

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

Kleiver Armando Pérez Velandia

CC. 1.094.281.940

**Trabajo de grado modalidad Diplomado presentado como requisito parcial para optar al
título de Ingeniero Agrónomo**

Director

I.A Leónides Castellanos González, M. Sc., Ph. D.

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Agronomía

Programa de Ingeniería Agronómica

Pamplona, 2020

Dedicatoria

Especialmente, a Dios todo poderoso por regalarme la vida y salud para culminar una etapa más de mi vida permitiéndome alcanzar mis objetivos trazados.

A mis padres Marial Elcida Velandia Espinel y Víctor Julio Pérez Maldonado, por sus consejos, por su apoyo incondicional, gracias a ellos y a su confianza en mí logré esta gran meta que me he propuse para mi vida.

A mis hermanos Miguel Ángel Velandia, Carlos Alberto Pérez, y hermana Sandy Dayana Pérez por su apoyo para lograr esta meta, la ayuda que me brindaron en momentos difíciles y por ese cariño que siempre nos mantiene unidos.

A mis abuelos Carlos Julio Velandia Valencia, Gabina Espinel Quintero y Bertilda Maldonado, por su apoyo incondicional, por sus invaluable consejos que lograron fortalecer y encaminar mi vida.

Agradecimientos

Mi más extensa gratitud a todos los docentes que hicieron parte de este proceso y me transmitieron grandes enseñanzas, y trabajadores del programa de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Pamplona.

A mi director de tesis Dr. Leónides Castellanos González, por su acompañamiento constante, compromiso y conocimientos brindados en cada etapa de este trabajo y así mismo por su apoyo para culminar nuestro proyecto.

A mis jurados de tesis por sus consejos, desde su experiencia permitiéndome elaborar este trabajo de calidad, mis amigos y compañeros de la carrera que me brindaron su amistad incondicional en cada momento compartido durante este proceso.

A mis compañeros y amigos: Gustavo Filete, Armando Granados por su apoyo incondicional que siempre me brindaron por los consejos y agradable convivencia que siempre recibí, sobre todo por la amistad que me han brindado.

Aval del director de tesis

Pamplona, 20 de noviembre del 2020

Señores:

COMITÉ DE TRABAJO DE GRADO

Departamento de Agronomía

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad de Pamplona

Atento saludo

Yo, Ingeniero Agrónomo Leónides Castellanos González MSc. PhD. con CE 612406, vinculado como docente tiempo completo ocasional del programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Pamplona me permito informar que ha cumplido satisfactoriamente con sus objetivos de la investigación y dar el visto bueno como tutor académico del estudiante Kleiver Armando Pérez Velandia CC: CC. 1.094.281.940, en su trabajo final de grado que lleva como título “*Bacillus subtilis* Cohn como biocontrolador de enfermedades radiculares en los cultivos de especies de Solanaceae”

Dicho trabajo desarrollado es requisito para optar al título de Ingeniera Agrónoma.

Agradecemos su atención



Leónides Castellanos González

Profesor Universidad de Pamplona

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos.....	3
Aval del director de tesis.....	4
Listas de tablas.....	7
Lista de figuras.....	9
Resumen.....	10
Introducción.....	11
Problema.....	13
Planteamiento y descripción del problema.....	13
Justificación.....	15
Objetivos.....	16
Objetivo general.....	16
Objetivos específicos.....	16
Marco de Referencia.....	17
Antecedentes.....	17
Marco teórico.....	19
<i>Familia solanaceae</i>	19
<i>Enfermedades de la familia solanaceae</i>	19
<i>Bacillus subtilis</i> Cohn.	20
<i>Enfermedades en los cultivos de Solanaceae</i>	22
Marco legal.....	25
<i>Resolución del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</i>	25
<i>Resolución del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)</i>	25

	6
<i>Reglamento estudiantil de la Universidad de Pamplona</i>	26
<i>Artículo 35. Definición de trabajo de grado.</i>	26
Metodología.....	28
Compilación de información actualizada sobre <i>B. subtilis</i> para el control de enfermedades radicales en los cultivos de las solanáceas.	28
Análisis de la información existente de manera ordenada sobre <i>Bacillus subtilis</i> como controlador biológico, obtenida de los diferentes investigaciones y artículos científicos compilados.	30
Valoración de la información recopilada acerca de <i>Bacillus subtilis</i> para el control de enfermedades radicales causadas en los cultivos de las solanáceas por países y cultivos.	30
Resultados.....	32
Compilación de la información actualizada sobre <i>Bacillus subtilis</i> para el control de enfermedades radicales en los cultivos de solanáceas.	32
Análisis la información sobre <i>Bacillus subtilis</i> como controlador biológico de patógenos de las solanáceas obtenida en las diferentes investigaciones y artículos científicos compilados.....	36
Valoración la información recopilada acerca de <i>Bacillus subtilis</i> para el control de enfermedades radicales causadas en los cultivos de las solanáceas por países y cultivos.....	36
Conclusiones.....	68
Recomendaciones.....	69
Referencias.....	70

Listas de tablas

Tabla 1 Taxonomía de <i>Bacillus subtilis</i> Cohn.	20
Tabla 2 Compilación de tesis.....	32
Tabla 3 Compilación de artículos.....	34
Tabla 4 <i>B. subtilis</i> como antagonista de <i>Ralstonia solanacearum</i>	36
Tabla 5 documentos sobre <i>B. subtilis</i> como antagonista de <i>Rhizoctonia solani</i>	38
Tabla 6 compilación de <i>B. subtilis</i> como antagonista de <i>Fusarium</i> spp.	40
Tabla 7 <i>B. subtilis</i> controlador biológico de <i>Phytophthora infestans</i>	42
Tabla 8 <i>B. subtilis</i> controlador biológico de <i>Phytophthora capsici</i> Leonian.....	44
Tabla 9 <i>B. subtilis</i> controlador biológico de <i>Sclerotinia</i> spp.	45
Tabla 10 <i>B. subtilis</i> controlador biológico de <i>Streptomyces</i> spp.	46
Tabla 11 <i>B. subtilis</i> controlador biológico de <i>Alternaria</i> sp.	47
Tabla 12 <i>B. subtilis</i> controlador biológico de diversos patógenos.....	48
Tabla 13 <i>B. subtilis</i> controlador biológico de <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Fusarium</i> spp.	49
Tabla 14 <i>B. subtilis</i> controlador biológico de <i>Alternaria solani</i> , <i>Phytophthora infestans</i>	50
Tabla 15 <i>B. subtilis</i> controlador biológico de <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Phytophthora Infestans</i>	51
Tabla 16 <i>B. subtilis</i> controlador biológico de <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Fusarium solani</i>	52
Tabla 17 Información recopilada de publicaciones Mexicanas.	53
Tabla 18 Información recopilada de publicaciones Peruanas.	54
Tabla 19. Información recopilada de publicadores Estadounidenses.....	55
Tabla 20 Información recopilada investigaciones Chilenas.....	55
Tabla 21 Información recopilada investigaciones africanas.....	56
Tabla 22 Información recopilada investigaciones de Ecuador.....	57

Tabla 23 Información recopilada investigaciones Colombianas.....	57
Tabla 24 Información recopilada investigaciones de la India.....	58
Tabla 25 Información recopilada investigaciones de España.....	58
Tabla 26 Información recopilada investigaciones de Francia.....	59
Tabla 27 Información recopilada investigaciones de Irak.....	59

Lista de figuras

Figura 1 número de artículos por países.....	60
Figura 2 Número de artículos del cultivo de papa por países.....	61
Figura 3 Número de artículos del cultivo del tomate por países.....	62
Figura 4 Número de artículos del cultivo de pimentón por países.....	63
Figura 5 Número de artículos del cultivo del chile habanero por países.....	64
Figura 6 Número de artículos del cultivo de berenjena por países.....	65
Figura 7 Número de artículos del cultivo de uchuva por países.....	66

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, dentro de los cuales destacan *Sclerotium rolfsii* Sacc., *Fusarium* spp., *Verticillium* spp., *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary), *Phytophthora capsici* Leo., *Pythium* spp., y *Rhizoctonia solani* Kühn, (Calderón et al., 2002). Siendo una de las limitantes en la producción de los cultivos. El control de estas enfermedades es complicado ya que 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. Esta revisión se realizó con el objetivo de contribuir a la divulgación de la información existente sobre *Bacillus subtilis* Cohn como biocontrolador de enfermedades radiculares en los cultivos de especies de Solanaceae, para lo cual se realizó una compilación de documentos actualizados de diferentes países referente a este tema. De los documentos compilados se analizó la información y resultados obtenidos por diferentes autores con respecto al efecto de *B. subtilis* como antagonistas de enfermedades causadas en las solanáceas por varios hongos 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*. Los trabajos de investigación sobre el empleo de *B. subtilis* para el control de enfermedades de los cultivos de las solanáceas desarrollados en Colombia son escasos, siendo los países más destacados México, Perú y Chile y el cultivo más abordado la papa.

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 radicales causadas por patógenos de diferente tipo. Estas enfermedades son causadas por diferentes géneros de hongos 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 antagónicos que funcionan como método de control biológico (Bernal, 2010; Guillen et al., 2006)

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 rolfsii* Sacc., *Fusarium* spp., *Verticillium* spp., *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary), *Phytophthora capsici* Leo., *Pythium* spp., y *Rhizoctonia solani* Kühn, (Calderón et al., 2002).

El presente documento corresponde a una revisión bibliográfica realizada mediante la recopilación y análisis de información actualizada y publicada en artículos de revistas sobre *B. subtilis* como agente antagónico para el control biológico de enfermedades radiculares causadas por hongos, bacterias y cromistas patógenos sobre las especies de solanáceas de mayor importancia económica en el país, con el fin de mejorar el manejo fitosanitario de estos cultivos con el menor impacto posible sobre el medio ambiente.

Problema

Planteamiento y descripción del problema.

La familia Solanaceae reconocida mundialmente por su importancia en términos de vegetales cultivables y el amplio rango de utilidad agronómica entre los que se encuentran: tomate, uchuva, lulo, tomate de árbol, ají y pimentón, los cuales han venido presentando problemas fitosanitarios, que conllevan a pérdidas en la producción de vegetales y frutos, provocando el uso indiscriminado de fungicidas químicos para controlarlos, pero sin obtener resultados óptimos.

Los géneros de patógenos de hongos o pseudohongos causantes de las bajas producciones en estos cultivos son *Sclerotium rolfii* Sacc., *Fusarium* spp., *Verticillium* spp., *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary), *Phytophthora capsici* Leo., *Pythium* spp., y *Rhizoctonia solani* Kühn, los cuales alteran el funcionamiento fisiológico de la planta, reduciendo su rendimiento y en caso extremos puede causar la muerte a esta.

Entre los manejos fitosanitarios del cultivo se puede encontrar el manejo biológico, el cual consiste en la utilización de microorganismos antagónicos para controlar los fitopatógenos que afectan las producciones de Solanaceae, uno de estos es el *Bacillus Subtilis* Cohn, el cual se encuentra en la naturaleza y cuyo hábitat natural es el suelo, posee la capacidad de formar esporas en diversas condiciones de estrés y crece rápidamente a diferentes temperaturas; a su vez, puede competir de manera eficiente para colonizar la rizósfera, disminuyendo así la posibilidad de interacción entre el patógeno y la raíz de la planta, siendo capaz de defenderse de futuros ataques tanto a nivel de raíz como de toda la planta, activando la resistencia sistémica. (Méndez et al., 2017; Soto et al., 2012).

La información sobre el empleo de *Bacillus subtilis* para el control de enfermedades radiculares en los cultivos de la familia Solanaceae se encuentra dispersa, lo cual no permite conocer y divulgar la efectividad potencial de dicho antagonista.

Justificación

Los cultivos de las solanáceas son considerados una de las actividades agrícolas más promisorias del país en el contexto económico ya que cuenta con gran cantidad de cultivos cultivables en el país, puede garantizar la constante producción, (Barrero, Navas, Bernal y López, 2012). Sin embargo, a veces presentan bajo rendimiento en la producción, debido a problemas fitosanitarios, principalmente problemas de tipo radicular causados por hongos patógenos.

Esto conlleva a realizar un control de las enfermedades mediante la utilización de productos químicos, los cuales presentan un alto impacto tanto al ambiente como a la salud de los seres humanos. Por lo tanto, se presentan alternativas amigables con el medio ambiente, para disminuir la contaminación por el uso de agroquímicos, entre ellas se pueden encontrar los controles biológicos como el uso de antagonistas como *Bacillus subtilis*, ya que por sus propiedades es eficaz al momento de inhibir los fitopatógenos del suelo (Hernández et al., 2010).

Diversas cepas de la especie *B. subtilis* han sido consideradas como bioestimulantes y biocontroladoras de diferentes géneros de patógenos, generando interacciones con las plantas y mejorando la productividad de los cultivos (Kumar et al., 2011).

Por ello, la compilación de información actualizada de *B. subtilis* permite conocer a profundidad la efectividad en el control de los hongos causantes de las enfermedades radiculares en los cultivos de solanáceas, así mismo sintetizar la información existente acerca de esta bacteria, ayuda a mostrar los avances científicos de diferentes autores con sus respectivas teorías y resultados, demostrando que el manejo biológico por medio de antagonistas logra controlar las diversas problemáticas fitosanitarias radiculares causadas por patógenos en los cultivos de solanáceas.

Objetivos

Objetivo general

Contribuir a la divulgación de la información existente sobre *Bacillus subtilis* Cohn como biocontrolador de enfermedades radiculares en los cultivos de especies de Solanaceae

Objetivos específicos

- Compilar información actualizada sobre *Bacillus subtilis* para el control de enfermedades radiculares en los cultivos de las solanáceas.
- Analizar la información sobre *Bacillus subtilis* como controlador biológico de patógenos de las solanáceas obtenida de las diferentes investigaciones y artículos científicos compilados.
- Valorar la información recopilada acerca de *Bacillus subtilis* para el control de enfermedades radiculares causadas en los cultivos de las solanáceas por países y cultivos.

Marco de Referencia

Antecedentes

Estudios realizados en el municipio de Toledo, Norte de Santander Colombia, sobre *B. subtilis*, *T. harzianum*, micorrizas y materia orgánica, como antagonistas de las enfermedades radiculares del lulo (*Solanum quitoense* Lam) donde se evidencio que la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* es la que más está presente en el cultivo; según los resultados obtenidos se observó que la aplicación de *B. subtilis* + M.O. + Micorrizas logran disminuir la incidencia de la enfermedad en 1.15, cuyo porcentaje de colonización es relativamente bajo según la investigación Araque y Sandoval (2019), los cuales concuerda con los estudios realizados por (Cuesta, 2009).

Hussain y Khan (2020) evaluaron la actividad antifúngica de *Bacillus subtilis* Cohn contra la caspa negra de la papa causada por *Rhizoctonia solani* en tubérculos-semilla, donde se da a conocer que, *B. subtilis* redujo la incidencia del patógeno *R. solani* logrando una mayor inhibición del crecimiento del micelio de este en comparación con el método tradicional del manejo del cultivo, presentando resultados favorables en la reducción de la enfermedad, e incrementando el rendimiento de los tubérculos y el crecimiento de las plantas.

Bacab (2019) estudió el antagonismo de *Bacillus subtilis* sobre los hongos fitopatógenos *Fusarium equiseti* y *F. solani* en *Capsicum* spp. Obteniendo como resultado determinar que, *Bacillus subtilis* frente a los hongos fitopatógenos de *Capsicum chinense* (chile habanero), *Capsicum annuum* (chile dulce), presenta actividad antagónica debido a la presencia de sus genes, los cuales codifican la producción de compuestos antifúngicos, como iturina y surfactina, inhibiendo el crecimiento micelial de los patógenos del género *Fusarium* spp.

Madhi y Jumaah (2020) evaluaron la efectividad de *Bacillus subtilis* en el control de la pudrición de la raíz de la berenjena, causada por *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani*, en el cual se demostró la alta capacidad antagónica de *B. subtilis* contra los patógenos, esto es debido a su capacidad de inhibición del micelio y su capacidad de producir enzimas de descomposición como glucanasa y quitinas, las cuales rompen las paredes celulares de los patógenos.

Marco teórico

Familia solanaceae

La familia Solanaceae está conformada por más de 3000 especies, provocando un gran interés para investigadores, criadores y consumidores, causado por su importancia económica, su valor referido a cultivos de hortalizas y el más variable en cuanto a utilidad agrícola. También, son importantes como fuentes de alimento y como plantas modelo científico para el desarrollo de la fruta, entre las que se encuentra el tomate y el pimiento. (Mueller et. al., 2005).

Los aportes de las plantas solanáceas en la historia, han sido de útiles demostrando que el impacto agronómico de la genética de las plantas solanáceas proviene de identificar los genes responsables de la resistencia a patógenos y fenotipos deseables (Czerny, 2016).

Enfermedades de la familia solanaceae

Las enfermedades fitopatógenas dañan la producción de los vegetales cultivables tanto en calidad como en cantidad, esto se debe a las condiciones climáticas y la susceptibilidad varietal del cultivo, las cuales afectan su rendimiento y comercialización en el mercado nacional e internacional (Pallas et al., 2019).

Estas enfermedades suelen ser controladas con químicos, pero los patógenos con el paso del tiempo adquirieron resistencia a estos; debido a lo anterior, fue necesario buscar nuevas formas de controlar los patógenos por medio de controles biológicos, que despertaron el interés de científicos quienes investigan qué microorganismos tienen la capacidad de desarrollar una actividad antagónica frente *R. solani*, además los agentes antagonistas biológicos contribuyen a la protección medioambiental y la salud pública (FAO, 2013).

Las enfermedades fitopatógenas que afectan a los cultivos de solanáceas pueden estar presentes en el ambiente, el suelo o en los tubérculos-semilla, causadas por hongos, bacterias o

virus, los síntomas asociados a las fases en que el patógeno afecta el cultivo pueden ser visibles o no, según el potencial del inóculo y las condiciones climáticas de la zona (Lastres, 2009).

***Bacillus subtilis* Cohn.**

Bacillus subtilis ha demostrado buenos resultados en el control de patógenos en los cultivos de solanáceas, causando la inhibición de *R. solani*, también es reconocido por producir antibióticos, predominando los de naturaleza peptídica. Al ser inocuo no es considerado tóxico para los seres vivos (Pulido, 2016)

Este antagonista logra competir con el patógeno en la consecución de colonizar primero la rizosfera, proteger su nicho, inhibir el crecimiento de los patógenos y utilizar la misma fuente nutricional (Barahona, 2012).

Características generales. *B. subtilis* es una bacteria Gram positiva, mesófila, productora de esporas de pared delgada, de forma oval o cilíndrica, tiene la capacidad de controlar enfermedades en cultivos vegetales, esto se debe a la producción de metabolitos antibióticos capaces de actuar sobre diversos microorganismos entre los cuales se destacan los Oomicetos y bacterias fitopatógenas (Salcedo, 2017).

Taxonomía y morfología de Bacillus subtilis. En la tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica de *Bacillus subtilis* Cohn.

Tabla 1 Taxonomía de Bacillus subtilis Cohn.

Reino	Bacteria
Filo	Firmicutes
Clase	Bacilli
Orden	Bacillales
Familia	Bacillaceae

Género	<i>Bacillus</i>
Especie	<i>B. subtilis</i>

Fuente. Salcedo et al., (2017).

Efecto antagonista: La acción biocontroladora de *B. subtilis* está dada por la producción de metabolitos antibióticos que logran actuar sobre microorganismos de diversa etiología; *B. subtilis* produce péptidos que tiene acción directa sobre diferentes patógenos que afectan la producción de los cultivos. El mecanismo de acción de *B. subtilis* se da mediante la secreción de diversas sustancias que se producen cuando la bacteria recibe los nutrientes presentes en la superficie de las raíces de las plantas que inducen la elaboración de metabolitos secundarios con capacidad de suprimir el crecimiento de hongos, Oomycetos y bacterias fitopatógenas (Suntaxi y Gordon, 2016).

De las moléculas producidas por *B. subtilis*, que han demostrado tener un efecto antifúngico se pueden mencionar, lipopéptidos cíclicos antibióticos (CLPS) entre los cuales se destacan el surfactin y el Iturin A; estas sustancias han demostrado acción controladora sobre patógenos de plantas, entre los cuales encontramos especies de *Fusarium* spp, *Pythium* spp, *Phytophthora* spp, *Rhizoctonia solani* Kühn., *Sclerotinia sclerotiorum* Lib., *Septoria*, *Verticillium dahliae* Kleb. y *Botrytis cinerea* (Ariza et al., 2012).

Enfermedades en los cultivos de Solanaceae

***Fusarium oxysporum* Schltdl.**

Características. *Fusarium oxysporum* Schltdl., es un organismo conformado por diversas especies, alrededor de 120 distintas formas especiales. Dichas formas de especies se subdividen en razas, que se diferencian según la destreza del patógeno de afectar distintos hospedantes. Este

hongo es un patógeno facultativo que logra permanecer en la materia orgánica y al mismo tiempo invadir la planta cuando este tiene algún tipo de desequilibrio (Renata et al., 2018)

Sintomatología. La enfermedad inicia con el retraso del crecimiento y marchitez foliar, acompañado de la quemazón en las hojas, los brotes nuevos y jóvenes se marchitan y mueren, seguido del secamiento total los vasos conductores de nutrientes se encuentra bloqueados, estos son los síntomas primarios de esta enfermedad conocidos como marchitamientos vasculares. Los síntomas de la enfermedad avanzan afectando la planta hacia arriba hasta causar un marchitamiento generalizado y la muerte de la planta (Jaramillo et al., 2013).

***Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.**

Características. Este patógeno es clasificado como un Oomycete, miembro del reino Chromista, orden Peronosporales y género *Phytophthora*, este agrupa a más de 700 especies, las cuales por poseer dos flagelos en las zoosporas, no presenta pigmentos fotosintéticos, sus paredes son formadas por celulosa o polímeros similares a la celulosa, hábitos acuáticos y terrestres, aunque necesitan la presencia de agua (Cuestas et al., 2017)

Sintomatología. El patógeno afecta hojas, tallos, brotes nuevos y raíces para el caso de la papa afecta los tubérculos.

Hojas. Se presenta como manchas color café claro inicialmente y luego se torna oscuro, con apariencia húmeda, las manchas son de forma irregular, presenta un halo amarillo en la mayoría de veces. Este tipo de síntomas se evidencia especialmente en los bordes y puntas de las hojas. En condiciones de alta humedad en el envés de las hojas se forman vellosidades de color blanco siendo estos los esporangioforos y esporangios los cuales son los medios de diseminación del hongo. Los daños ocasionados se propagan rápidamente en el cultivo (Pérez, 2014).

Tallos y brotes nuevos. Se presenta lesiones necróticas con longitudes de 5 a 10 cm, su coloración es color café a negro su consistencia es rígida y dura. Cuando la enfermedad se disemina en todo el tallo estos son propensos a quiebres al paso del personal, maquinarias o vientos fuertes (Cardona, 2016).

Tubérculos: Presentan zonas irregulares hundidas, la epidermis se torna marrón. Al realizar un corte transversal se observa prolongaciones hacia la parte interior del tubérculo. En estados avanzados presenta una apariencia putrefacta con posibilidad de una infección secundaria por hongos (*Fusarium* spp.) y bacterias (*Erwinia* spp. *Clostridium* spp. etc.), provocando la desintegración del tubérculo y haciendo difícil el diagnóstico (Bustamante, 2015).

***Sclerotinia* spp.**

Características. El *Sclerotinia* spp., se clasifica como un hongo Ascomycota, género Helotiles, familia Sclerotiniaceae. Este género *Sclerotinia* spp. Representa por dos especies las cuales son *S. minor* y *S. sclerotiorum* estas especies se diferencian por las características morfológicas de los esclerocios, como la forma y el tamaño, germinación micelio génica o carpogénica (Smith, 2007).

Las principales características de *S. minor* y *S. sclerotiorum*; *S. minor* presenta esclerocios redondos con un diámetro de 0.5 a 2 mm. La germinación carpogénica se presenta muy pocas veces debido a diferentes factores ambientales, la germinación micelio génica es a que se presenta comúnmente, los esclerocios se forman lateralmente en las hifas y en esta hay cuatro cromosomas haploides; *S. sclerotiorum* sus esclerocios son irregulares de 2-20 x 3-7 mm. La germinación carpogénica puede presentarse en cada esclerocio, produciendo uno o varios apotecios en forma de copa y de color blanco, amarillo o café. Los esclerocios se forman en posición terminal en las hifas y tiene ocho cromosomas haploides (Smith, 2007).

Sclerotinia spp. Es un patógeno cosmopolita de alta distribución e importancia económica en muchos cultivos los cuales puede afectar tanto en campo, como bajo condiciones de almacenamiento, las especies de este género son una problemática en muchos de los cultivos de solanáceas de importancia económica.

Sintomatología. Se presenta en hojas y tallos donde tiende se a la base de la planta inicia con zonas húmedas, que más adelante van aumentando hasta convertirse en pudriciones acuosas. Las plantas adquieren un aspecto de masa gelatinosa o viscosa en etapas avanzadas, esto se deriva de la descomposición total de los tejidos parenquimatosos (Trujillo, 2015).

El signo más común es la presencia del moho blanco, producto de las condiciones ambientales favorables con alta humedad, se da la formación abundante del micelio algodonoso seguido del ensanchamiento de hifas donde al cabo de unos días de tres a siete días, se observa la formación de los esclerocios, los cuales pueden permanecer por largo tiempo en el suelo (Martínez, 2008).

Marco legal

Resolución del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

En ejercicio de sus funciones establecen en el numeral 14 del artículo 16 del decreto ley 3570 de 2011, resolución de 02 de octubre de 2017, la aceptación de la solicitud de acceso a recursos genéticos y productos derivados para el proyecto denominado “Desarrollo de biopesticidas y biofertilizantes con base en bacterias aisladas de *Musa* sp”

Resolución del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)

En uso de sus facultades legales y en especial de las que le confieren los Decretos Nos. 2141 de 1992, 1840 de 1994 y 2150 de 1995, 1112 de 1996, 2522 de 2000, 1454 de 2001 y las Resoluciones 074/02 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Considerando mediante el decreto 1840/94, al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) le corresponde otorgar el registro y ejercer el control legal y técnico de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en el país (Instituto Colombiano Agropecuario, 2004).

Resolución N. 00375 del 27 de febrero del 2004

El instituto Colombiano Agropecuario en sus de facultades y funciones legales dicta mediante esta resolución las disposiciones sobre Registro y Control de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en Colombia (Instituto Colombiano Agropecuario (2004)

Artículo 1o. objeto de la presente Resolución

Mediante el cual se orienta la producción, importación, exportación, comercialización, uso y manejo adecuado y racional de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola para prevenir y minimizar daños a la salud humana, la sanidad agropecuaria y el ambiente bajo las condiciones autorizadas y para facilitar el comercio nacional e internacional. (Instituto Colombiano Agropecuario, 2004)

Reglamento estudiantil de la Universidad de Pamplona

Acuerdo No. 186 de diciembre del 2005. Por el cual compila y actualiza el Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado.

Artículo 35. Definición de trabajo de grado.

En el Plan de Estudios de los programas, la Universidad establece como requisito para la obtención del título profesional, la realización por parte del estudiante, de un trabajo especial que se denomina “TRABAJO DE GRADO”, por medio del cual se consolida en el estudiante su formación integral, que le permite: a. Diagnosticar problemas y necesidades, utilizando los conocimientos adquiridos en la Universidad. b. Acopiar y analizar la información para plantear soluciones a problemas y necesidades específicas. c. Desarrollar planes y ejecutar proyectos, que le permitan demostrar su capacidad en la toma de decisiones. d. Formular y evaluar proyectos. e. Aplicar el Método Científico a todos los procesos de estudio y decisión.

Artículo 36. Modalidades de Trabajo de Grado.

Realización de un Diplomado: Orientado a la complementación y actualización de los componentes de formación del programa. Tendrá una duración de mínimo de 120 horas y estará sujeto a su programación, el sistema de evaluación implica la elaboración y sustentación de un ensayo, monografía o artículo publicado en una revista institucional, como resultado del mismo.

Aprobación de la modalidad de Diplomado con monografía en el programa Ingeniería Agronómica por parte del Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias según FAC-08 Acta de Reunión No. 007 con fecha del 19 de junio de 2020.

La modalidad de Diplomado se desarrollará, según lo expuesto, con el desarrollo y sustentación de una monografía, según acta de aprobación del Consejo de Facultad (FAC-08 Acta de Reunión No. 007 con fecha del 19 de junio de 2020)

Metodología

La revisión se ejecutó en el período comprendido entre julio de 2020 y noviembre de 2020. Realizando una revisión documental (Quevedo-Blasco et al., 2010; 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 se dio durante tres diferentes etapas.

Compilación de información actualizada sobre *B. subtilis* para el control de enfermedades radiculares en los cultivos de las solanáceas.

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 presentará un documento monográfico con información de trabajos realizados en los últimos años, entre estas revistas se encuentran revista Agronomía Colombiana, revista de Ciencias Agrícolas, revista de Investigación Agraria y Ambiental, revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria, revista Ciencia y Agricultura.

Para la investigación se consultó información en las bases de datos pagas por la Universidad de Pamplona donde se encontraron las tesis documentadas en el trabajo y artículos, las bases de datos manejadas fueron: Scopus, SpringerLink, Science Direct,

El trabajo fue de tipo documental- analítico donde, se iniciando la búsqueda de los documentos 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 que presentaron información 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.

Análisis de la información existente de manera ordenada sobre *Bacillus subtilis* como controlador biológico, obtenida de las diferentes investigaciones y artículos científicos compilados.

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 indicará las fuentes de información utilizada y se encuentren bien citadas, de igual manera que el autor presenta unos resultados confiables de su investigación, así mismo que las conclusiones que realizó 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 sí estén actualizados ya que el objetivo fue presentar un documento con información actualizada y que esta información si fuese de acuerdo con el tema.

Valoración de la información recopilada acerca de *Bacillus subtilis* para el control de enfermedades radiculares causadas en los cultivos de las solanáceas por países y cultivos.

Para valoración de información se manejaron criterios los cuales fueron Exactitud donde se determinó todos los datos de autor, la autoridad quien publicó el documento y que este presentara información fuera clara y explícita, país de la publicación, la organización que el documentó se encuentre ordenado lógicamente y la actualidad de la información. Por otra parte se valoró la información de otros países los cuales presentaron en su información los criterios

anteriormente mencionados, seguidamente se diseñaron gráficos con el fin de determinar que de los países está más centrado en este tema de investigación, realizando una comparación con respecto a Colombia, por otra parte se valoró la información por cultivos donde se diseñaron gráficos con el fin de determinar en qué países presenta mayor importancia los diferentes cultivos de la familia Solanaceae, y se compara con respecto a Colombia.

Resultados

Compilación de la información actualizada sobre *Bacillus subtilis* para el control de enfermedades radiculares en los cultivos de solanáceas.

Para la compilación se tomaron dos tipos de información científica e investigativa las cuales fueron tesis investigación y artículos científicos, los cuales cumplieran con los criterios de la valoración.

En la tabla 2 se muestra la compilación de las 12 tesis referentes al tema de *B. subtilis* como controlador biológico de enfermedades radiculares en cultivos de la familia Solanaceae.

Tabla 2 Compilación de tesis

Título	Cultivo	Patógeno	Referencia
Evaluación de cepas de <i>Bacillus subtilis</i> para biocontrolar <i>Erwinia carotovora</i> sub sp. <i>carotovora</i> en cala (<i>Zantedeschia</i> sp) y <i>Rhizoctonia solani</i> kühn en papa (<i>Solanum tuberosum</i> L)	Papa	<i>Erwinia carotovora</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> kühn	(Carrión, 2007)
Inductores químicos y biológicos de resistencia para el control de <i>Phytophthora infestans</i> en papa cultivar Yungay	Papa	<i>Phytophthora infestans</i>	(Romero, 2010)
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	<i>Streptomyces</i> spp	(Castro, 2011)
Evaluación de microorganismos antagonistas y sustancias naturales en el control de enfermedades foliares en tomate.	Tomate	<i>Alternaria solani</i> , <i>Phytophthora infestans</i> ,	(Robles, 2011)
Aplicación de <i>Bacillus</i> spp. Para el control biológico de <i>Fusarium oxysporum</i> Schlechtend. f. sp. <i>radicis lycopersici</i> en tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i> L.)	Tomate	<i>Fusarium oxysporum</i>	(Lugo, 2011)

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	<i>Rhizoctonia solani</i> kühn	(Barahona, 2012)
Bacterias antagonistas para el control biológico de <i>Ralstonia solanacearum</i> (E. F. Smith) en tomate (<i>Solanum lycopersicon</i> L.)	Tomate	<i>Ralstonia solanacearum</i>	(Valdez, 2016)
Aislamiento e identificación de bacterias con potencial de biocontrol a <i>Alternaria</i> sp., asociadas a <i>Solanum lycopersicum</i> .	Tomate	<i>Alternaria</i> sp.	(Sánchez, 2017)
Control del marchitamiento vascular de la uchuva basado en mezclas de microorganismos rizosféricos provenientes de suelos potencialmente supresivos.	Uchuva	<i>Fusarium oxysporum</i> , Schltdl	(García, 2018)
Ensayo experimental para testar la eficacia del uso de fungicidas biológicos y químicos frente a <i>Sclerotium rolfsii</i> en cultivo de patata.	Papa	<i>Sclerotium rolfsii</i>	(Ramírez, 2018)
Antagonismo de <i>Bacillus subtilis</i> sobre hongos Fitopatógenos y su efecto en <i>Capsicum</i> spp.	<i>Capsicum</i> spp.	<i>Fusarium</i> spp.	(Bacab, 2019)
Efecto de <i>Bacillus subtilis</i> en el desarrollo de <i>Phytophthora capsici</i> L. En <i>Capsicum annuum</i> L. Var. Longum.	el Pimentón dulce	<i>Phytophthora capsici</i> L.	(Alfaro y del Solar, 2019)

Fuente: autor propio 2020

En la revisión bibliográfica se logró compilar 14 artículos de diferentes revistas científicas, esto artículos cumplieron con todos los criterios de la compilación referente al tema de *B. subtilis* como biocontrolador de enfermedades radiculares en los cultivos de especies de Solanaceae (tabla 3)

Tabla 3 Compilación de artículos

<u>Título</u>	<u>Cultivo</u>	<u>Patógeno</u>	<u>Referencia</u>
Biocontrol of <i>Rhizoctonia solani</i> Damping-off of tomato With <i>Bacillus subtilis</i> RB14	<u>Tomate</u>	<i>Rhizoctonia solani</i> damping-off	Asaka y Shoda (1996)
<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	<i>Fusarium</i> spp., <i>Rhizoctonia solani</i> kühn y <i>Phytophthora capsici</i> Leonian	Hernández y Gallegos (2006)
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	<i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Fusarium</i> sp.	Hernández et al., (2010)
Characterization of Mycolytic Enzymes of <i>Bacillus</i> Strains and Their Bio-Protection Role Against <i>Rhizoctonia solani</i> in Tomato	Tomate	<i>Rhizoctonia solani</i> kühn.	Kumar et al., (2019)
Control de <i>Phytophthora capsici</i> Leonian en <i>Capsicum annuum</i> cv. Papri king con fungicidas, fertilizantes y biocontroladores.	Pimentón	<i>Phytophthora capsici</i> Leonian.	Huallanca y Cadenas (2013)
Selección evaluación de microorganismos nativos con potencial antagonista de <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Phytophthora infestans</i> promotores del crecimiento de tuberculillos de papa <i>Solanum tuberosum</i> L. In vitro	Papa	<i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Phytophthora infestans</i>	Flores et al. (2014)
<i>Bacillus</i> spp. En el control de la marchitez causada por <i>Fusarium</i> spp. en <i>Capsicum chinense</i>	Chile habanero	<i>Fusarium</i> spp.	Mejía et al. (2016)

Field application of <i>Bacillus subtilis</i> isolates for controlling late blight disease of potato caused by <i>Phytophthora infestans</i>	Papa	<i>Phytophthora infestans</i>	Kumar et al. (2012)
Sustainable management strategies for bacterial wilt of sweet peppers (<i>Capsicum annuum</i>) and other Solanaceous crops	Pimiento dulce	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Mamphogoro y Babalola (2020)
<i>Bacillus subtilis</i> and its Antifungal activity against Potato Black scurf caused by <i>Rhizoctonia solani</i> on seed tubers	Hussain T- AMU Papa	<i>Rhizoctonia solani</i>	Hussain y Khan (2020)
Affectivity evaluation of <i>Bacillus subtilis</i> in controlling root rot caused by <i>Rhizoctonia solani</i> and <i>Fusarium solani</i>	Berenjena	<i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Fusarium solani</i>	Madhi y Jumaah (2020)
Biological control of soilborne diseases in organic potato production using hypovirulent strains of <i>Rhizoctonia solani</i>	Papa	<i>Rhizoctonia solani</i>	Larkin (2020)
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	<i>Sclerotinia</i> spp.	Abdeljalil et al., (2020)

Fuente: autor propio 2020

Análisis de la información sobre *Bacillus subtilis* como controlador biológico de patógenos de las solanáceas obtenida en las diferentes investigaciones y artículos científicos compilados.

A continuación, se realiza un análisis de la información recopilada por los fundamentales patógenos radiculares que afectan a las solanáceas

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 lograr controlar de *Ralstonia solanacearum* en diferentes cultivos de la familia Solanaceae (Tabla 4).

Tabla 4 *B. subtilis* como antagonista de *Ralstonia solanacearum*.

Título	Cultivo	Referencia
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: autor propio 2020

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 era controlador biológico 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 determinaron el 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 rizobacterias antagonistas como lo fueron *Bacillus cereus*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus macerans*, *Serratia marcescens*, *Bacillus pumilus* y *Pseudomonas fluorescens*, como resultado se obtuvo, que estas inhiben el crecimiento del patógeno, esto se debe a posibles mecanismos de biocontrol de estas especies implicando interacciones multifacéticas entre el huésped, el patógeno y los antagonistas. Por otra parte, determinaron que

los mejores controles biológicos de la enfermedad del marchitamiento bacteriano pueden lograrse mediante el uso de rizobacteria antagonistas y bacterias epífitas como *Bacillus cereus*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis*, lo cual permite concluir que 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 biológico 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 5).

Tabla 5. 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 et al. (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 et al. (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: autor propio 2020

Asaka y Shoda (1996) investigaron el efecto de *B. subtilis* contra *R. solani*. En el cultivo de tomate, diseñando 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) investigo 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 cepas 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 cepa *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 cápsulas los dos se evaluaron en suelo infectados por el patógeno, además los tubérculos – las semillas también estaban infestados de *R. solani*, obteniendo como resultados que las aplicaciones del antagonista como bioformulación líquida con una frecuencia de cada 4 semanas, producirá una mayor capacidad inhibitoria frente a *R. solani* donde la incidencia en los nuevos tubérculos solo fue de un 4.7 %, el segundo método presentó un menor nivel 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* Hussain T-AMU como antagonista de *R. solani* en el cultivo de papa, estas evaluaciones la llevaron a nivel de campo e in vitro donde obtuvieron como resultados la disminución de la incidencia de la enfermedad, donde in vitro se realizó en una maceta obteniendo una eficacia de control de un 71%, mientras que a nivel de campo solo se logró llegar a un 50 % de control.

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

Fusarium spp.

El género *Fusarium spp* a lo largo de la historia 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, donde se han venido realizando diferentes investigaciones para controlarlo, encontramos los controles biológicos, que se ha ensayado con *B. subtilis* mostrándose como 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 6)

Tabla 6 compilación de *B. subtilis* como antagonista de *Fusarium spp.*

<u>Título</u>	<u>Cultivo</u>	<u>Referencia</u>
Aplicación de <i>Bacillus spp.</i> Para el control biológico de <i>Fusarium oxysporum</i> Schlechtend. f. sp. <i>Radicis-lycopersici</i> en tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i> L.)	Tomate	(Lugo, 2011)
<i>Bacillus spp.</i> En el control de la marchitez causada por <i>Fusarium spp.</i> en <i>Capsicum chinense</i>	Chile habanero	Mejía et al., (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: autor propio 2020

Lugo (2011) realizó una aplicación de bacterias antagonistas del género *Bacillus* en el cultivo de tomate de árbol, 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 respecto 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, ya que su grado de control fue entre 40 y 52 %, por otra parte se logró determinar que las dos cepas de *B. subtilis* no presentan un mismo grado de control.

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 antagónica, 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 microbiano para evaluar su efecto en la reducción de la enfermedad. Los resultados obtenidos indicaron que 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 antagónica 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 logró inhibir el micelio del patógeno en un 64, 66 y 69 %, respectivamente, logrando de tal forma concluir que las cepas de *B. subtilis* si logran controlar en cierto grado este patógeno.

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 7).

Tabla 7 *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: autor propio 2020

Romero (2010) evaluó el efecto de inductores químicos y biológicos de resistencia para el control de *Phytophthora 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 *Trichoderma harzianum*, quienes fueron distribuidos en 16 tratamientos incluido un testigo, donde los controladores biológicos fueron aplicados al momento de la siembra y las sustancias químicas se aplica foliar mente, obteniendo como resultado que los tratamientos químicos presentaron mayor control del patógeno, indicando que estos tienen efecto de inhibición, mientras que los tratamientos con los antagonistas *B. subtilis* y *T. harzianum* no mostraron inhibir el patógeno. *B. subtilis*, resultando 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 por su bajo grado de control.

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 foliar mente, 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 *Bacillus 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* Leonian en cultivos de la familia Solanaceae por medio del antagonista *B. subtilis*, se encontraron dos investigaciones en el cultivo de pimentón (Tabla 8).

Tabla 8 *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 autor propio 2020

Huallanca y Cadenas (2013) evaluaron diferentes controladores de patógeno *P. capsici* el cual afecta el cultivo de pimiento, donde evaluó diferentes método de control, encontrando en primer lugar los fungicidas los cuales fueron metalaxil + mancozeb, fosfonato de potasio y sulfato de cobre pentahidratado y de tres biocontroladores: *T. viride*, *T. harzianum* y *B. subtilis*, en la inhibición del crecimiento del patógeno. 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*, los investigadores concluyeron que el control biológico con *T. viride*, *T. Harzianum* y *B. subtilis* no son efectivos 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 llevo a la muerte de la planta entre los 17 a 21 días después de la inoculación. Llevando a

que los investigadores a concluir que las cepas de *B. subtilis* no logran controlar este patógeno, ya que no redujeron la severidad de la marchitez causada por *Phytophthora capsici*.

***Sclerotinia* spp.**

El género *Sclerotinia* spp., ha presentado pérdidas en los cultivos de la familia de las solanáceas, donde se encontraron diferentes investigaciones para controles biológicos con antagonistas, con el fin de mitigar el impacto ambiental generado por los agroquímicos que implementan para su control, entre estos controles biológicos encontramos los bacterianos con *B. subtilis*, el cual a mostrando control de esta enfermedad, encontrando dos investigaciones en dos cultivo de importancia económica (tabla 9).

Tabla 9. *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 rolfsii</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: autor propio 2020

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 fungicidas químicos, siendo estos Azoxistrobin y Ciazofamida, frente a la enfermedad de la podredumbre blanca producida por el patógeno *Sclerotium rolfsii*, donde el ensayo se realizó en cinco tratamientos, dos de control biológico, dos de control químico y un testigo, obteniendo como resultado que los tratamientos tratados 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 presentó excelentes resultados del control de la enfermedad con tan solo un 15,67 % de

severidad, en cambio el tratamiento con menor control fue el tratado con Azoxistrobin con un 25 % de severidad de la enfermedad.

***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 10).

Tabla 10 *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: autor propio 2020

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 por el investigador incluso por PCR, una vez identificados el patógeno y los antagonistas se realizaron los bioensayos, plantando las semillas en unas macetas, donde el primer bioensayo presentaría *B. subtilis* con el cual se inoculó el sustrato donde se sembró la semilla, de igual manera se realizó en el segundo bioensayo que contenía concentraciones de *T. harzianum*. Obteniendo como resultado que el tratamiento con *B. subtilis* presentó mejores resultados en cuanto al control de la enfermedad, logrando disminuir la incidencia del patógeno 0 %, además de esto esta bacteria logró mejorar la producción de los tubérculos a comparación con el ensayo realizado con *T. harzianum*, no obstante se recomendó que los dos antagonistas podrían ser usados como controladores biológicos de la sarna común de la papa. Se verificó que *B. subtilis* logra presentar un alto porcentaje de control frente a *Streptomyces* spp.

***Alternaria* sp.**

En cuanto al control biológico de género *Alternaria* sp., en cultivos de la familia solanaceae por medio del antagonista *B. subtilis*, se encontró una investigación en el cultivo de tomate (Tabla 11).

Tabla 11 *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: autor propio 2020

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 cultivo del tomate, el aislamiento de los antagonistas los realizaron inicialmente en suelo rizosféricos y de tejidos de raíces sanas de plantas de tomate de mesa, logrando 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, ya que las bacterias de este género presenta un alto porcentaje de control, entre el 80 y 97 % de control, convirtiéndose en una alternativa de control de dicho patógeno.

Sánchez (2017) logra concluir que los controladores biológicos del género *Bacillus* son una buena alternativa de control para *Alternaria* sp. En cuanto a *Bacillus subtilis* se puede implementar como controlador biológico de dicho patógeno, también se plantea realizar más investigaciones a nivel de campo, donde se logre evaluar esta bacteria para confirmar los resultados de laboratorio.

Investigaciones realizadas sobre *Bacillus subtilis* para de diversos patógenos

En la tabla 12 se refleja una investigación, donde se implementó *B. subtilis* para el control de diferentes patógenos: *Fusarium* spp., *R. solani* y *P. capsici*.

Tabla 12 *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: autor propio 2020

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 el suelo donde se cultiva Chile *C. annuum*., la identidad de las cepas se realizó por pruebas bioquímicas, placas Biolog, y por PCR con iniciadores oligonucleótidos específicos para el gen ribosomal 16S, logrando identificar cada una de ellas encontrado que *Bacillus* B1 era *B. amyloliquefaciens*, B3 como *B. licheniformis* y B9 y B13 como *B. subtilis*. Para determinar cuál de estos era más eficiente, los investigadores diseñaron siete tratamientos, evaluando las cuatro cepas por separado, un quinto con una mezcla de todos los antagonistas, el siguiente se manejó de manera tradicional y un último que fue el testigo, obteniendo como resultados que los tratamientos con *Bacillus* fueron los de menor incidencia de patógenos. Presentando el 29%, en comparación con el tratamiento tradicional que llegó a alcanzar una incidencia de 57%, mientras que el testigo fue el más alto con un 96% de severidad de los patógenos. Las cepas B1 y B3 fueron las que presentaron un menor grado de control, obtuvieron con respecto al tratamiento tradicional, mientras que las dos cepas de *B. subtilis* B9 y B13 fueron las que mayor porcentaje de control

presentaron. Se concluyó que las cepas de *B. subtilis* se presentan como una alternativa de control biológico para estos patógenos.

***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 13).

Tabla 13 *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)

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 un experimento, el cual consistió en inocular con los patógenos las macetas donde se encontraba las plantas 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, resultó severamente dañado en un 100 %. 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 14).

Tabla 14 *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: autor propio 2020

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: *Pseudomonas 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.

Seguidamente las enfermedades fúngicas causadas por: *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans*. Según los resultados obtenidos se logró determinar que *Bacillus subtilis* y *Burkholderia cepacia* y Quitosana fueron las que mejor control presentaron en estos patógenos, permitiendo al investigador concluir que estas enfermedades foliares del cultivo de tomate pueden manejarse por medio de controles biológicos, 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*, quienes generan grandes pérdidas en el cultivo de papa, el cual es de gran importancia en la economía del país (tabla 15).

Tabla 15. *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 tuberculillos de papa <i>Solanum tuberosum</i> L. In vitro	Papa	(Flores, 2014)

Fuente: autor propio 2020

Flores (2014) evaluó diferentes microorganismos con potencial antagonista sobre *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora*. La investigación se realizó a nivel de laboratorio en cultivos in vitro, donde la primera fase consistió en aislar 28 cepas bacterianas, después de esto se procedió a la identificación, donde se reconocieron tres cepas de *Bacillus subtilis*, y otras cepas de diferente especie, para esta evaluación el investigador solo tomo las cepas de *B. subtilis*,

debido a que según la literatura son las que mejor control biológico presentan frente a estos dos patógenos, según los resultados obtenidos las cepas de *B. subtilis*, mostraron un actividad antagonista eficiente frente a estos dos patógeno para *R. solani*, el grado 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 16).

Tabla 16. *B. subtilis* controlador biológico de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani*

Titulo	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: autor propio 2020

Madhi y Jumaah. (2020) evaluaron la eficacia de *B. subtilis* para el control de la pudrición de la raíz de la berenjena causada por *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani*. Los investigadores evaluaron la eficiencia del antagonista por medio de tres tratamientos donde dos de ellos estaban infestados con los patógenos, el primero con *Rhizoctonia solani* y el siguiente con *Fusarium solani* con el fin de observar el grado porcentual de control de la enfermedad, el tercero fue infestado con los dos hongos y además se aplicó en antagonista. En el tratamiento con *R. solani* el grado de severidad fue del 35,5%, mientras que para *F. solani* fue del 56,1% en comparación con el tratamiento control, el cual presentó un 0% de severidad de los patógenos, indicando que *B. subtilis* es muy eficiente en el control de estos dos patógenos, los investigadores atribuyen la capacidad de control a los antibióticos que logra producir *B. subtilis*, encontrando entre estos subtilina, subtenolina, bacitracina, bacilina y bacilomicina, las cuales inhiben el crecimiento de los hongos, por otra parte los investigadores determinar que, también el control se debe a la

capacidad para producir una serie de enzimas de descomposición como la B-1., 3 glucanasa y quitinasa rompe las paredes de las células de hongos. Donde concluyeron que la eficacia de *B. subtilis* para el control de la pudrición de la raíz de este cultivo, tiene la capacidad de controlar y reducir la severidad de estos patógenos.

Valoración la información recopilada acerca de *Bacillus subtilis* para el control de enfermedades radiculares causadas en los cultivos de las solanáceas por países y cultivo

A continuación, se presentan tablas donde se clasificaron las investigaciones por países.

En la tabla 17 se presentan las publicaciones realizadas en México, siendo este el país que mayor número de investigaciones presentó en diferentes cultivos y patógenos controlados con *B. subtilis* (tabla 17)

Tabla 17 Información recopilada de publicaciones Mexicanas.

Título	Cultivo	Patógeno	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	<i>Fusarium</i> spp., <i>Rhizoctonia solani</i> kühn y <i>Phytophthora capsici</i> Leonian	Guillén et al., (2006)
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	<i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Fusarium</i> sp.	Hernández et al., (2010)
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	<i>Streptomyces</i> spp	(Castro, 2011)
Aplicación de <i>Bacillus</i> spp. Para el control biológico de <i>Fusarium oxysporum</i> Schlechtend. f. sp. <i>radicis-lycopersici</i> en tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i> L.)	Tomate	<i>Fusarium oxysporum</i>	(Lugo, 2011)
Nutrición y <i>Bacillus subtilis</i> en el control de marchitamiento por <i>Fusarium</i> spp. En tomatillo (<i>Physalis ixocarpa</i> B.) En Sinaloa.	Tomate	<i>Fusarium</i> spp.	(Castillo, 2011)

<i>Bacillus spp.</i> En el control de la marchitez causada por <i>Fusarium spp.</i> en <i>Capsicum chinense</i>	Chile habanero	<i>Fusarium spp.</i>	Mejía et al., (2016)
Bacterias antagonistas para el control biológico de <i>Ralstonia solanacearum</i> (E. F. Smith) en tomate (<i>Solanum lycopersicon</i> L.)	Tomate	<i>Ralstonia solanacearum</i>	(Valdez, 2016)
Antagonismo de <i>Bacillus subtilis</i> sobre hongos Fitopatógenos y su efecto en <i>Capsicum spp.</i>	<i>Capsicum spp.</i>	<i>Fusarium spp.</i>	(Bacab, 2019)

Fuente: autor propio 2020

En las publicaciones peruanas se logró obtener diferentes investigaciones de siendo este el segundo país que mayor interés presenta al tema de la implementación de *B. subtilis* como biocontrolador de enfermedades de los cultivos de la familia solanaceae (tabla 18)

Tabla 1 Información recopilada de publicaciones Peruanas.

Título	Cultivo	Patógeno	Referencia
Inductores químicos y biológicos de resistencia para el control de <i>Phytophthora infestans</i> en papa cultivar Yungay	Papa	<i>Phytophthora infestans</i>	Romero (2010)
Control de <i>Phytophthora capsici</i> Leonian en <i>Capsicum annuum</i> cv. Papri king con fungicidas, fertilizantes y biocontroladores.	Pimentón	<i>Phytophthora capsici</i> Leonian.	Huallanca y Cadenas. (2013)
Selección evaluación de microorganismos nativos con potencial antagonista de <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Phytophthora infestans</i> promotores del crecimiento de tuberculillos de papa <i>Solanum tuberosum</i> L. In vitro	Papa	<i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Phytophthora infestans</i>	Flores et al., (2014)
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	<i>Phytophthora capsici</i> L.	Alfaro y del Solar (2019)

Fuente: autor propio 2020

En las publicaciones estadounidenses se logró obtener diferentes investigaciones de carácter científico, las cuales permiten tener una mayor visión sobre la bacteria antagonista *B. subtilis* como biocontrolador de enfermedades de los cultivos de la familia Solanaceae (tabla 19)

Tabla 2. Información recopilada de publicadores estadounidenses

Título	Cultivo	Patógeno	Referencia
--------	---------	----------	------------

Biocontrol of <i>Rhizoctonia solani</i> Damping-off of tomato With <i>Bacillus subtilis</i> RB14	Tomate	<i>Rhizoctonia solani</i> damping-off	Asaka y Shoda (1996)
Biological control of soilborne diseases in organic potato production using hypovirulent strains of <i>Rhizoctonia solani</i>	Papa	<i>Rhizoctonia solani</i>	(Larkin, 2020)

Fuente: autor propio 2020

En las publicaciones realizadas en Chile, se logró obtener diferentes investigaciones de carácter científico las cuales permiten tener una mayor visión sobre la bacteria antagonista *B. subtilis* como biocontrolador y, conocer más sobre el mecanismo de acción que este ejerce sobre las enfermedades que afectan el sistema radicular de los cultivos de la familia Solanaceae (tabla 20)

Tabla 3 Información recopilada investigaciones Chilenas

Título	Cultivo	Patógeno	Referencia
Evaluación de cepas de <i>Bacillus subtilis</i> para biocontrolar <i>Erwinia carotovora</i> sub sp. <i>carotovora</i> en cala (<i>Zantedeschia</i> sp) y <i>Rhizoctonia solani</i> kühn en papa (<i>Solanum tuberosum</i> L)	Papa	<i>Erwinia carotovora</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> kühn	(Carrión, 2007)
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	<i>Rhizoctonia solani</i> kühn	(Barahona, 2012)
Characterization of Mycolytic Enzymes of <i>Bacillus</i> Strains and Their Bio-Protection Role Against <i>Rhizoctonia solani</i> in Tomato	Tomate	<i>Rhizoctonia solani</i> kühn.	Kumar et al., (2012)

Fuente: autor propio 2020

De África se logró encontrar dos diferentes publicaciones, que permiten ampliar la visión sobre el antagonista *B. subtilis* y el control que este ejerce sobre las enfermedades que afectan los cultivos de Solanáceas (tabla 21).

Tabla 21 Información recopilada investigaciones africanas

Título	Cultivo	Patógeno	Referencia
Evaluation of rhizosphere bacterial antagonists for their potential to bioprotect potato (<i>Solanum tuberosum</i>) against bacterial wilt (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	Papa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Aliye et al., (2008)

Sustainable management strategies for bacterial wilt of sweet peppers (<i>Capsicum annuum</i>) and other Solanaceous crops	Pimiento dulce	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Mamphogoro y Babalola. (2020)
--	----------------	-------------------------------	-------------------------------

Fuente: autor propio 2020

En las publicaciones realizadas en Ecuador se logró obtener diferentes investigaciones de carácter científico, las cuales permiten tener una mayor visión sobre la bacteria antagonista *B. subtilis* como biocontrolador y, conocer más sobre el mecanismo de acción que este ejerce sobre las enfermedades que afectan el sistema radicular de los cultivos de la familia solanaceae (tabla 22)

Tabla 4 Información recopilada investigaciones de Ecuador

Título	Cultivo	Patógeno	Referencia
Evaluación de microorganismos antagonistas y sustancias naturales en el control de enfermedades foliares en tomate.	Tomate	<i>Alternaria solani</i> , <i>Phytophthora infestans</i> ,	(Robles, 2011)

Fuente: autor propio 2020

Colombia es uno de los países con menor número de publicaciones se logró recopilar, ya que la información presente en la web no cumplía con los criterios establecidos para la compilación, los estudios tomados presentan una gran perspectiva para realizar investigaciones a nivel de campo y laboratorio, donde se podría tener en cuenta las publicaciones realizadas en los demás países, como las de México siendo el país que mayor esfuerzo ha realizado en este tema (tabla 23).

Tabla 23 Información recopilada investigaciones colombianas.

Título	Cultivo	Patógeno	Referencia
Aislamiento e identificación de bacterias con potencial de biocontrol a <i>Alternaria</i> sp., asociadas a <i>Solanum lycopersicum</i> .	Tomate	<i>Alternaria</i> sp.	(Sánchez, 2017)
Control del marchitamiento vascular de la uchuva basado en mezclas de microorganismos rizosféricos provenientes de suelos potencialmente supresivos.	Uchuva	<i>Fusarium oxysporum</i> , Schltdl	(García, 2018)

Fuente: autor propio 2020

India está tratando de buscar nuevas alternativas de control biológico, para lo cual *B. subtilis*, es considerado muy prometedor en las investigaciones, se lograron encontrar dos de gran importancia científica, ya que se enfoca en temas muy importante del cultivo de la papa, ya que los dos patógenos que investigaron representan grandes pérdidas de en cultivo (tabla 24).

Tabla 24 Información recopilada investigaciones de la India

Título	Cultivo	Patógeno	Referencia
Field application of <i>Bacillus subtilis</i> isolates for controlling late blight disease of potato caused by <i>Phytophthora infestans</i>	Papa	<i>Phytophthora infestans</i>	Kumbar et al., (2019)
<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	<i>Rhizoctonia solani</i>	Hussain y Khan (2020)

Fuente: autor propio 2020

Las investigaciones españolas se centraron en el control de *Sclerotium rolfsii* en papa, lo cual resulta de gran importancia, ya que este patógeno causa grandes pérdidas en diferentes cultivos de la familia Solanaceae, verificaron que *B. subtilis* es un buen agente de control biológico de dicho patógeno, esta es una posible sugerencia para realizar investigaciones de este tipo en Colombia (tabla 25)

Tabla 25 Información recopilada investigaciones de España

Título	Cultivo	Patógeno	Referencia
Ensayo experimental para testar la eficacia del uso de fungicidas biológicos y químicos frente a <i>Sclerotium rolfsii</i> en cultivo de patata.	Papa	<i>Sclerotium rolfsii</i>	(Ramírez, 2018)

Fuente: autor propio 2020

Francia es uno de los países que menor número de investigaciones presenta, se logró compilar sobre *Sclerotinia* spp., este patógeno causas grandes pérdidas en los cultivos de la familia Solanaceae, además los métodos químicos de manejo son poco eficientes permitiendo de este modo, que el uso del antagonista promisorio (tabla 26)

Tabla 26 Información recopilada investigaciones de Francia

Título	Cultivo	Patógeno	Referencia
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	<i>Sclerotinia</i> spp.	Abdeljalil et al., (2020)

Fuente: autor propio 2020

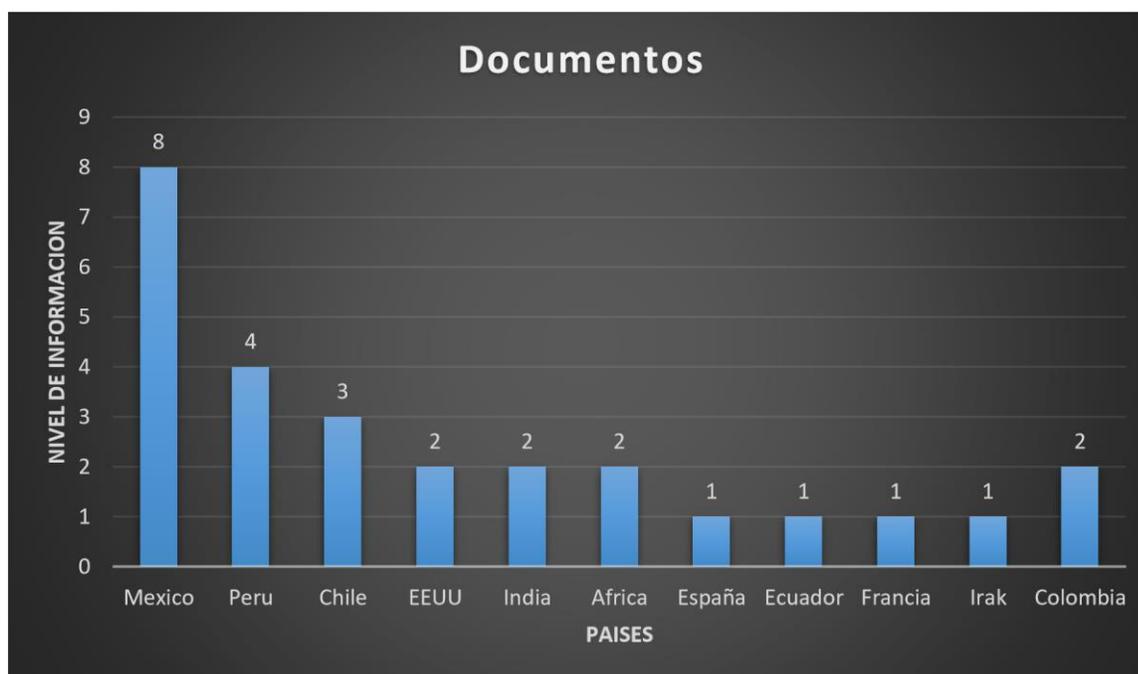
Irak presentó una investigación en berenjena que es bastante promisorio para Colombia, siendo un cultivo que se encuentra en una escala de crecimientos de siembra, se puede tener en cuenta los resultados de esta investigación que involucra el manejo del antagonista en control de varias enfermedades del cultivo (tabla 27).

Tabla 27 Información recopilada investigaciones de Irak

Título	Cultivo	Patógeno	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	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Fusarium solani</i>	Madhi y Jumaah (2020)

Figura 1

Número de artículos por países

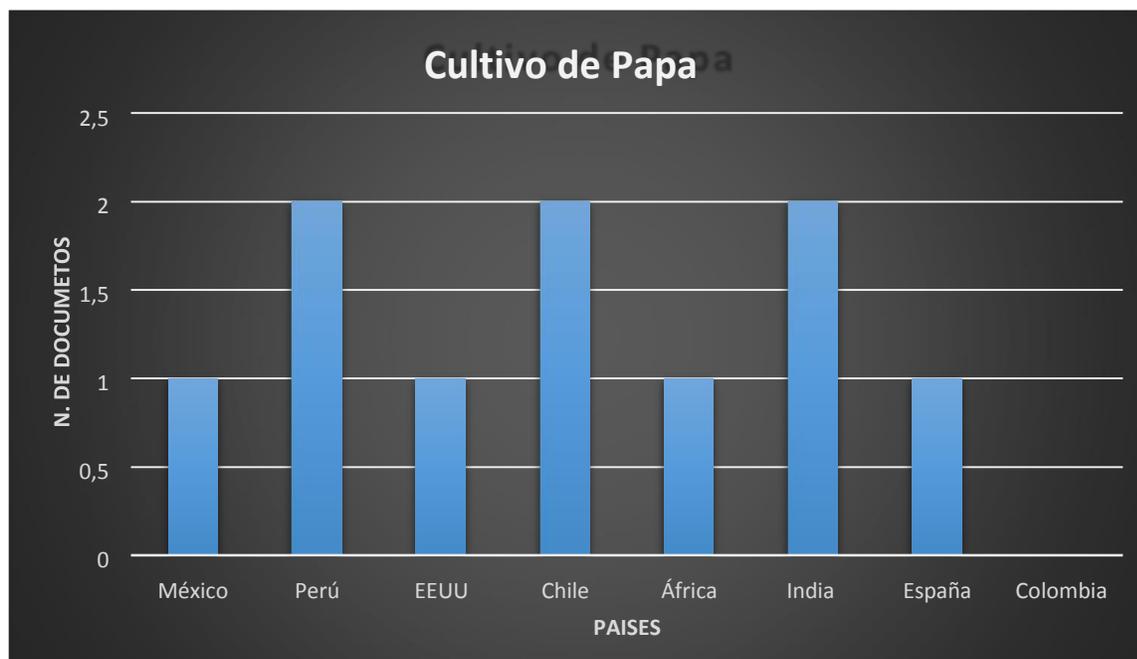


Fuente: autor propio 2020

La recopilación de artículos y tesis en el uso de *B. subtilis* como agente de control biológico de las enfermedades radiculares que limitan la producción de los cultivos de la familia solanaceae, se logró encontrar que México es uno de los países que mayor esfuerzo ha dedicado a este tema con ocho publicaciones de calidad científica, además fueron las que mayor cumplimiento a los criterios de compilación, seguidamente de Perú que se encuentra enfocado en este tema tan importante, y así los demás países, que están buscando alternativas de manejo de enfermedades radiculares por medio de esta bacteria antagonista, en cuanto a Colombia es un país que está en un nivel medio de investigación en a este tema, ya que se encuentran otras investigaciones pero no cumplen con los criterios establecidos para esta compilación, los cuales fueron la exactitud en el tema, la autoridad, la organización y la actualidad de la información, lo cual conlleva a ser un tema de gran importancia de investigación científica e investigativa a nivel de campo y laboratorio.

Figura 2

Número de artículos del cultivo de papa por Países

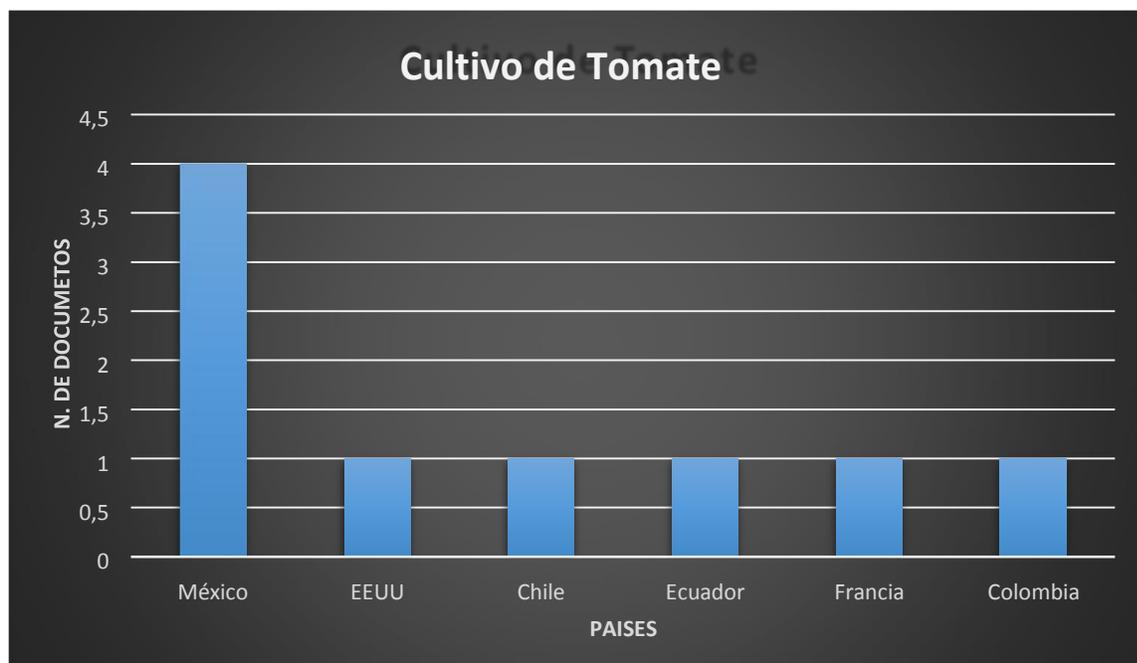


Fuente: autor propio 2020

El manejo del cultivo de papa con el antagonista *B. subtilis* se evidencia que es de vital importancia para la economía de este cultivo, ya que para investigación documental se logró obtener diez investigaciones referentes al tema de manejo biológico de este cultivo. Debido al impacto ambiental que han venido generando los agroquímicos con los que se controlan los diferentes patógenos que afectan su sistema radicular, en la gráfica se puede observar que países como, Perú, Chile e India, son los que han prestado mayor interés a este tema, ya que se logró encontrar publicaciones científicas, para determinar la calidad de los documentos, se manejaron criterios como lo fueron: la autoridad, el contenido y actualidad del mismo, con referencia a Colombia no se logró encontrar un publicación que cumpliera con los criterios de calidad de los documentos manejados.

Figura 3

Número de artículos del cultivo del tomate por países

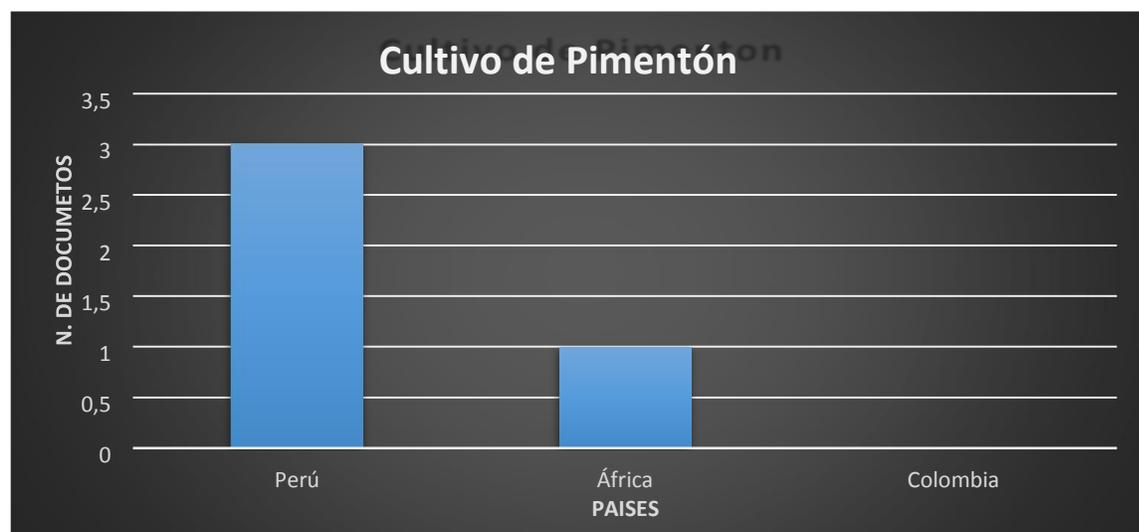


Fuente: autor propio 2020

Las investigaciones de *B. subtilis* como controlador biológico de los diferentes patógenos que afectan el cultivo de tomate determinan que este rubro es bastante importante en cuanto al manejo de este cultivo, debido a que la forma tradicional de manejo de estos patógenos es química, la cual genera un gran impacto ambiental, por ende muchos países se han dedicado a la investigación de alternativas más amigables con el ambiente como los son antagonistas de control biológico, entre los países que mayor investigación han realizado a este campo se encuentra México como se observa en la gráfica, logrando generar el mayor número de investigación de calidad científica, ya que la información recopilada cumplía con todos los criterios establecidos para esta documentación, de igual modo encontramos publicaciones realizadas por diferentes autores en diferentes países, indicando que este tema es muy importante para la comunidad científica, los cuales por medio de estas investigaciones han demostrado que mediante el uso de esta bacteria *B. subtilis*, se logran controlar algunos de los patógenos que afectan este cultivo de importancia económica.

Figura 4

Número de artículos del cultivo de pimentón por países

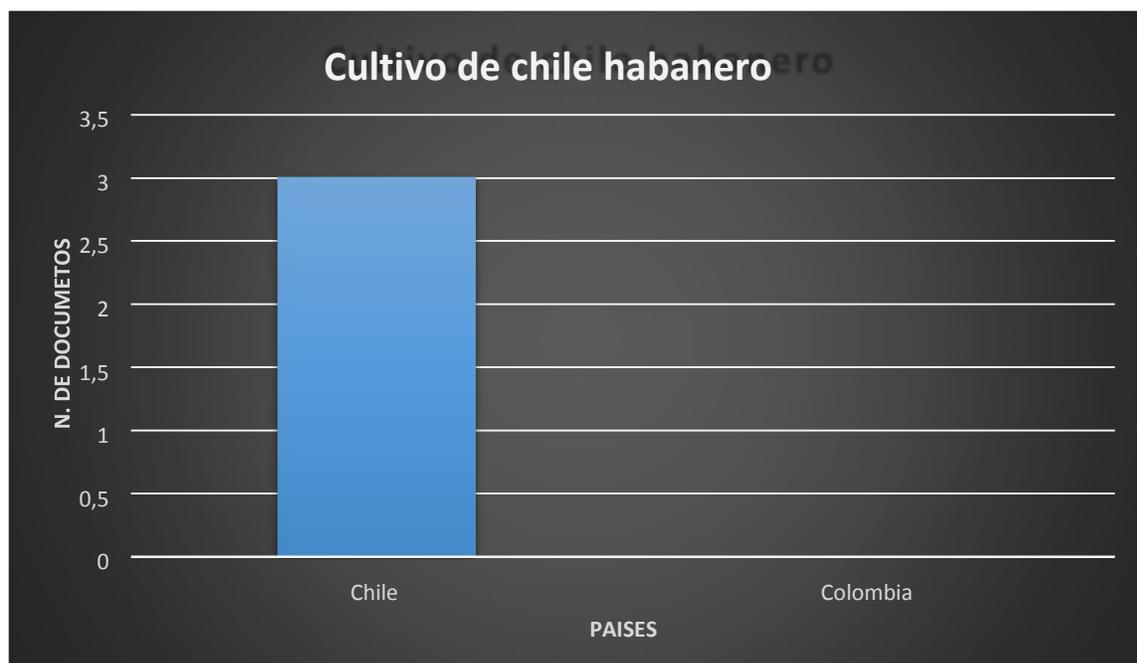


Fuente: autor propio 2020

El manejo del antagonista *B. subtilis* para el control de enfermedades radiculares del cultivo de pimiento se ha convertido en un tema de investigación científica, ya que este cultivo representa una gran importancia económica, donde el manejo de las enfermedades del mismo se ha realizado con agroquímicos, lo cuales generan un gran impacto ambiental, por esto la comunidad científica se ha interesado en realizar el manejo de estas manera biológica encontrando entre las alternativas, el manejo del antagonista *B. subtilis*, el cual realiza un control de diversos patógenos que causan estas enfermedades, encontrando que Perú es el país que más se ha dedicado a la investigación de este tema, así mismo África está incursionando en este tema de gran importancia, donde estos dos países presentan investigaciones de calidad científica, permitiendo generar confianza en sus publicaciones, ya que éstas cumplieron con los criterios de análisis, con respecto a Colombia no se encontró publicaciones referentes al tema, lo cual promete ser un campo de investigación muy amplio para la comunidad científica e investigadora.

Figura 5

Número de artículos del cultivo del chile habanero por países

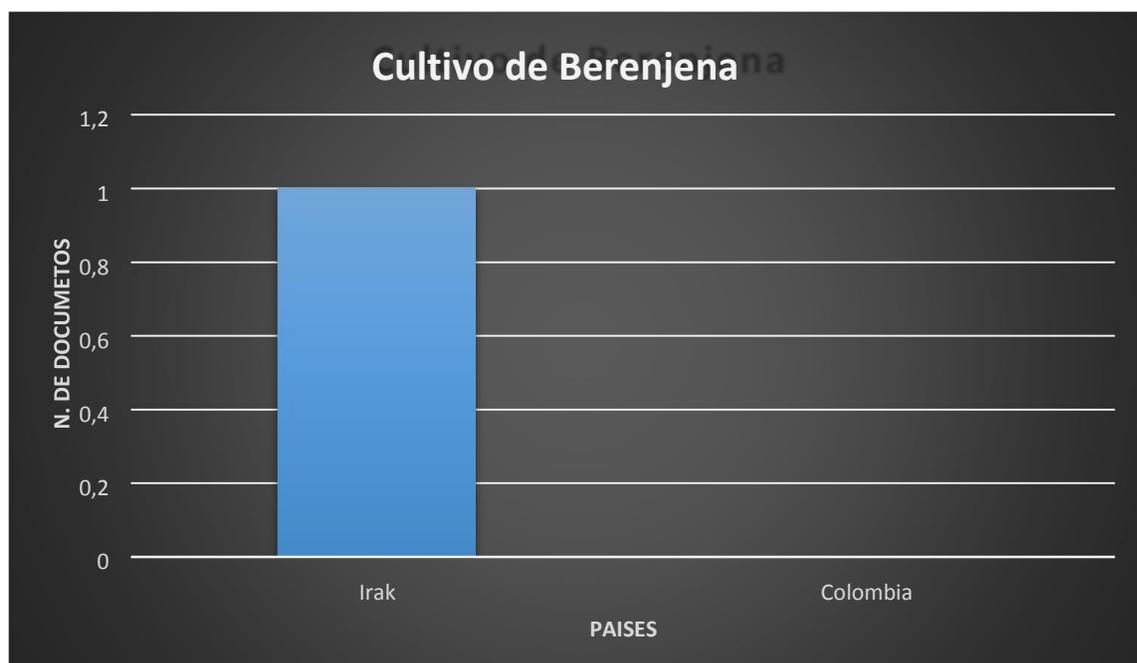


Fuente: Autor propio 2020

El cultivo de chile habanero es un cultivo promisorio para algunos países, los cuales han buscado realizar el manejo de las enfermedades radiculares causadas de los patógenos, de una manera biológica por medio de antagonistas bacterianos como los es *B. subtilis*, donde en dicho ámbito se logró encontrar que Chile es uno de países que mayor esfuerzos a realizado en este campo, observando que publicaciones realizadas por autores chilenos fueron las únicas que cumplieron con los criterios de la compilación, demostrando que este cultivo requiere de mayor investigación científica, en Colombia no se logró encontrar información científica con respecto al tema del manejo de las enfermedades radiculares de este cultivo por medio del antagonista *B. subtilis*, es una alternativa en el manejo de algunas enfermedades que afectan este cultivo de gran importancia económica.

Figura 6

Número de artículos del cultivo de berenjena por países



Fuente: autor propio 2020

El cultivo de berenjena es de gran importancia económica, que ha presentado pérdidas en su producción, por la causa de diferentes enfermedades en su sistema radicular, conllevado a la

búsqueda de nuevas alternativas de manejo, encontrando el control biológico como una de estas el cual es promisorio, por el manejo de antagonistas que logran controlar los patógenos causantes de estas enfermedades, entre estos encontramos los antagonistas bacterianos como lo es *B. subtilis*, quien presenta un amplio control, convirtiéndose en un agente potencial de control, por ende la comunidad científica e investigadores ha realizado ciertos estudio, siendo Irak es uno de los países donde se han realizado investigaciones de tipo científico, permitiendo evaluar la eficiencia de este antagonista para el control de dichas enfermedades, los resultados obtenidos en esta investigación muestran la eficiencia de *B. subtilis*, los cuales fueron tomados para la compilación, ya que esta investigación cumplió con los criterios establecidos, en cuanto a Colombia la información es muy escasa y no contó con estos criterios de publicaciones, por ende no genera confianza en lo encontrado.

Figura 7

Número de artículos del cultivo de uchuva por países



Fuente: autor propio 2020

El cultivo de Uchuva es de gran importancia para Colombia ya que es un cultivo promisorio, además de ser un cultivo de exportación, este cultivo ha presentado grandes limitantes en su producción, entre las que encontramos enfermedades de tipo radicular las cuales son manejadas generalmente con agroquímicos, que contaminan el ambiente, además de ser poco eficientes, la búsqueda de diferentes alternativas de control biológico, entre las que se encontró el uso de antagonistas bacterianos entre los que se encuentra *B. subtilis*, presentado como un control biológico favorable, lo que lleva a los investigadores a realizar estudios en este campo, encontrando un estudio, el cual cumplía los estándares de la compilación, ya que presentó una información actualizada y bien documentada, indicando que esta bacteria es un buena alternativa de manejo, provocando que la comunidad científica e investigadores profundicen más en este tema, ya que es de gran importancia para el país, en cuanto a los demás países no se encontró información que cumpliera con los criterios de la compilación y se encontraron estudios referentes a este tema del manejo de *B. subtilis* como antagonistas de los patógenos causantes de las enfermedades que limitan la producción de este cultivo.

Conclusiones

El uso del antagonista *B. subtilis* ha venido presentado un patrón de crecimiento investigativo manifestándose mayor interés en esta bacteria como controlador biológico de diferentes patógenos que causan enfermedades en los diferentes cultivos de la familia Solanaceae, ya que el uso indiscriminado de agroquímicos ha venido presentado grandes impactos ambientales, lo cual ha conllevado a la búsqueda de estas alternativas localizándose 12 tesis y 14 artículos científicos en este tema en los últimos 10 años.

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*.

Los trabajos de investigación sobre el empleo de *B. subtilis* para el control de enfermedades de los cultivos de las solanáceas desarrollados en Colombia son escasos, siendo los países más destacados México, Perú y Chile y el cultivo más abordado la papa.

Recomendaciones

Realizar investigaciones de campo y laboratorio sobre el antagonista *B. subtilis* que permita especificar qué tipos de patógenos logran controlar las diferentes cepas de *Bacillus Subtilis*.

Ejecutar en Colombia investigaciones realizadas en otros países, permitiendo de este modo tener una visión más amplia sobre como *B. subtilis* ejerce el control de los patógenos que afectan los cultivos de la familia Solanaceae.

Verificar los resultados obtenidos en las investigaciones compilas de otros países donde se podría tener en cuenta las realizadas en México ya que este es uno de los países que mayor número de investigaciones ha realizado con respecto al uso de *B. subtilis* como biocontrolador de enfermedades radiculares en los cultivos de la familia Solanaceae.

Referencias

- Abdeljalil, N., Renault, D., Gerbore, J., Vallance, J., y Rey, P. (2020). Evaluation of the effectiveness of tomato-associated rhizobacteria applied singly or as three-strain consortium for biosuppression of *Sclerotinia* stem rot in Tomato. *Revista de tecnología microbiana y bioquímica*, 8 (4), 312-320
- Alfaro, B., y Del Solar, L., (2019). Efecto de *Bacillus subtilis* en el desarrollo de *Phytophthora capsici* L. En *Capsicum annum* L. Var. Longum. Tesis, Universidad de Trujillo, Perú.
- Aliye, N., Fininsa, C., Hiskias, Y., (2008). Evaluation of rhizosphere bacterial antagonists for their potential to bioprotect potato (*Solanum tuberosum*) against bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*), *Revista Elsevier* 47, 282-288
- Araque, A. y Sandoval, C. (2019). Efecto de alternativas biológicas para la bioestimulación de la planta y posible prevención de las enfermedades radiculares en semillero y primera etapa del desarrollo del cultivo de lulo (*Solanum quitoense* Lam) en el municipio de Toledo, Norte de Santander. Recuperado el 30 de octubre de Universidad de Pamplona.
- Ariza, Y., y Sánchez, L., (2020). Determinación de metabolitos secundarios a partir de *Bacillus subtilis* con efecto biocontrolador sobre *Fusarium* sp. *Nova*, 10, 135-250.
<http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v10n18/v10n18a01.pdf>
- Asaka, O., Shoda, M., (1996). Biocontrol of *Rhizoctonia solani* Damping-Off of Tomato with *Bacillus subtilis* RB14. *Applied and environmental microbiology*, 62 (11), 4081–4085
- Bacab, A., (2019). Antagonismo de *Bacillus subtilis* sobre hongos fitopatógenos y su efecto en *Capsicum* spp. Tesis, Instituto tecnológico de Conkal, México.
- Barahona., (2012). Control Biológico de *Rhizoctonia solani* Kühn en papa (*Solanum tuberosum* L), mediante diferentes concentraciones y formulados de una cepa de *Bacillus subtilis*

Cohn. Tesis, Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Agronomía

Barrero, L., Navas, A., Bernal, A. y López, C. (2012). Generación de valor para el desarrollo competitivo del cultivo de la uchuva como modelo de bioprospección de frutas en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA.
https://www.researchgate.net/publication/257068857_Generacion_de_valor_para_el_desarrollo_competitivo_del_cultivo_de_la_uchuva_como_modelo_de_bioprospeccion_de_frutas_en_Colombia#:~:text=En%20Colombia%2C%20los%20cultivos%20de,son%20los%20principales%20cultivos%20de

Bernal, R., (2010). Enfermedades de tomate (*Lycopersicum 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>

Bustamante, A., (2015). Control biológico del tizón tardío *Phytophthora infestans* en papa *Solanum tuberosum* a través de consorcios microbianos formados por hongos nativos del género *Trichoderma* sp. Tomado de 12 de agosto de 2020 de
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7692/1/UPS-CT004553.pdf>

Calderón (2002). Aislamiento y caracterización de *Bacillus* sp como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales. Trabajo de grado para optar al título de Microbiólogo Agrícola y Veterinario. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Colombia.

Cardona, L., Castaño, J., y Ceballos, N. (2016). Epidemiología del tizón tardío (*phytophthora infestans* (mont.) de bary) en quince introducciones de tomate silvestre revista. U.D.C.A

Act. & Div. Cient. 19(1): 45-54, <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a06.pdf>

- Carrión, J., (2007). Evaluación de cepas de *Bacillus subtilis* para biocontrolar *Erwinia carotovora* sub sp., *carotovora* en cala (*Zantedeschia* sp) y *Rhizoctonia solani* kühn en papa (*Solanum tuberosum* L), Tesis, Universidad Austral de Chile.
- 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. Tesis Instituto Politécnico Nacional, México.
- Cedillo, J., (2011). Microencapsulación de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma asperellum* y su efecto antagónico sobre *Fusarium oxysporum* y *Rhizoctonia solani* y en el desarrollo de plantas de Chile (*Capsicum annuum*). Recuperado el 12 de octubre de 2020 de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4316/T18672%20JAIMES%20CEDILLO,%20JUAN%20RUBEN%20%20TESIS%20%20%20%20%20%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
- Cuesta, S. (2017). Estandarización de una pcr-ssp para la identificación del fitopatógeno *phythophtora infestans* (oomycete) a partir de muestras de adn en frutos inoculados en la berenjena (*Solanum melongena*). Tomado el 12 de agosto de 2020 de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5451/1/OspinaCuestasSeirAndres2017.pdf>

- Cuesta, I. Ferrer, A., Rengifo, E. (2009). Importancia de la inoculación dual de bacterias y *Glomus mosseae* sobre el crecimiento y micorrización de plántulas de *Swietenia macrophylla* x Mahagoni. Recuperado de:
<http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/1064/cuf0112s.pdf>
- FAO, (2013) Directrices sobre la Prevención y Manejo de la Resistencia a los Plaguicidas, recuperado de <http://www.fao.org/3/a-bt561s.pdf>
- Flores, A., Egúsquiza, R., Patiño, A., Sánchez, T., Alcarraz, M., Claudio, J., Trigo, C., y Evangelio, A., (2014). Selección evaluación de microorganismos nativos con potencial antagonista de *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora infestans* promotores del crecimiento de tuberculillos de papa *Solanum tuberosum* L. in vitro. *Theorema - UNMSM Volumen 1 (1)*, 27-36.
- Jarcia, D., (2018). Control del marchitamiento vascular de la uchuva basado en mezclas de microorganismos rizosféricos provenientes de suelos potencialmente supresivos. Tesis, Universidad nacional de Colombia.
- Guillén-Cruz, R., Hernández-Castillo, F., Gallegos-Morales, G., Rodríguez-Herrera, R., Aguilar-González, C., Padrón-Corral, E., y Reyes-Valdés, 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 annuum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24 (2), 105-114.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). La metodología de investigación. McGRAW-HILL / interamericana editores, .A. DE C.V. Mexico DF.
- Hernández, M., Hernández, F., Lira, R., 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.

- Huallanca, C., Cadenas, C., (2013). Control de *Phytophthora capsici* Leonian en *Capsicum annuum* cv. Papri king con fungicidas, fertilizantes y biocontroladores. *Revista Anales Científicos*, 75 (1), 130 – 137.
- Hussain, T., Khan, A. (2020). *Bacillus subtilis* HussainT-AMU y su actividad antifúngica contra la caspa negra de la patata causada por *Rhizoctonia solani* en tubérculos-semilla. *Revista elsevier; Biocatálisis y biotecnología agrícola* 23 (2020) 101443.
- Instituto Colombiano Agropecuario (2004) Por la cual se dictan las disposiciones sobre Registro y Control de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia., Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resolucionesoficinas-nacionales/resoluciones-derogadas/resolucion-375-de-2004.aspx>
- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Gil, L., Garcia, M., Climaco, J., Quevedo, D. y Guzman, M. (2013). Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, *Agrosavia*, 387 – 389.
- Larkin, R., (2020). Biological control of soilborne diseases in organic potato production using hypovirulent strains of *Rhizoctonia solani*, *revista internacional de sistemas de producción sostenibles* 36 (2), 119-129.
- López-Jordi, M.C., Piovesan, S., y Patrón, C. (2016). Orientaciones para realizar una monografía de Revisión. Facultad de Odontología Departamento de Publicaciones. Universidad de Uruguay. Montevideo: Udelar.FO.
- Lugo, M. (2011). Aplicación de *Bacillus* spp. Para el control biológico de *fusarium oxysporum* Schlechtend. f. sp. Radicis-lycopersici en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), Tesis,

Instituto politécnico nacional.

- Madhi, Q., Jumaah, A., (2020). Affectivity evaluation of *Bacillus subtilis* in controlling eggplant root rot caused by *Rhizoctonia solani* and *Fusarium solani*. *Revista Tierra y Medio Ambiente*.
- Mamphogoro y Babalola., (2020). Sustainable management strategies for bacterial wilt of sweet peppers (*Capsicum annuum*) and other Solanaceous crops. *Revista de microbiología aplicada* ISSN 1364-5072
- Martinez, Z., (2008). Algunos aspectos epidemiológicos del moho blanco de la lechuga (*Lactuca sativa*) en dos municipios productores de Cundinamarca. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado el 16 de agosto de 2020 de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8195/tesis110.pdf?sequence=1>
- Mueller, Solow, Taylor, Skwarecki, Buels, Binns, Lin, Wright, Ahrens, Wang, Herbst, Keyder, Menda, Zamir y Tanksley. (2005). La red SOL Genomics. Un recurso comparativo para la biología de las solanáceas y más allá. *Revista Plant Physiology*®
- Méndez, J., Flores, M. y Paramo., L. (2017). Aislamiento e identificación de *Bacillus subtilis* y evaluación del antagonismo in vitro frente hongos fitopatógenos. *Revista científica Nexo* Vol. 30, No. 02, pp. 96-110. <http://dx.doi.org/10.5377/nexo.v30i2.5530>
- 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*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 34, 208-222. 10.18781/R.MEX.FIT.1603-1
- Muñoz, J., Rodriguez, F. y Criollo., H. (2014). Caracterización técnico-económica del sistema de producción de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el departamento de Nariño. *Agronomía*

Colombiana 32(2), 276-282, 2014 file:///C:/Users/PC-HP/Downloads/40961-220895-1-PB.pdf

- Nagua, E., (2016). Uso de la bacteria *Bacillus subtilis* como agente de control biológico de hongos fitopatógenos en cultivos tropicales. *UTMACH*. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador.
http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7606/1/DE00003_EXAMENCOMPLEXIVO.pdf
- Pallas, V., (2019). Publicación oficial de la sociedad española de Fitopatología recuperado el 03 de noviembre de 2020 de
<http://sef.es/sites/default/files/publications/FITOPATOLOG%25C3%258DA%2520N%25C2%25BA4.pdf>
- Pulido, A., (2016). Evaluación del efecto de *Bacillus subtilis* EA-CB0575 en la promoción de crecimiento de *Zea mays* y *Solanum lycopersicum* a nivel de invernadero, tesis Universidad EAFIT. Recuperado de
https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/9735/AnaCarolina_PulidoJim%C3%A9nez_2016.pdf?sequence=2
- Retana, K., Coché, JAR., Castro, O., y Blanco, M. (2018). Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium oxysporum* F. SP. Apii asociado a la marchitez del apio en Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 42(1), 115-126.
- Ramírez, R., (2018). Ensayo experimental para testar la eficacia del uso de fungicidas biológicos y químicos frente a *Sclerotium rolfsii* en cultivo de patata. Tesis, Universidad de Sevilla.
- Robles, A., (2011). Evaluación de microorganismos antagonistas y sustancias naturales en el control de enfermedades foliares en tomate, Tesis, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.

- Rodríguez, H. y Canencio, J. (2007). Efecto del agente causal de la marchitez vascular de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) el hongo *Fusarium oxysporum* Schlecht, sobre algunas Solanaceas y otras especies cultivadas afectadas por formas especiales del microorganismo. Recuperado el 12 de agosto de 2020 de <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis293.pdf>
- Romero, J., (2010). Inductores químicos y biológicos de resistencia para el control de *Phytophthora infestans* en papa cultivar Yungay, Tesis, Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.
- Salcedo, C. (2017). Evaluación de medios de cultivo líquidos para la bacteria *Bacillus subtilis*, Universidad San Francisco de Quito. Recuperado el 16 de agosto del 2020 de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6598/1/131031.pdf>
- Sánchez, F. (2016). Importancia de los lipopéptidos de *Bacillus subtilis* en el control biológico de enfermedades en cultivos de gran valor económico. *Revista Bionatura* 1 (3) 135 -138. <https://www.revistabionatura.com/files/lipopeptidos.pdf>
- Sánchez, V. (2017). Aislamiento e identificación de bacterias con potencial de biocontrol a *Alternaria* sp., asociadas a *Solanum lycopersicum*. Tesis, universidad nacional de Colombia.
- Sierra, O. y Ariza, L. (2017). La investigación en el cultivo de papa en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia revista ufps Vol. 22 Núm. 2 (2017) <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/1211>
- Smith, A. (2007). Caracterización, análisis espacial y manejo integrado del moho blanco (*Sclerotinia minor* Jagger y *S. sclerotiorum* (Lib) de Bary) en lechuga batavia (*Lactuca*

- sativa* L. var. *Capitata* L.) En la vereda la moya (Cota- Cundinamarca). Recuperado el 17 de agosto de 2020 de <https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis292.pdf>
- Soto, N., López, S. y Murguía, C. (2012). Eficacia de la cepa nativa de *Bacillus subtilis* como agente supresor del nematodo del nudo *Meloidogyne* spp. en cultivo de *Capsicum annum* (ají pimiento piquillo). Recuperado el 17 de octubre de 2020 de Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
- <file:///C:/Users/PCHP/Downloads/DialnetEficaciaDeCepaNativaDeBacillusSubtilisComoAgentSu-4227009.pdf>
- Suntaxi., C. y Gordón, M. (2016). Aislamiento, identificación y pruebas *in vitro* de cepas autóctonas de *Bacillus subtilis* como agente de biocontrol de *Alternaria* spp en *Brassica oleracea var.italica*. Recuperado el 16 de agosto del 2020 de
- <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12144/1/UPS-QT09671.pdf>
- Truillo, F. (2015). Efectos de la aplicación de dos formas de biofungicidas en diferentes etapas en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) sobre el hongo fitopatógeno (*Sclerotinia* sp.) en ambiente protegido. Recuperado el 18 de agosto de 2020 de
- <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/71112/T2129.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valdez, M., (2016). Bacterias antagonistas para el control biológico de *Ralstonia solanacearum* (E. F. Smith) en tomate (*Solanum lycopersici* L.), Tesis, Centro de investigacion en alimentación y desarrollo A.C. México.
- Valencia, A., (2017). Uchuva en el contexto de la producción agrícola colombiana y los tlc's.
- revista unal* 10 (2), 131-144, 2017.
- <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ensayos/article/viewFile/72501/66251>

Villa, P., Alfonso, I., Rivero, M. y González, G. (2007). Evaluación de cepas de *Bacillus subtilis* bioantagonistas de hongos fitopatógenos del género *Fusarium*. *ICIDCA* N 1.

<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114967009.pdf>

W. Pérez, G. F. (2014). Manual técnico el tizón tardío de la papa. Obtenido de

<http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/004271.pdf>