



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Grado de carácter
Complexivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad,
como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

“Estudio de *Bacillus subtilis* como bacteria promotora de crecimiento
vegetal en cultivos hortícolas en Los Ríos”.

AUTOR:

Klever Javier Macías Palma.

TUTOR:

Ing. Agr. Eduardo Colina Navarrete, Mg.Sc.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2021

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestras madre y hermanos, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. También se lo dedico a mi novia, Meilyn Wu por su amor y apoyo incondicional en toda esta etapa de mi vida.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Por último, a mis amigos: Daniel, Yango, Johel, Damary, Jean, Pedro, Joffre y Lady, por ser unos buenos amigos

Klever Javier Macias Palma.

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de nuestra existe, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mi madre, Anatolia Isabel Palma Peralta, por ser el principal promotor de mis sueños, por confiar y creer en mí, por sus consejos, valores y principios que me han inculcado. Agradezco a mis hermanos por el apoyo y confianza a lo largo de mi vida.

Agradezco a mi padrino y amigo, Patricio Zambrano Bravo, por ser parte fundamental en mi desarrollo como persona de bien, y por todo sus consejos y enseñanzas de vida.

Agradezco a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad Técnica de Babahoyo, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, y de manera especial, al Ing. Agr. Eduardo Colina Navarrete, tutor de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y sus conocimientos como docente.

Klever Javier Macias Palma.

RESUMEN

La presente investigación trata sobre el estudio de *Bacillus subtilis* como bacteria promotora de crecimiento vegetal en cultivos hortícolas en Los Ríos. Esta bacteria ha sido descubierta dentro del grupo de antagonistas de otros patógenos y sirve para controlar fitopatógenos, e incluso plagas, del cual se han formulado diferentes productos comerciales a base de estas bacterias. Por las conclusiones planteadas, se determina que Las bacterias promueven el crecimiento de los vegetales mediante diferentes mecanismos directos e indirectos que inducen a la resistencia sistémica de las plantas, tanto al estrés biótico (ataque de patógenos) o al estrés abiótico (periodos de sequía, temperatura, contaminantes); *Bacillus subtilis* es una bacteria considerada como alternativa ecológica para mejorar el crecimiento del fruto y aumento del rendimiento de los cultivos hortícolas, especialmente en la provincia de Los Ríos, ya que produce antibióticos naturales que debilitan la pared celular e inhiben el crecimiento de patógenos mediante la producción de sustancias como *Bacilomycin*, *Fengimycin* y *Micoceryn*, las cuales son consideradas antibióticos contra hongos y la ingeniería genética es la ciencia que permite obtener microorganismos modificados genéticamente que permite ampliar capacidades de las bacterias promotoras de crecimiento.

Palabras claves: bacterias, microorganismos, *Bacillus subtilis*, hortalizas.

SUMMARY

The present investigation starts on the study of *Bacillus subtilis* as a plant growth promoter bacteria in horticultural crops in Los Ríos. Among the growth-promoting bacteria is *Bacillus*, which is a genus used to control phytopathogens, and even pests, from which different commercial products have been formulated based on these bacteria. Due to the conclusions raised, it is determined that Bacteria promote plant growth through different direct and indirect mechanisms that induce systemic resistance of plants, both to biotic stress (attack by pathogens) or to abiotic stress (periods of drought, temperature, contaminants); *Bacillus subtilis* is a bacterium considered as an ecological alternative to improve fruit growth and increase the yield of horticultural crops, especially in the province of Los Ríos, since it produces natural antibiotics that weaken the cell wall and inhibit the growth of pathogens through production of substances such as Bacilomycin, Fengimycin and Micoceryn, which are considered antibiotics against fungi and genetic engineering is the science that allows obtaining genetically modified microorganisms that allows expanding capacities of growth-promoting bacteria.

Keywords: bacteria, microorganisms, *Bacillus subtilis*, vegetables.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
MARCO METODOLÓGICO	2
1.1. Definición del tema caso de estudio	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. General	3
1.4.2. Específicos.....	4
1.5. Fundamentación teórica.....	4
1.5.1. Generalidades de las bacterias promotoras de crecimiento	4
1.5.2. Bacterias promotoras de crecimiento en cultivos hortícolas	10
1.5.3. Importancia de <i>Bacillus subtilis</i> en los cultivos hortícolas	12
1.6. Hipótesis	18
1.7. Metodología de la investigación	18
CAPÍTULO II.....	19
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.1. Desarrollo del caso	19
2.2. Situaciones detectadas	19
2.3. Soluciones planteadas	20
2.4. Conclusiones	20
2.5. Recomendaciones	21
BIBLIOGRAFÍA	22

INTRODUCCIÓN

Desde que la agricultura surgiera en el Neolítico el hombre ha domesticado plantas y animales, modificando el entorno, para garantizar el abastecimiento de alimentos. De esta forma comenzó la actividad agraria como una respuesta a las necesidades básicas de los seres humanos. Desde entonces hasta la actualidad, la agricultura ha evolucionado hacia una actividad económica que ha aprovechado los avances científicos y tecnológicos para mejorar los rendimientos de los cultivos, intentando asimismo asegurar la protección de las plantas (Martínez 2018).

Las bacterias de vida libre o asociativas que habitan la rizosfera pueden estimular el crecimiento de las plantas a través de mecanismos, como: síntesis de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal, fijación de nitrógeno, solubilización de nutrientes, producción de sideróforos y control de fitopatógenos del suelo. Los microorganismos más estudiados pertenecen a los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Beijerinckia*, *Pseudomonas* y *Bacillus*; algunos de los cuales sobreviven en condiciones de estrés (Loredo *et al.* 2016).

Bacillus subtilis es una bacteria Gram positiva habitante natural del suelo, la cual coloniza las raíces, compitiendo con los patógenos por espacio y sitios de infección. Las mayores poblaciones de *Bacillus* en suelos, se localizan entre los 2,5 y 5 cm de profundidad. Se ha documentado que produce antibióticos naturales que debilitan la pared celular e inhiben el crecimiento de patógenos mediante la producción de sustancias como *Bacilomycin*, *Fengimycin* y *Micoceryn*, las cuales son consideradas como antibióticos contra hongos (Saino 2020).

El presente documento tuvo como finalidad estudiar *Bacillus subtilis* como bacteria promotora de crecimiento vegetal en cultivos hortícolas en Los Ríos.

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1. Definición del tema caso de estudio

El presente documento trató sobre el estudio de *Bacillus subtilis* como bacteria promotora de crecimiento vegetal en cultivos hortícolas en Los Ríos. *Bacillus subtilis* es una bacteria promotora de crecimiento que promueve el desarrollo de los cultivos hortícolas.

1.2. Planteamiento del problema

La intensidad con que se manejan los cultivos hortícolas sumado a un excesivo uso de insumos de síntesis química han ocasionado por un lado un deterioro acelerado de los suelos, lo que se traduce, en la reducción de la permeabilidad y la fuerte tendencia a la compactación, así también a una deficiente estabilidad de los agregados. Por otro lado, la degradación de la estructura también puede ocasionarse por la pérdida de materia orgánica, asociada generalmente al riego y al laboreo (Rojas *et al.* 2017)

En general, a los pocos años de iniciada la producción hortícola los rendimientos de los cultivos disminuyen debido a la degradación del suelo por diversas causas: salinización, alcalinización, disminución de permeabilidad, encharcamiento, desequilibrios nutritivos y desarrollo de enfermedades. En parte, estas degradaciones tienen su origen en la fertilización excesiva que conduce a una situación de hiperfertilización, con mayores costos productivos y daño ambiental.

El biocontrol surge como alternativa a los problemas mencionados, especialmente en el control de enfermedades, para lograr una agricultura más amigable con el medioambiente y definitivamente sostenible (Rives *et al.* 2017).

1.3. Justificación

Las hortalizas representan una parte importante dentro de la dieta

alimenticia de la población y constituyen un lugar en la producción agrícola, aportando muchos beneficios desde el punto de vista nutricional y previenen enfermedades. En los últimos años han disminuido las áreas cultivadas con hortalizas, sin embargo, no abastece los mercados nacionales, debido a que los rendimientos de los cultivos hortícolas se ven afectados por factores bióticos y abióticos.

Es por ello que se busca la forma de aumentar los rendimientos de su producción con el uso de métodos efectivos de la agricultura sostenible, en las que se utilicen tecnologías amigables con el medio ambiente. Los hongos fitopatógenos son los principales causantes de enfermedades en las plantas, pues provocan, aproximadamente, el 25 % de las pérdidas en los cultivos (Rojas *et al.* 2017).

El empleo de microorganismos con potencialidades para la promoción del crecimiento vegetal es una alternativa para aumentar la producción agrícola. Las Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPB) son un grupo de microorganismos promisorios y ampliamente estudiados como una de las formas posibles para reducir los costos de producción en la agricultura moderna.

Estas bacterias poseen varias estrategias para potenciar el crecimiento de la planta como la solubilización y reciclaje de nutrientes, la producción de hormonas estimuladoras del crecimiento, la fijación de nitrógeno, la inducción de defensa de las plantas, la producción de antibióticos y otras sustancias antimicrobianas, y la desintoxicación del suelo, entre otras (Rojas *et al.* 2020).

Por lo expuesto se justifica la presente investigación, con la finalidad de indagar la respuesta de *Bacillus subtilis* como bacteria promotora de crecimiento vegetal en cultivos hortícolas en Los Ríos.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Estudiar *Bacillus subtilis* como bacteria promotora de crecimiento vegetal

en cultivos hortícolas en Los Ríos.

1.4.2. Específicos

- Analizar la información sobre las bacterias promotoras de crecimiento vegetal en cultivos hortícolas.
- Detallar la importancia de *Bacillus subtilis* como bacteria promotora de crecimiento vegetal en cultivos hortícolas en Los Ríos.

1.5. Fundamentación teórica

1.5.1. Generalidades de las bacterias promotoras de crecimiento

Sánchez (2018) argumenta que:

“Las hortalizas difundidas en el mundo poseen alto valor económico, ya que representa 30 % de la producción hortícola a nivel mundial. Su demanda aumenta considerablemente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años, se debe principalmente al rendimiento e incremento de la superficie cultivada”.

Fundación para la Innovación Agraria (2017) publica que:

“La incidencia y severidad de enfermedades bacterianas en los cultivos de hortalizas y frutales ha aumentado considerablemente en las últimas temporadas, causando graves pérdidas en los cultivos afectados y un aumento importante de los costos involucrados en su prevención y control. Estas enfermedades son difíciles de controlar, aun aplicando medidas sanitarias preventivas para reducir su incidencia”.

Desde el punto de vista de Sánchez *et al.* (2018).

“En la actualidad los productores están interesados en la búsqueda de nuevos sistemas de producción que incrementen los rendimientos y generen productos de excelente calidad. Debido a ello han surgido insumos agrícolas con base en microorganismos y otros materiales de origen orgánico, por ejemplo las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y los sustratos a base de compost, como opciones que fortalecen el enfoque de la agricultura sustentable”.

Rives *et al.* (2017) comenta que:

“Las plantas constituyen excelentes hábitats microbianos. Las raíces se desarrollan en un medio cuya humedad es generalmente poco variable y las concentraciones de nutrientes son altas, por lo que constituyen un ambiente ideal para la acción microbiana”.

De acuerdo a Luna (2017):

“La fertilidad de un suelo está basada en su capacidad para suministrar los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas; en ello juega un papel importante la comunidad microbiana que participa activamente en la captación de nutrientes y en la mineralización de la materia orgánica”.

Fundación para la Innovación Agraria (2017) divulga que:

“El biocontrol es uno de los principales componentes del manejo integrado de plagas y se define como la suma de acciones emprendidas para favorecer la acción de parásitos, depredadores y patógenos, en el control de un insecto plaga. Este tipo de control involucra una estrategia de manejo racional de insecticidas, donde el uso de productos biológicos constituye una parte importante de ésta. El combate biológico consiste en el manejo de poblaciones de la plaga utilizando a sus enemigos naturales; puede ser realizado en forma natural o inducida”.

Regueira (2018) considera que:

“El Control Biológico o Biocontrol, consiste en utilizar organismos naturales o sus productos metabólicos para provocar una reducción en la población de los parásitos y/o patógenos. Los antagonistas son aquellos agentes biológicos, hongos, bacterias, virus, que atacan a los patógenos, manteniendo de esta manera bajo control la población de los individuos “blanco” o “diana”. Además, se ha demostrado que las PGPB son antagonistas de patógenos a través de la producción de sideróforos, síntesis de inhibidores del crecimiento y/o enzimas”.

Rives *et al.* (2017) destacan que:

“Los exudados radicales, formados por azúcares, mucigel, ácidos orgánicos y aminoácidos, pueden conformar hasta un 40 % de los fotosintatos de la planta, lo cual cambia la composición del suelo en la vecindad de la raíz, creando un medio selectivo para la existencia de grandes poblaciones microbianas heterótrofas, que establecen diferentes interacciones con la planta, tanto positivas (promotoras del crecimiento vegetal), negativas (patogénicas) como neutrales”.

Rojas *et al.* (2017) determinan que:

“Entre los microorganismos que se usan contra el ataque fúngico se encuentran las bacterias promotoras del crecimiento vegetal según sus siglas en inglés), las cuales aportan beneficios a las plantas y al ecosistema. Estos microorganismos tienen la capacidad de ejercer un efecto positivo sobre el crecimiento y la salud de las plantas, mediante diversos mecanismos que incluyen la producción de fitohormonas, la solubilización de fosfatos, la fijación de nitrógeno y el control biológico de patógenos”.

Loredo (2016) estima que:

“Cuando las bacterias se localizan en estructuras especializadas, como los nódulos en las leguminosas, se establece una simbiosis mutualista estricta. En contraste, cuando las rizobacterias aprovechan el microambiente favorable de la planta, sin formar estructuras de nodo sobre la raíz, se habla entonces de una simbiosis asociativa”.

Rojas *et al.* (2017) explican que:

“Una de las alternativas más utilizadas para enfrentar este ataque fúngico en los cultivos hortícolas es el uso de biocontroladores obtenidos a partir de microorganismos, con el objetivo de disminuir el uso de agroquímicos debido a su impacto negativo sobre el medio ambiente, por lo que constantemente se buscan nuevas cepas con estas potencialidades”.

Según Rives *et al.* (2017):

“Debido al impacto negativo sobre el medio ambiente y al alto precio en el mercado internacional que tienen los fertilizantes y pesticidas químicos, los agricultores del mundo entero, especialmente los de países subdesarrollados, se interesan cada día más por la biofertilización de los cultivos, con el fin de mejorar el rendimiento. En este sentido, las bacterias rizosféricas y endófitas sobresalen como una solución a los problemas ambientales causados por la agricultura intensiva tradicional”.

Torriente (2017) expresa que:

“Las bacterias promotoras de crecimiento favorecen a las plantas a través de diferentes mecanismos que se pueden resumir en: la fijación biológica del nitrógeno, síntesis de fitohormonas como las auxinas fundamentalmente el ácido indolacético AIA, promoción del crecimiento de la raíz y proliferación de pelos radicales, mejora de la absorción de agua y nutrientes, solubilizan los fosfatos di y tricálcicos y otros minerales, inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos y producen sideróforos, que son los iniciadores de la resistencia sistémica inducida (ISR)”.

Loredo (2016) indica que:

“Muchas bacterias asociativas son consideradas bacterias promotoras del crecimiento vegetal, debido a su capacidad para estimular directamente el crecimiento de las plantas, a través de diversos mecanismos, como el aporte de nitrógeno por el proceso de fijación biológica de nitrógeno atmosférico, producción de sustancias reguladoras del crecimiento, solubilización de minerales y nutrimentos, incremento en el volumen de la raíz, inducción de resistencia sistémica a patógenos, inhibición del crecimiento de organismos antagónicos e interacción sinérgica con otros microorganismos del suelo”.

Benjumeda (2017) informa que:

“Los mecanismos de acción de las bacterias promotoras de crecimiento de las plantas son variados y se pueden clasificar, de manera general,

en extracelulares que ocurren en el exterior de la rizosfera; en los espacios entre células del córtex de la raíz, o intracelulares. Según su acción se dividen principalmente en dos tipos: Directos e indirectos. La diferencia principal es que los mecanismos indirectos ocurren fuera de la planta, mientras que los directos ocurren dentro de ella y afectan directamente a su metabolismo a través de la modificación de la expresión de genes”.

Para Torriente (2017):

“Los mecanismos por los que las bacterias promotoras de crecimiento controlan los microorganismos patógenos son: la competencia por el nicho ecológico o sustrato, síntesis de compuestos químicos inhibitorios como los sideróforos, los antibióticos y las enzimas líticas destoxificadoras e inducción de resistencia en la planta”.

Regueira (2018) menciona que:

“Mecanismos directos: son aquellos en los que los metabolitos producidos por la bacteria son utilizados como reguladores de crecimiento o precursores de éstos por parte de la planta. Estos mecanismos incluyen la producción de compuestos volátiles y fitohormonas, alteraciones en la síntesis de etileno en la planta y mejoramiento en la nutrición de la planta (liberación de fosfatos y micronutrientes de fuentes insolubles; fijación de nitrógeno)”.

El mismo autor corrobora que mecanismos indirectos o de Biocontrol evitan el efecto dañino que los patógenos ocasionan en las plantas. Los efectos indirectos se verifican, por ejemplo, cuando las PGPB reducen la incidencia de las enfermedades al estimular la proliferación de organismos benéficos, inducen la resistencia sistémica de las plantas (ISR), producen antibióticos, compiten por nutrientes y/o espacio.

Sánchez *et al.* (2018) reportan que:

Las bacterias promotoras son capaces de estimular el crecimiento de las plantas a través de diferentes mecanismos:

- fijación biológica de nitrógeno;
- solubilización de fosfatos;
- síntesis de fitohormonas, como las auxinas y principalmente el ácido indolacético (AIA);
- inhibición del desarrollo de microorganismos fitopatógenos por la síntesis de antibióticos o sideróforos, destacan que las RPCV actúan como elicitores naturales mejorando el crecimiento y rendimiento de los cultivos vegetales.
- El empleo de insumos a base de RPCV, aplicados al suelo o a las plantas, podría ser una alternativa biotecnológica para la producción de cultivos agrícolas, reduciendo la aplicación de fertilizantes sintéticos y agroquímicos que deterioran el ambiente.

Torriente (2017) señala que:

“Los estudios de las bacterias promotoras de crecimiento se han sistematizado y profundizado en el tiempo, y se han llegado a elaborar metodologías para su aplicación, que incluyen la caracterización rizosférica y endófitas, el aislamiento de bacterias, la clasificación de cepas, los estudios de interacción de microorganismos con la planta, la selección de cepas promisorias, preparación de inoculantes microbianos y, por último, determinación de la calidad y factibilidad económica en campo”.

Luna (2017) sostiene que:

“Numerosos reportes han descrito la asociación benéfica entre plantas y microorganismos en la que bacterias y hongos aplicados a la semilla, al suelo o a la planta, colonizan la raíz, la rizosfera o ambos, y promueven el crecimiento de las plantas e incrementan la absorción y disponibilidad de nutrientes del suelo. Estos microorganismos son conocidos como promotores del crecimiento vegetal y pueden ser empleados como biofertilizantes en cultivos”.

Loredo (2016) enfatiza que:

“Las bacterias de vida libre o asociativas que habitan la rizosfera pueden estimular el crecimiento de las gramíneas a través de mecanismos, como: síntesis de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal, fijación de nitrógeno, solubilización de nutrientes, producción de sideróforos y control de fitopatógenos del suelo. Los microorganismos más estudiados pertenecen a los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Beijerinckia*, *Pseudomonas* y *Bacillus*; algunos de los cuales sobreviven en condiciones de estrés. La mayoría de los estudios sobre la interacción de estas bacterias con las plantas se ha realizado en condiciones de laboratorio e invernadero”.

Desde el punto de vista de Sánchez *et al.* (2018).

“Para incrementar los rendimientos de los cultivos hortícolas, tanto en condiciones de campo abierto como en condiciones de agricultura protegida, es de vital importancia la obtención de plántulas sanas y vigorosas; en este sentido se ha propuesto el uso de RPCV entre las que se encuentran los géneros *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterim*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia*, entre otros”.

1.5.2. Bacterias promotoras de crecimiento en cultivos hortícolas

Luna (2017) indica que:

“El empleo de biofertilizantes con base en rizobacterias promotoras del crecimiento, constituye una alternativa biotecnológica para mejorar la producción de especies de interés hortícola”.

Rives *et al.* (2017) da a conocer que:

“Los microorganismos promotores del crecimiento vegetal desempeñan un papel clave en la toma de nutrientes, la tolerancia a estrés ambiental y, en general, el mantenimiento de la salud radicular, favoreciendo así el aumento del rendimiento de los cultivos, especialmente hortícolas”.

Sánchez (2018) revela que:

“El uso de bacterias promotoras de crecimiento, pueden ser una

alternativa prometedora como biofertilizantes para los cultivos de hortalizas y la producción en la agricultura sostenible teniendo en cuenta que disminuiría el impacto sobre el medio ambiente al reducir el uso excesivo de fertilizantes de síntesis química”.

Benjumeda (2017) sostiene que:

“Dado el interés creciente en la reducción del uso de productos agroquímicos y también por la agricultura ecológica, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal constituyen una alternativa al uso de fertilizantes y agroquímicos, y además pueden ampliar el espectro de suelos que se pueden utilizar para el cultivo hortícola, ya que disminuyen el estrés y aumentan la producción de las plantas cultivadas en suelos pobres, degradados o incluso contaminados”.

Para Sánchez (2018):

“De igual forma, se podrán reducir los costos de producción al requerirse la mitad de la dosis de fertilizante químico, que al ser suplementado con la fertilización bacteriana permite obtener los mismos resultados. Por tanto, la inoculación con estos microorganismos promotores de crecimiento vegetal representa una alternativa limpia y segura para asegurar la fertilización de los cultivos hortícolas sin incurrir en los costos ambientales y económicos de la fertilización química tradicional”.

Tal como indica Regueira (2018):

“Las bacterias que promueven el crecimiento de las plantas hortícolas son conocidas como PGPB (Plant Growth Promoting Bacteria) y son utilizadas en la formulación de productos que se adicionan a los cultivos con el fin de obtener mayor productividad. La promoción del crecimiento de las plantas se produce a través de la producción de diversas sustancias y los mecanismos de acción pueden clasificarse como directos e indirectos”.

Luna (2017) señala que:

“Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal tienen un gran

potencial en la agricultura moderna, porque en la actualidad el cultivo de la mayoría de las hortalizas como tomate y pimiento requiere de la producción de plántulas vigorosas, factor importante para la producción del fruto”.

Fuentes (2016) indica que:

“Para el control de los patógenos radiculares que afectan a los cultivos hortícolas es común la aplicación de pesticidas. Dado los requerimientos actuales por alimentos libres de estas sustancias y producciones inocuas con el medio ambiente, es necesario el uso de bacterias con actividad promotora del crecimiento vegetal para el control biológico de los patógenos radiculares de hortalizas como tomate, pimiento, pepino; entre ellos *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*”.

1.5.3. Importancia de *Bacillus subtilis* en los cultivos hortícolas

Villares (2020) ratifica la taxonomía de *Bacillus subtilis*

Reino: Bacteria

Filo: Firmicutes

Clase: Bacilli

Orden: Bacillales

Familia: Bacillaceae

Género: Bacillus

Especie: subtilis

Clasificación binomial: *Bacillus subtilis*

Rojas *et al.* (2017) explica que:

“Las bacterias del género *Bacillus* se encuentran ampliamente distribuidas en diversos hábitats que incluyen ecosistemas de agua dulce, marinos y en suelo; sus especies están asociadas muchas veces a plantas, incluyen más de 100 especies. Estas bacterias tienen la capacidad de colonizar la rizosfera y el interior de la planta, así como desarrollar su acción beneficiosa hacia el crecimiento de esta. Además, la característica de formación de endospora le ofrece resistencia a los cambios ambientales, lo que resulta sumamente interesante para la

producción de inoculantes.

De acuerdo a Regueira (2018):

“Los géneros *Bacillus* tienen la ventaja de producir endósporas, que por ser estructuras altamente resistentes a las altas temperaturas, cambios osmóticos, radiaciones y variaciones de pH, permiten una mayor supervivencia en condiciones estresantes. De manera que al permanecer metabólicamente inactivas pero viables bajo condiciones adversas, los hace apropiadas para la formulación de productos estables, facilitando su comercialización y aplicación”.

Peralta (2021) informa que:

“Un agente de biocontrol es el *Bacillus subtilis*, bacteria que genera una enorme cifra de lipopeptidos, metabolitos primarios o secundarios, con una extensa diversidad antibiótica. Dichos metabolitos son supresores efectivos de algunos patógenos de plantas incluyendo; especies de *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, *Septoria*, y *Verticillium*”.

Campusano (2019) corrobora que:

“*Bacillus* es un género utilizado para controlar fitopatógenos, e incluso plagas, y se han formulado diferentes productos comerciales a base de estas bacterias. Generalmente *Bacillus* se encuentra asociado a la rizósfera de las plantas y en el suelo, ya que también actúan como biofertilizante. Entre las sustancias involucradas en el antagonismo, producidas por este género, se encuentran lipopéptidos, quitinasas y sideróforos”.

Gamboa (2016) da a conocer que:

“El estrés ambiental, en particular el estrés salino, es el principal factor restrictivo de la producción de cultivos hortícolas. El contar con nuevas opciones de manejo es sumamente atractivo considerando la gran extensión de suelos que muestran esta problemática. Una de las respuestas inducidas por el estrés es la producción de especies activas

de oxígeno que funcionan como señalizadores que inducen resistencia sistémica. La bacteria *Bacillus subtilis*, sin ser patogénica, es capaz de generar las respuestas de resistencia sistémica asociadas normalmente a la presencia de un patógeno”.

Villares (2020) sostiene que:

“*Bacillus subtilis* son capaces de generar una alta progresión de moléculas bioactivas que posean cualidades antifúngicas, con una pequeña toxicidad, elevada biodegradabilidad y con cualidades que ayudan al medio ambiente, no como los elementos químicos que son usados hoy en día. Asimismo, se consideran como una elección razonable para progresar bio productos por poseer una endospora que soporte a circunstancias ambientales exageradas.

Luna (2017) publica que:

“La inoculación de plantas hortícolas con cepas de *Bacillus* sp. productoras de AIA y solubilizadoras de fosfatos, aumentó el peso y el número de frutos. Los ácidos orgánicos producidos por las bacterias promotoras del crecimiento incrementan también la disponibilidad de micronutrientes como el hierro (Fe) en la zona de la rizosfera. El hierro a su vez puede ser captado por sideróforos, moléculas orgánicas secretadas por estas bacterias, con las que forman quelatos que pueden ser asimilados por las plantas”.

Saino (2020) manifiesta que:

“*Bacillus subtilis* es una bacteria Gram positiva habitante natural del suelo, la cual coloniza las raíces, compitiendo con los patógenos por espacio y sitios de infección. Las mayores poblaciones de *Bacillus* en suelos, se localizan entre los 2,5 y 5 cm de profundidad. Se ha documentado que produce antibióticos naturales que debilitan la pared celular e inhiben el crecimiento de patógenos mediante la producción de sustancias como Bacilomycin, Fengimycin y Micoceryn, las cuales son consideradas como antibióticos contra hongos. Otro antibiótico es Bacilysin, citado como inhibidor de bacterias y levaduras”.

Villares (2020) informa que:

“La actividad biocontroladora de *B. subtilis* se enlaza en forma ajustada con la elaboración de metabolitos antibióticos que pueden ejercer antibiosis. Los péptidos que genera perjudican de manera inmediata a unos cuantos patógenos de plantas, esto puede darse a través de la secreción de varios componentes que se generan en el momento en que la bacteria percibe los nutrientes que hay en el área de las raíces de las plantas que incita la producción de metabolitos secundarios que pueden anular el desarrollo de microorganismos.

Gamboa (2016) sostiene que:

“Al respecto, la presencia de *Bacillus subtilis* en el sustrato de las plántulas modificó la tolerancia de las mismas al estrés inducido con NaCl, en la cual, percibió un incremento en la biomasa de las plántulas de tomate de los tratamientos inoculados, siendo significativo el tratamiento de espuma hidrofílica de Poliuretano acondicionada con tierra de cacao en cuya estructura se mantiene inmovilizado al *B. subtilis*, sobre el resto de los tratamientos. Se cree que estas respuestas se relacionan con la habilidad que tiene *B. subtilis* de aumentar la síntesis de especies activas de oxígeno, las cuales son señalizadoras de las respuestas de defensa”.

Fundación para la Innovación Agraria (2017) publica que:

“Los resultados alcanzados muestran que los formulados a base de varias cepas de *Bacillus subtilis* controlan efectivamente enfermedades bacterianas en distintos cultivos, como: tomate: mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris*), peca bacteriana (*Pseudomonas syringae*), tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y cancro bacterial (*Clavibacter michiganensis*); papas almacenadas: pudrición acuosa (*Erwinia carotovora*)”.

Desde el punto de vista de Peralta (2021), los beneficios de *Bacillus subtilis* son los siguientes:

- Inhibe e infringe en el desarrollo de la germinación de esporas
- Proporciona una barrera física para que los patógenos no se instaure encima de la superficie de los tejidos
- Ejerce como bioestimulante del desarrollo radicular
- Fomenta la secreción de fitohormonas
- Potencia la absorción de agua y nutrientes
- Incide a la planta a generar fitoalexinas, otorgándole resistencia a las plantas al ataque de hongos y bacterias
- Reducir las incidencias de hongos fitopatógenos.

Fundación para la Innovación Agraria (2017) publica que:

“El desarrollo de este nuevo producto a base de *B. subtilis* no sólo representa una solución más efectiva en términos del control de estas enfermedades, para las cuales no existía un adecuado control químico, sino que además se adecuan a las exigencias de mercado en cuanto a inocuidad y sustentabilidad”.

Peralta (2021) indica que:

“Estudios señalan que la aplicación del fungicida biológico *B. subtilis* redujo la incidencia de agentes causales, presentando bajo porcentaje de plantas enfermas. La severidad de enfermedad aumentó progresivamente en cada evaluación en el testigo, iniciando el 19 % a los 30 días y alcanzando al 74 % de severidad a los 70 días evaluados. El uso de *B. subtilis* no solamente reduce daños por agentes patógenos, sino aumenta el rendimiento de cultivos, proporcionándoles propiedades para el desarrollo de frutos”.

Rojas *et al.* (2017) sostiene que:

Estudios demuestran que la utilización de bacterias del género *Bacillus* en el control biológico de microorganismos fitopatógenos es una excelente alternativa, debido a la capacidad que presentan para producir una amplia gama de metabolitos secundarios.

Sánchez *et al.* (2018) indica que:

“Estudios realizados demuestran que la inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y la utilización del sustrato a base de compost incrementaron el rendimiento y la calidad nutracéutica de los frutos de tomate producido bajo condiciones de invernadero. Específicamente el uso de la cepa *Bacillus* spp. con el sustrato a base de compost tuvo efectos positivos sobre el diámetro polar y ecuatorial, contenido de sólidos solubles, fenoles totales y capacidad antioxidante de frutos de tomate. Los bioinsumos basados en RPCV y el compost podrían ser una alternativa de fertilización en la producción de tomate en agricultura protegida, puesto que se incrementa el rendimiento y la calidad nutracéutica de los frutos sin el suministro de fertilizantes inorgánicos”.

Trabajos efectuados por Colina *et al.* (2017):

Indican que los resultados reportados con el uso de rizobacterias (Nitrofix 1,5 L/ha *Bacillus subtilis*) en conjunto con programas de fertilización química balanceados, aumentaron el número de macollos y panículas/m² y dieron mayor rendimiento de grano (7386,67 kg/ha). Adicionalmente hubo aumento en la biomasa radicular por la colonización las raíces con microorganismos benéficos.

Estudios publicados por Rojas *et al.* (2017):

Demostraron que los metabolitos involucrados en el control del hongo *Bacillus*. describieron la producción de Subtilina por cepas de *B. subtilis*, responsable de la actividad antagonista contra *F. oxysporum*, que produce el marchitamiento de hortalizas. Además, las cepas de *Bacillus* inhibieron el crecimiento de otras especies de *Fusarium* en porcentajes entre 55 y 65 % y demostraron que se produjo el 73 % de reducción de incidencia de la enfermedad *in vivo* en tomate.

Estudios realizados por Rodríguez *et al.* (2017):

“Mostraron que la aplicación de un programa de alto nivel de fertilización (140-60-90-30kg/ha, N-P-K-S) + *Azospirillum* 3 l/ha, aumento el

rendimiento de grano con incrementos del 23,44 % con relación al testigo. De la misma manera aplicaciones de *Bacillus* y *Azotobacter* mas niveles medios (120-40-60-20) y bajos (100 - 30 - 40 - 10) de aplicación de N-P-K-S, no inciden en días a la floración, volcamiento, peso de 1000 granos, numero de granos por panícula y relación grano/paja”.

Investigaciones ejecutadas por Colina *et al.* (2017):

“Reportaron que existió influencia directa de las aplicaciones sobre las variables relacionadas al rendimiento como longitud de panícula, número de granos y vaneamiento. Los resultados mostraron que la aplicación de *Bacillus subtilis* raza QST 713 en dosis de 1,5 L ha⁻¹, disminuye el daño causa por el complejo de manchado de grano en arroz (7,6 %) con relación al testigo sin aplicación (43,7 %) y también la incidencia del mismo en las panículas evaluadas. Los promedios del rendimiento de grano presentaron aumentos en torno al 75,8 % (6429,2 kg ha⁻¹) comparando con el testigo no tratado (3657,1 kg ha⁻¹)”.

1.6. Hipótesis

Ho= no es necesario el estudio de *Bacillus subtilis* como bacteria promotora de crecimiento vegetal en cultivos hortícolas en Los Ríos.

Ha= es necesario el estudio de *Bacillus subtilis* como bacteria promotora de crecimiento vegetal en cultivos hortícolas en Los Ríos.

1.7. Metodología de la investigación

Para la elaboración del presente documento se recopiló información de textos, revistas, bibliotecas virtuales y artículos científicos que contribuyeron al desarrollo de la investigación planteada.

La información obtenida fue resumida y analizada en función del estudio de *Bacillus subtilis* como bacteria promotora de crecimiento vegetal en cultivos hortícolas en Los Ríos.

CAPÍTULO II

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Desarrollo del caso

La presente investigación trata sobre el estudio de *Bacillus subtilis* como bacteria promotora de crecimiento vegetal en cultivos hortícolas en Los Ríos.

Entre las bacterias promotoras de crecimiento se encuentra *Bacillus* que es un género utilizado para controlar fitopatógenos, e incluso plagas, del cual se han formulado diferentes productos comerciales a base de estas bacterias.

2.2. Situaciones detectadas

Bacillus subtilis es una de las bacterias más estudiadas en el mundo por su actividad antifúngica debido a la síntesis de metabolitos peptídicos de acción antibiótica. Su actividad antagonista se completa por su alta capacidad para colonizar la zona de la rizosfera (competencia espacial), su rápida asimilación de nutrientes y a la secreción de enzimas digestoras que degradan y matan por contacto directo a hongos y bacterias los cuales les sirven de alimento.

B. subtilis evita y reduce el efecto de patógenos del suelo, y tiene efecto contra patógenos foliares de importancia mientras que a su vez ayuda a la planta a optimizar su desarrollo.

Se ha documentado que *B. subtilis* produce antibióticos naturales que debilitan la pared celular e inhiben el crecimiento de patógenos. Posee una habilidad especial para colonizar raíces, no permitiendo el espacio a otros hongos que intentan infectar a la raíz.

Además actúa como bioestimulante del crecimiento radicular, siendo considerada como una Rhizobacteria Promotora del Crecimiento de las Plantas (PGPR, por sus siglas en inglés), y promueve un desarrollo radicular fuerte y sano, debido a la secreción de fitohormonas, lo que permite un óptimo crecimiento de raíces, y consecuentemente una mejor asimilación de agua y nutrientes.

El uso de productos biorracionales es una importante estrategia en el manejo integrado de plagas y enfermedades del tomate. Entre las prácticas utilizadas destaca la utilización de microorganismos como las bacterias, entre las que se encuentra *Bacillus subtilis* como una de las más importantes.

Ante esto se puede resumir que:

1. El uso de fungicidas químicos aplicados por los productores causa deterioro en el ambiente y en el suelo.
2. Aun hoy existe un escaso conocimiento de los agricultores sobre los beneficios de aplicar *Bacillus subtilis* en los cultivos hortícolas.

2.3. Soluciones planteadas

Las soluciones planteadas son:

1. El uso de bacterias promotoras de crecimiento, pueden ser una alternativa prometedora como biofertilizantes para los cultivos de hortalizas.
2. Se considera que *Bacillus subtilis* aumenta la producción en la agricultura sostenible, teniendo en cuenta que disminuye el impacto sobre el medio ambiente al reducir el uso excesivo de fertilizantes de síntesis química.

2.4. Conclusiones

Las bacterias promueven el crecimiento de los vegetales mediante diferentes mecanismos directos e indirectos que inducen a la resistencia

sistémica de las plantas, tanto al estrés biótico (ataque de patógenos) o al estrés abiótico (periodos de sequía, temperatura, contaminantes).

Bacillus subtilis es una bacteria considerada como alternativa ecológica para mejorar el crecimiento del fruto y aumento del rendimiento de los cultivos hortícolas, especialmente en la provincia de Los Ríos, ya que produce antibióticos naturales que debilitan la pared celular e inhiben el crecimiento de patógenos mediante la producción de sustancias como *Bacilomycin*, *Fengimycin* y *Micoceryn*, las cuales son consideradas antibióticos contra hongos.

La ingeniería genética es la ciencia que permite obtener microorganismos modificados genéticamente que permite ampliar capacidades de las bacterias promotoras de crecimiento.

2.5. Recomendaciones

- a) Utilizar fungicidas 100 % biológicos a base de *Bacillus subtilis* en las plantaciones de hortalizas de la provincia de Los Ríos, para reducir la presencia de patógenos y evitar deterioro ambiental.

- b) Informar a los agricultores de nuestra provincia, sobre la importancia de aplicar *Bacillus subtilis*, debido a las propiedades fúngicas que posee.

BIBLIOGRAFÍA

- Benjumeda Muñoz, D. 2017. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: Mecanismos y aplicaciones. Tesis de grado. Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 44p.
- Juárez Campusano, Y. 2019. Detección de *Botrytis cinerea* mediante pcr en cultivos de vid y evaluación del biocontrol con *Bacillus subtilis* Q11. Tesis de grado, Maestra en Ciencia y Tecnología Ambiental. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 110p.
- Colina, E., Castro, C., Santana, D., García, G. (2017). Evaluación de cepas comerciales de *Bacillus subtilis* sobre el complejo manchado de grano en arroz bajo riego. Archivos Académicos USFQ. 10(1):71. ISBN: 978-9978-68-113-8
- Colina, E., Castro, C., Cargua, W. (2017). Influencia agronómica de rizobacterias de suelo en programas de fertilización química en el cultivo de arroz, en la zona de Babahoyo, Los Ríos. En memorias: Congreso Internacional de agricultura sustentable. 40p. ISBN: 978-9942-7590-1-6
- Fuentes Ravanal, M. G. (2016). Control biológico de enfermedades radiculares en plántulas de tomate utilizando bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Tesis Ingeniero Agronomo, Universidad de Concepción. Chile.

70p.

- Fundación para la Innovación Agraria (2017). Resultados y lecciones en controladores biológicos: *Bacillus Subtilis* y *B. thuringiensis*: Proyectos de innovación en Región del Maule: Biocontrol. Ficha de Valorización de Resultados 83. Ministerio de Agricultura de Chile, Santiago, Chile. 3p.
- Gamboa, G. P., Castro, M. G., Mendoza, A. B., García, J. R. (2016). *Bacillus subtilis* inmovilizado en espumadas biodegradables para modificar las respuestas al estrés salino en hortalizas. *Agrofaz: publicación semestral de investigación científica*. 3(2):397-406.
- Loredo-Osti, C., López-Reyes, L., Espinosa-Victoria, D. (2016). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoamericana*. 22(2):225-239.
- Luna Martínez, L., Martínez Peniche, R. A., Hernández Iturriaga, M., Arvizu Medrano, S. M., Pacheco Aguilar, J. R. (2017). Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. *Revista fitotecnia mexicana*. 36(1):63-69.
- Martínez, C. (2018). La importancia de la Sanidad Vegetal en la agricultura. El control de los insectos vectores de los virus de los cultivos hortícolas. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*. 198(2):56-58.
- Peralta, J. (2021). *Efecto de fungicida biológico para el control de enfermedades fúngicas en el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum) en el cantón Milagro, Recinto La Esperanza*. Tesis de Grado Ingeniero Agrónomo, Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador. 68p.
- Regueira, E. (2018). *Endófitos promotores del crecimiento vegetal del tomate [Solanum lycopersicum (L.)]*. Tesis de Grado Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. 43p.
- Rives, N., Acebo, Y., Hernández, A. (2017). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). Perspectivas de su uso en Cuba. *Cultivos tropicales*. 28(2):29-38. ISSN 1819-4087
- Rodríguez, J., Colina, E., Castro, C., García, G., Uvidia, M., Santana, D. (2017). Eficiencia agronómica del arroz INIAP-17 con niveles de fertilización química y biológica en el Litoral Ecuatoriano. *Journal of science and*

research: Revista Ciencia e Investigación. 2(6):10-15. E-ISSN: 2528-8083

Rojas Badía, M. M., Sánchez Castro, D., Rosales Perdomo, K., Lugo Moya, D. (2017). Antagonismo de *Bacillus* frente a hongos fitopatógenos de cultivos hortícolas. *Revista de Protección Vegetal*, 32(2):34-38. ISSN: 1010-2752

Rojas-Badía, M. M., Bello-González, M. A., Ríos-Rocafull, Y., Lugo-Moya, D., Sánchez, J. R. (2020). Utilización de cepas de *Bacillus* como promotores de crecimiento en hortalizas comerciales. *Acta Agronómica*. 69(1):54-60. ISSN 0120-2812

Saino, T. J. (2020). *Evaluación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate*. Tesis de Grado Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. 63p.

Sánchez López, D. B., Gómez-Vargas, R. M., Garrido Rubiano, M. F., Bonilla Buitrago, R. R. (2018). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 3(7):1401-1415. ISSN 2007-0934

Torriente, D. (2017). Aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de la Caña de Azúcar. Perspectivas de su uso. *Cultivos Tropicales*, 31(1):22-32. ISSN 1819-4087

Villares Ledesma. J. (2020). Estudio comparativo de *Trichoderma harzianum* más *Bacillus subtilis* para el control de agentes causal en el cultivo de Aji (*Capsicum annuum*) en el Cantón Ventanas. Tesis de Grado Ingeniero Agrónomo, Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador. 94p.