianum* y *B. subtilis*, para el control de la sarna de la papa causada por *Streptomyces* spp. Este patógeno fue plenamente identificado incluso por PCR, una vez identificados el patógeno y los antagonistas se realizaron los bioensayos. Se plantaron las semillas en unas macetas, donde el primer bioensayo presentaría *B. subtilis* con el cual fue inoculado el sustrato donde se sembró la semilla, de igual manera se realizó en el segundo bioensayo que contenía concentraciones de *T. harzianum*. Como resultados se obtuvo que el tratamiento con *B. subtilis* presentó mejor control de la enfermedad logrando disminuir la incidencia del patógeno 0 %. Se verificó que *B. subtilis* logra un alto porcentaje de control frente a *Streptomyces* spp

Alternaria sp.

En cuanto al género *Alternaria* sp., que causa manchas y tizones foliares en las solanáceas encontró una investigación en el cultivo de tomate con el empleo del antagonista *B. subtilis* (Tabla 8).

Tabla 8. *B. subtilis* controlador biológico de *Alternaria* sp.

Título	Cultivo	Referencia
Aislamiento e identificación de bacterias con potencial de biocontrol a <i>Alternaria</i> sp., asociadas a <i>Solanum lycopersicum</i> .	Tomate	Sánchez (2017)

Fuente: Autores.

Sánchez (2017) realizó un estudio el cual fue aislamiento e identificación de bacterias del género *Bacillus* y *Pseudomonas* con capacidad de biocontrol sobre las especies de *Alternaria* sp, debido a que esta se presenta como una enfermedad de gran importancia económica en el cultivar del tomate, el aislamiento de los antagonistas los realizaron inicialmente de suelo rizosféricos y de tejidos de raíces sanas de plantas de tonante de mesa, donde se logró determinar que entre las especies de bacilos se encontraba las especies *B. subtilis*, *B. cereus* y *B. amyloliquefaciens*, siendo los más eficaces para el control de dicha enfermedad donde se logra determinar que la bacterias de este género presenta un alto porcentaje de control llenado a ser de un 80 a 97 % de control, convirtiéndoles en una alternativa de control de dicho

patógeno. Se concluye que los controladores biológicos del género *Bacillus* se presentan como una buena alternativa de control para *Alternaria* sp. En cuanto a *B. subtilis* se puede implementar como controlador biológico de dicho patógeno, aunque se deben realizar más investigaciones a nivel de campo con el fin de confirmar los resultados de laboratorio.

Investigaciones realizadas sobre *Bacillus subtilis* para de diversos patógenos

En la tabla 9 se refleja una investigación, donde se implementó *B. subtilis* para el control de diferentes patógenos: *Fusarium* spp., *R. solani* y *P. capsici*.

Tabla 9. *B. subtilis* controlador biológico de diversos patógenos.

Título	Cultivo	Referencia
<i>Bacillus</i> spp. Como biocontrol en un suelo infestado con <i>Fusarium</i> spp., <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn y <i>Phytophthora capsici</i> Leonian y su efecto en el desarrollo y rendimiento del cultivo de Chile (<i>Capsicum annuum</i> L.)	Chile	Guillén et al. (2006)

Fuente: Autores.

Guillén et al. (2006) realizó un estudio que consistió en evaluar la eficiencia en campo de cuatro cepas de *Bacillus* las cuales fueron denominadas con las siguientes siglas (B1, B3, B9 y B13) donde se determinó su potencial como biocontroladoras de diferentes patógenos entre los que se encuentran *Fusarium* spp., *R. solani* y *P. capsici*, los cuales se presentan en suelo donde se cultiva Chile C. annum. Se estudiaron varias cepas de *Bacillus* B1 *B. amyloliquefaciens*, B3 *B. licheniformis* y B9 y B13 *B. subtilis*. Los tratamientos con *Bacillus* fueron los de menor incidencia de los patógenos presentaron, no rebasaron más del 29 %, en comparación con el tratamiento tradicional que tuvo una incidencia de 57 % mientras que el testigo fue el más alto con un 96 %. Las cepas B1 y B3 presentaron un menor grado de control con respecto al tratamiento tradicional mientras que las dos cepas de *B. subtilis* B9 y B13 fueron las que mayor porcentaje de control.

Rhizoctonia solani y *Fusarium* spp.

En otra investigación se implementó *B. subtilis* para el control de *R. solani* y *Fusarium* spp., en el cultivo de tomate (Tabla 10).

Tabla 10. *B. subtilis* controlador biológico de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium* spp.

Título	Cultivo	Referencia
Biocontrol de <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Fusarium</i> sp. Con Microencapsulados de <i>Bacillus subtilis</i> y su efecto en crecimiento y rendimiento de tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	Tomate	Hernández et al. (2010)

Fuente: Autores.

Hernández et al. (2010) utilizó cepas de *B. subtilis* para determinar el biocontrol que ejerce sobre *R. solani* y

Fusarium sp. siendo estos dos patógenos causantes de grandes pérdidas en el cultivo de tomate, para lograr esto realizó una metodología la cual consistió en inocular con los patógenos las macetas donde se encontraba las platas de tomate, seguidamente se aplicaron las microencapsulados de *B. subtilis*. Los tratamientos con *B. subtilis* redujeron la incidencia y severidad de la enfermedad al inhibir significativamente la actividad de los patógenos en un 75 % respectivamente, con respecto al tratamiento testigo que resultó severamente dañado con un 100 % de la severidad. Las cepas de *B. subtilis* mostraron un claro biocontrol ya que redujeron la incidencia y severidad de la enfermedad al inhibir la actividad infectiva de *R. solani* y *Fusarium* sp.

Alternaria solani, *Phytophthora infestans*

En otra investigación se implementó *B. subtilis* para el control de *Alternaria solani*, *P. infestans*, los cuales generan grandes pérdidas en el cultivo de tomate (Tabla 11).

Tabla 11. *B. subtilis* controlador biológico de *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans*.

Título	Cultivo	Referencia
Evaluación de microorganismos antagonistas y sustancias naturales en el control de enfermedades foliares en tomate.	Tomate	Robles (2011)

Fuente: Autores.

Robles (2011) evaluó varios microorganismos antagonistas y sustancias naturales en el control de las enfermedades foliares del tomate. A las plantas se le aplicaron los diferentes antagonistas: *P. fluorescens*, *P. aeruginosa*, *B. subtilis*, *B. cepacia*, *T. viride*, Quitosana, Tebuconazol más Triadimenol, y se dejó un testigo al que se le aplicó agua destilada. Según los resultados obtenidos se logró determinar que *B. subtilis* y *Burkholderia cepacia* y Quitosana fueron las que mejor control presentaron control estos patógenos, concluyéndose que estas enfermedades foliares del cultivo de tomate pueden ser manejadas por medio de controles biológicos, permitiendo de este modo mitigar el impacto ambiental que producen los agroquímicos.

Rhizoctonia solani y *Phytophthora infestans*

En una investigación se implementó *B. subtilis* para el control de *R. solani* y *P. infestans*, los cuales generan grandes pérdidas en el cultivo de papa (Tabla 12).

Tabla 12. *B. subtilis* controlador biológico de *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora infestans*

Título	Cultivo	Referencia
Selección evaluación de microorganismos nativos con potencial antagonista de <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Phytophthora infestans</i> promotores del crecimiento de tubérculos de papa <i>Solanum tuberosum</i> L. In vitro	Papa	Flores (2014)

Fuente: Autores.

Flores (2014) evaluó diferentes microorganismos con potencial antagonismo sobre *R. solani* y *P. infestans*. La investigación se realizó a nivel de laboratorio en cultivos in vitro, las cepas de *B. subtilis*, mostraron una actividad antagonista eficiente frente a estos dos patógenos, para *R. solani* el nivel de inhibición fue de 14-17 mm y de 12-14 mm para *P. infestans*. Esto permitió al investigador concluir que el control biológico de estos patógenos es viable usando a *B. subtilis* como un antagonista.

Rhizoctonia solani y *Fusarium solani*

En la siguiente investigación se implementó *B. subtilis* para el control de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani* en berenjena (Tabla 13).

Tabla 3. *B. subtilis* controlador biológico de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani*

Título	Cultivo	Referencia
Affectivity evaluation of <i>Bacillus subtilis</i> in controlling eggplant root rot caused by <i>Rhizoctonia solani</i> and <i>Fusarium solani</i>	Berenjena	Madhi y Jumaah (2020)

Fuente: Autores.

Madhi y Jumaah (2020) evaluaron la eficacia de *B. subtilis* para el control de la pudrición de la raíz de la berenjena causada por *R. solani* y *F. solani*. Los investigadores evaluaron la eficiencia del antagonista por medio de tres tratamientos donde dos de ellos infestados con los patógenos, primero con *R. solani* y el siguiente con *F. solani* con el fin de observar el grado porcentaje de la enfermedad sin control, el tercero fue infestado con los dos hongos y además se aplicó en antagonista. En el tratamiento con *R. solani* en grado de severidad fue del 35,5 %, mientras que para *F. solani* fue del 56,1 % en comparación con el tratamiento de antagonista el cual presentó un 0% de severidad de los patógenos indicando que *B. subtilis* es muy eficiente en el control de estos dos patógenos concluyéndose que *B. subtilis* tiene la capacidad de contralar y reducir la severidad de estos patógenos.

Conclusiones

Se logró compilar 12 tesis y 14 artículos científicos en este tema en los últimos 10 años, donde se investigó la eficacia o el efecto de *B. subtilis* como antagonistas de enfermedades causadas en las solanáceas por varios hongos tanto foliares como del suelo entre los que se ubicaban los géneros *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Sclerotinia*, *Alternaria*, así como cromistas del género *Phytophthora* y bacterias de los géneros *Erwinia*, *Ralstonia* y *Streptomyces*.

En general *B. subtilis* resultó efectivo contra los hongos y bacterias y tuvo resultados contradictorios contra *Phytophthora*, y aunque algunos estudios fueron en condiciones de laboratorio y deben verificarse en

condiciones decampo pudo evidenciarse el potencial biocontrolador de este antagonista contra enfermedades de las solanáceas.

Referencias

- Abdeljalil N., Renault, D., Gerbore, J., Vallance, J., Rey, P. y Remadi, M. (2020). Evaluation of the effectiveness of tomato-associated rhizobacteria applied singly or as three-strain consortium for biosuppression of Sclerotinia stem rot in Tomato. *Journal of Microbial & Biochemical Technology, OMICS Publishing Group*, 8(4), 312-320. [ff10.4172/1948-5948.1000302ff.fhhal02633619f](https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000302ff.fhhal02633619f)
- Alfaro, S. (2019). *Efecto de Bacillus subtilis en el desarrollo de Phytophthora capsici L. En Capsicum annum L. Var. Longum*. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ingeniería Agronómica. Tesis de Grado. Trujillo – Perú.
- Aliye, N., Fininsa, Ch. y Hiskias, Y. (2008). Evaluation of rhizosphere bacterial antagonists for their potential to bioprotect potato (*Solanum tuberosum*) against bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*). *Biological Control*, 47(3), 282-288
- Asaka, O, Shoda, M. (1996). Biocontrol of *Rhizoctonia solani* Damping-Off of Tomato with *Bacillus subtilis* RB14. *Appl Environ Microbiol.*, 62(11), 4081-5. DOI: 10.1128/aem.62.11.4081-4085. PMID: 16535440; PMCID: PMC1388978.
- Bacab, A. (2019). *Antagonismo de Bacillus subtilis sobre hongos Fitopatógenos y su efecto en Capsicum spp. Instituto Tecnológico de Conkal*. Tesis Maestría en Ciencia de Horticultura Tropical. Yucatán-México.
- Barahona, C. (2012). *Control Biológico de Rhizoctonia solani Kühn en papa (Solanum tuberosum L), mediante diferentes concentraciones y formulados de una cepa de Bacillus subtilis Cohn*. Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Agronomía. Tesis de Grado.
- Ben, S., Kilani, O., Dammak, M., Jabnoun, H., Daami, M. y Tounsi, S. (2015). Efficacy of *Bacillus subtilis* V26 as a biological control agent against *Rhizoctonia solani* on potato. *C. R. Biol.*, 338(12), 784-92. doi: 10.1016/j.crv.
- Bernal, R. (2010). Enfermedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero en las zonas de salto y bella unión. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca de Uruguay. *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria*. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429230710110412.pdf>

- Bhimanagoud, K., Riaz, M., Nagesha, S., Nagaraja, Prashant, D., Ondara, Z., Arti, K. y Mohan, Ch. (2019). Field application of *Bacillus subtilis* isolates for controlling late blight disease of potato caused by *Phytophthora infestans*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22, 101366, ISSN 1878-8181, <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101366>
- Carreño, N., Vargas, A., Bernal, A. y Restrepo, S. (2007). Problemas fitopatológicos en especies de la familia Solanaceae causados por los géneros *Phytophthora*, *Alternaria* y *Ralstonia* en Colombia. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 320-329. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180320296015.pdf>
- Castro, O. (2011). *Evaluación de la efectividad de Trichoderma harzianum (hartz) y Bacillus subtilis (khön), para el control de la sarna de la papa Streptomyces spp.* Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Tesis Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente.
- Cuervo, J. (2010). *Aislamiento y caracterización de Bacillus sp como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales.* Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Básicas Carrera de Microbiología Agrícola y Veterinaria. Trabajo de Grado. Bogota D.C
- Flores, E., Patiño, S., Alcarraz, C. y Trigo, E. (2014) Selección evaluación de microorganismos nativos con potencial antagonista de *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora infestans* promotores del crecimiento de tubérculos de papa *Solanum tuberosum* L. In vitro. *Theorema*, - UNMSM Volumen I - N° 1 – Junio.
- García, D. (2018). Control del marchitamiento vascular de la uchuva basado en mezclas de microorganismos rizosféricos provenientes de suelos potencialmente supresivos. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá Facultad de Agronomía Escuela de Posgrados Universidad Nacional de Colombia. Maestría en Ciencias Agrarias.
- Guillén, R., Hernández, F., Gallegos, G., Rodríguez, R., Aguilar, C., Padrón, E. y Reyes, M. (2006). *Bacillus spp.* como Biocontrol en un Suelo Infestado con *Fusarium spp.* *Rhizoctonia solani* Kühn y *Phytophthora capsici* Leonian y su Efecto en el Desarrollo y Rendimiento del Cultivo de Chile (*Capsicum annum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24(2), 105-114.
- Hernández, M., Hernández, F., Lira, R., y Gallegos G. (2010). Biocontrol de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium sp.* Con Microencapsulados de *Bacillus subtilis* y su Efecto en Crecimiento y Rendimiento de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Revista Agraria -Nueva Época*, 6(7): 17-25.
- Hernández, S., Fernández, R. y Baptista, P. (2014). *La metodología de investigación.* McGRAW-HILL / interamericana editores, A. DE C.V. Mexico DF.
- Huallanca, C. (2013). *Control de Phytophthora capsici Leonian en Capsicum annum cv. Papri king con fungicidas, fertilizantes y biocontroladores.* Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.
- Hussain, T., y Khan, A. (2020). *Bacillus subtilis* HussainT-AMU and its Antifungal activity against Potato Black scurf caused by *Rhizoctonia solani* on seed tubers. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 23, DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101443.
- Lugo, M. (2011). *Aplicación de Bacillus spp. Para el control biológico de Fusarium oxysporum Schlechtend. f. sp. radialis-lycopersici en tomate (Solanum Lycopersicum L.).* Instituto Politécnico Nacional. Centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional. Unidad Sinaloa. Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente.
- Mamphogoro B. (2020). Sustainable management strategies for bacterial wilt of sweet peppers (*Capsicum annum*) and other Solanaceous crops. *J Appl Microbiol.* 129(3): 496-508. doi: 10.1111/jam.14653. Epub 2020 Apr 27. PMID: 32248611.
- Mejía, M., Reyes, A., Cristóbal, J., Tun, J. y Borges, L. (2016). *Bacillus spp.* en el control de la marchitez causada por *Fusarium spp.* en *Capsicum chinense*. *Rev. Mex. Fitopatol.*, 34(3), 208-222. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1603-1>.
- Ramírez, R. (2018). *Ensayo experimental para testar la eficacia del uso de fungicidas biológicos y químicos frente a sclerotium rolfsii en cultivos de patata.* Universidad de Sevilla, Sevilla. Trabajo de Grado Inédito.
- Robert, L. (2020) Biological control of soilborne diseases in organic potato production using hypovirulent strains of *Rhizoctonia solani*. *Biological Agriculture & Horticulture*, 36(2), 119-129, DOI: 10.1080/01448765.2019.1706636
- Robles, A. (2011). *Evaluación de microorganismos antagonistas y sustancias naturales en el control de enfermedades foliares en tomate.* Tesis de Grado. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Romero, J. (2010). *Inductores químicos y biológicos de resistencia para el control de Phytophthora*

