



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR -
JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**EVALUACIÓN DEL USO DE BACTERIAS DEL GENERO *Bacillus*,
COMO AGENTES BIOLÓGICOS EN EL CONTROL DE PLAGAS
DEL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*)**

Trabajo de titulación para optar al título de
TÉCNICO UNIVERSITARIO EN
CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE

Alumna:

Carolina Andrea Martínez Olivares

Profesor guía:

María Elisa Escobar Peña

Profesor Correferente:

Bernardo Prado Alderete



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: EVALUACIÓN DEL USO DE BACTERIAS DEL GÉNERO BACILLUS, COMO AGENTE BIOLÓGICO EN EL CONTROL DE PLAGAS DEL CULTIVO DE TOMATE (SOLAMUN LYCOPERSICUM)

Nombre del candidato(a): Carolina Andrea Martínez Olivares

Carrera / Grado: Técnico Universitario en Control del Medio Ambiente

Campus: Viña del Mar ; **Departamento:** Química y Medio Ambiente

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, María Elisa Escobar Peña, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.


El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años


Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis

Fecha: 23/04/2026; Firma: 

Estudiante o Candidato(a)

Fecha: 23/04/2026; Firma: 

DEDICATORIA

Está dedicada a mis hijos, Francisca, Benjamín y Montserrat, por los que día a día me levanto y por quienes me dieron la fuerza para llegar a este momento que lo había retrasado por tantos años.

A mi madre que sin ella y sin todas sus enseñanzas, lo luchadora que siempre a sido, yo no sería quien soy ahora, una luchadora más y guerrera cómo me enseñó.

A mi hermana Daniela que a pesar de ser mi hermana menor me apoyado infinitas veces y siempre a estado a mi lado.

A mi hermana Pilar, quien ya no está entre nosotros, le quiero dedicar estas palabras, que a ella siempre la llevo en mi corazón y que gracias por todo lo que me enseñaste.

Agradecida de mi profesora guía María Elisa Escobar, quien me apoyó en un primer momento y no dudó en ser mi profesora guía a pesar de los años en los que egresé de mi carrera.

Y por último a la Universidad por brindarme la oportunidad de terminar mis estudios a pesar de los años desde que egresé.

RESUMEN

La existencia de plagas en las plantaciones de tomates siempre ha sido un tema importante en la producción y distribución de estos para llegar a nuestras mesas. Para que haya una producción sin problemas por las plagas, existen distintos y múltiples pesticidas o plaguicidas químicos que lamentablemente afectan tanto a los alimentos, suelos y al propio ser humano. Es por este motivo que ha surgido la necesidad de encontrar nuevos plaguicidas, los llamados “plaguicidas naturales” los cuales ya existían desde unos inicios de los tiempos como por ejemplo la nicotina que sirvió para controlar a los escarabajos del ciruelo en el siglo XVII.

Ya a partir del siglo XX se fueron desarrollando mayores estudios en la búsqueda de bioplaguicidas. El primero de los bioplaguicidas y el más utilizado hasta la actualidad es *Bacillus thuringiensis*, microorganismo habitante del suelo de forma natural, formador de esporas y cuya clasificación corresponde al grupo de microorganismo Gram positivo, donde lo que se utiliza de este microorganismo son sus esporas, y que posteriormente fue utilizado como insecticida para las moscas.

A medida que se hicieron evidentes los costos del uso excesivo de estos productos químicos sintéticos, resurgió la investigación académica e industrial relacionada con el desarrollo de bioplaguicidas. Con la rápida expansión de la agricultura orgánica durante la última década, las tasas de adopción han aumentado rápidamente. Debido a esto, el desarrollo de bioplaguicidas nuevos y útiles ha continuado en rápido crecimiento desde mediados de la década de 1990. De hecho, más de 100 ingredientes activos de bioplaguicidas se han registrado en la división de Biológicos de la EPA de EE. UU. desde 1995. Muchos de estos se han introducido comercialmente en diversos productos.

INDICE

DEDICATORIA.....	3
RESUMEN	4
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	6
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVOS	9
<i>OBJETIVO GENERAL.....</i>	<i>9</i>
<i>OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</i>	<i>9</i>
METODOLOGIA.....	10
FUNDAMENTACIÓN.....	11
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.....	12
CAPÍTULO 2: PLAGA DEL TOMATE.....	15
<i>2.1 Plagas del tomate.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2. Métodos de control.....</i>	<i>17</i>
<i>2.3. Bacterias como control biológico.....</i>	<i>17</i>
CAPÍTULO 3: GENERO BACILLUS.....	19
3.1. Genero Bacillus.....	20
<i>3.1.1 Introducción al género Bacillus.....</i>	<i>20</i>
<i>3.1.2. Importancia biotecnológica del género Bacillus.....</i>	<i>20</i>
<i>3.1.3. Características generales de Bacillus cereus.....</i>	<i>20</i>
<i>3.1.4. Potencial de Bacillus cereus en la agricultura.....</i>	<i>21</i>
<i>3.1.6. Bacillus cereus y su rol en la biorremediación.....</i>	<i>23</i>
<i>3.1.7. Limitaciones y consideraciones en su uso.....</i>	<i>23</i>
<i>3.1.8. Relevancia en la investigación actual.....</i>	<i>24</i>
3.2. El género Bacillus y los bioplaguicidas.....	24
CAPÍTULO 4: TIPOS DE TOMATES	28
<i>4.1 Tipos de tomates</i>	<i>29</i>
<i>4.2 Tomates en Chile.....</i>	<i>31</i>
CAPÍTULO 5: HISTORIA DE LOS BIOPESTICIDAS.....	32
5.1 Biopesticidas.....	33
5.2 Historia de los biopesticidas.	33
5.3 Clasificación de biopesticidas	33
5.4. Ventajas de los biopesticidas	35
CONCLUSIONES.....	36
<i>DISCUSIÓN.....</i>	<i>37</i>
BIBLIOGRAFIA.....	39

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

Bt: *Bacillus thuringiensis*

B: Bacillus

QPS: *Qualified Presumption of Safety*

HBL: Hemolisina BL

NHE: Toxina entérica no hemolítica

cytK: Citotoxina K

entFM: Enterotoxina FM

entS: Enterotoxina S

bceT: Enterotoxina T

EPA: United States Environmental Protection Agency (Agencia de protección ambiental).

INTRODUCCIÓN

Las plagas del tomate, es un problema que aqueja a los cultivos, que pueden llegar a eliminar tantos cultivos pequeños como cultivos extensos, para eliminar estas plagas se utilizan pesticidas y plaguicidas, los pesticidas son sustancias químicas que destruyen las plagas y ayudan a proteger las plantas contra mohos, hongos, roedores, malezas nocivas e insectos. Los pesticidas ayudan a prevenir la pérdida de las cosechas y potencialmente las enfermedades en los humanos causadas por microorganismos y diversas toxinas producidas por ellos, pero lamentablemente existen pesticidas que afectan a los humanos y a los suelos en los que estos se encuentran y que pueden llegar a la cadena alimentaria a través de los alimentos tratados con ellos y así al ser humano.

Los pesticidas a base de químicos afectan tanto la flora como también a la fauna, y debido a esto nace la necesidad de buscar nuevas formas naturales y no contaminantes de agentes, los actualmente denominados “biopesticidas”. Este trabajo de investigación teórico se centrará en la búsqueda de biopesticidas a base de microorganismos pertenecientes al género *Bacillus*, estos son muy utilizados en el mundo, dada su toxicidad hacia una amplia gama de plagas de insectos y enfermedades causantes en la agricultura por los mismos, y a su inocuidad para el ser humano. Estos bioensayos alcanzan cerca de un 90 % del mercado de controladores biológicos a nivel mundial.

La investigación bibliográfica va dirigida a la revisión de información relacionada con el cultivo de bacterias pertenecientes al género *Bacillus*, con el objetivo de comprobar que la especie de microorganismo *Bacillus cereus* puede ser utilizado como medio de control de plagas en el cultivo de tomates.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Verificar si microorganismos de la especie *Bacillus cereus* pueden ser utilizado como bioplaguicidas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar las características microbiológicas, fisiológicas y genéticas de las cepas de *Bacillus cereus*, con el propósito de determinar su potencial teórico como agentes biopesticidas.
- Describir los mecanismos de acción de las cepas de *Bacillus cereus* frente a plagas agrícolas, considerando la producción de toxinas, enzimas y otros metabolitos bioactivos implicados en el control biológico.
- Evaluar los factores ambientales y las condiciones de cultivo que influyen en la eficacia de las cepas de *Bacillus cereus* como biopesticidas, en el contexto de su posible aplicación en sistemas agrícolas.

METODOLOGIA

La presente investigación se desarrollará bajo un enfoque cualitativo de tipo documental–teórico, orientado al análisis y síntesis de información científica relacionada con el uso de microorganismos del género *Bacillus*, específicamente *Bacillus cereus*, como biopesticidas en sistemas agrícolas.

Diseño de la investigación.

El diseño corresponde a una investigación no experimental, de tipo descriptivo–analítico, basada en la revisión sistemática de literatura científica. Se busca recopilar, organizar y analizar información existente sobre las propiedades biológicas, mecanismos de acción y factores que influyen en la aplicación de *Bacillus cereus* como agente de control biológico.

Fuentes de información

Se utilizarán fuentes secundarias provenientes de:

- Artículos científicos indexados en bases de datos como Scopus, Web of Science, PubMed y SciELO.
- Libros especializados en microbiología agrícola, biotecnología y control biológico.
- Tesis y documentos académicos relacionados con biopesticidas.

Criterios de selección de la información

Los documentos serán seleccionados en función de:

- Relevancia temática (biopesticidas, *Bacillus cereus*, control biológico).
- Actualidad (preferentemente publicaciones de los últimos 10 años).
- Rigor científico (revistas indexadas y revisadas por pares).

FUNDAMENTACIÓN

El uso intensivo de pesticidas químicos en la agricultura ha generado diversas problemáticas ambientales y de salud, tales como la contaminación de suelos y aguas, la disminución de la biodiversidad y el desarrollo de resistencia en plagas. En este contexto, surge la necesidad de alternativas sostenibles, entre las cuales los biopesticidas basados en microorganismos han cobrado gran relevancia.

Las bacterias del género *Bacillus* han sido ampliamente estudiadas por su capacidad de producir metabolitos con actividad insecticida, antifúngica y antibacteriana. En particular, *Bacillus cereus* presenta un potencial significativo debido a su versatilidad metabólica, capacidad de formación de esporas y producción de compuestos bioactivos que pueden actuar contra diversos organismos fitopatógenos y plagas agrícolas.

Desde una perspectiva teórica, el estudio de *Bacillus cereus* como biopesticida permite comprender los mecanismos biológicos involucrados en el control natural de plagas, así como los factores que condicionan su eficacia. Además, contribuye al desarrollo del conocimiento en áreas como la microbiología agrícola, la biotecnología y la agricultura sostenible.

La presente investigación se fundamenta en la necesidad de sistematizar y analizar la información científica existente sobre el uso de cepas de *Bacillus cereus* como agentes de control biológico, aportando una base conceptual sólida que pueda servir de referencia para futuras investigaciones experimentales y aplicaciones prácticas en el sector agrícola.

ALCANCE.

La investigación se enmarca en un enfoque teórico, por lo que su alcance es de tipo descriptivo-analítico. Se centrará en la recopilación, análisis y síntesis de información científica relacionada con el potencial de cepas de *Bacillus cereus* como biopesticidas.

El estudio abordará aspectos como:

- Características microbiológicas y fisiológicas de *Bacillus cereus*.
- Producción de metabolitos bioactivos con potencial biopesticida.
- Mecanismos de acción frente a plagas e infecciones fitopatógenas.
- Factores ambientales que influyen en su efectividad.

No se contemplará la realización de experimentos de laboratorio ni ensayos de campo, por lo que los resultados estarán limitados a la interpretación de información previamente publicada.

Asimismo, el estudio no profundizará en el desarrollo de formulaciones comerciales específicas, sino en el análisis conceptual y científico del tema.

El alcance de esta investigación permitirá establecer un marco teórico que facilite la comprensión del uso de *Bacillus cereus* en el control biológico, sirviendo como base para futuras investigaciones aplicadas y el diseño de estrategias sostenibles en la agricultura.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1. ANTECEDENTES GENERALES.

En las últimas décadas, la intensificación de la agricultura ha estado fuertemente asociada al uso sistemático de pesticidas químicos para el control de plagas y enfermedades que afectan cultivos de alto valor económico, como el tomate (*Solanum lycopersicum*). Si bien estas prácticas han permitido aumentar la productividad, también han generado consecuencias adversas significativas, entre ellas la contaminación de suelos y fuentes de agua, la acumulación de residuos tóxicos en los alimentos, el impacto negativo sobre organismos no objetivo y el desarrollo de resistencia en poblaciones de insectos y patógenos. Estas problemáticas han impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles y amigables con el medio ambiente, destacándose el uso de biopesticidas como una estrategia viable dentro de la agricultura moderna.

Los biopesticidas se definen como agentes de origen biológico utilizados para el control de plagas, los cuales pueden estar constituidos por microorganismos (bacterias, hongos, virus), metabolitos naturales o extractos de plantas. Su principal ventaja radica en su especificidad, menor impacto ambiental y menor riesgo para la salud humana en comparación con los pesticidas sintéticos.

Dentro de este grupo, las bacterias del género *Bacillus* han sido ampliamente estudiadas debido a su capacidad de formar endosporas resistentes y producir una amplia variedad de compuestos bioactivos con propiedades insecticidas, antifúngicas y antibacterianas. Entre las especies del género, *Bacillus cereus* ha despertado interés en el ámbito de la biotecnología agrícola por su potencial como agente de control biológico.

Diversos estudios han reportado que ciertas cepas de esta bacteria son capaces de sintetizar enzimas hidrolíticas (como quitinasas y proteasas) y metabolitos secundarios que afectan la integridad estructural de insectos y microorganismos fitopatógenos. Asimismo, su capacidad para colonizar la rizosfera y competir por nutrientes le permite ejercer un efecto indirecto en la supresión de patógenos del suelo.

En el caso específico del cultivo de tomate, este se ve afectado por una amplia variedad de plagas y enfermedades, tales como hongos del suelo (*Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*), bacterias fitopatógenas y diversos insectos que comprometen tanto el rendimiento como la calidad del fruto. Tradicionalmente, el control de estas amenazas ha dependido en gran medida de agroquímicos, lo que ha generado los problemas anteriormente mencionados. En este contexto, el uso de cepas de *Bacillus cereus* se presenta como una alternativa prometedora, no solo por su acción directa sobre los agentes patógenos, sino también por su potencial para mejorar la salud del suelo.

Desde la perspectiva de la biorremediación, el empleo de microorganismos como *Bacillus cereus* adquiere una relevancia adicional. La biorremediación se refiere al uso de organismos vivos para degradar, transformar o neutralizar contaminantes presentes en el ambiente. Algunas cepas de *Bacillus cereus* han demostrado la capacidad de metabolizar compuestos tóxicos y participar en la degradación de residuos de pesticidas, contribuyendo así a la recuperación de suelos agrícolas degradados. Este doble rol, como agente de control biológico y como organismo biorremediador, posiciona a esta especie como un recurso de gran interés para el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles.

A nivel teórico, la investigación sobre el uso de *Bacillus cereus* en plantaciones de tomate permite integrar conocimientos de microbiología, ecología microbiana y biotecnología aplicada. La comprensión de sus mecanismos de acción, interacción con el ambiente y eficacia en diferentes condiciones es fundamental para avanzar hacia su implementación práctica. Además, el análisis de antecedentes científicos proporciona una base sólida para identificar vacíos de conocimiento y orientar futuras investigaciones experimentales.

En síntesis, el desarrollo de biopesticidas basados en cepas de *Bacillus cereus* representa una estrategia innovadora y sostenible para el manejo de plagas en cultivos de tomate, con el valor agregado de contribuir a procesos de biorremediación del suelo. La revisión y análisis de los antecedentes existentes permiten sustentar la relevancia de este enfoque dentro del contexto actual de la agricultura sustentable y la necesidad de reducir la dependencia de insumos químicos.

CAPÍTULO 2: PLAGA DEL TOMATE

2.1 Plagas del tomate

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mili) es una de las principales especies hortícolas cultivadas en Chile. La superficie actual aproximada es de 11.012 hectáreas (ODEPA, 1985/86), ubicadas mayoritariamente entre la V y VI Región, aunque se produce desde la I a la X Región. Se cultiva de preferencia al aire libre. Es importante señalar que el cultivo en nuestro país se caracteriza por ser no diversificado, es decir, se produce comercialmente en superficies extensas sin cultivos intercalados y con un control intensivo de malezas, en especial en la primera etapa de desarrollo. Lo anterior, unido al corto periodo de crecimiento que presenta, lo constituyen en un medio muy favorable para el desarrollo de plagas, en el cual se hace difícil la implementación de un sistema de manejo de ellas.

Entre las plagas que afectan al cultivo, las de mayor relevancia son la polilla del tomate, que se considera la plaga clave, los gusanos cortadores y algunas cuncunillas que afectan principalmente a los frutos. El ácaro eriófido *Aculops lycopersici* (Masse), aunque no reviste importancia económica, en la zona central puede llegar a tenerla si se presentaran las condiciones favorables para su desarrollo temprano en la temporada.

Otras plagas que están asociadas al cultivo, pero que normalmente en la zona central no causan pérdidas económicas, son los pulgones, las moscas minadoras, las cuncunillas del follaje, el monroy del tomate, el trips, los langostinos, las mosquitas blancas y finalmente algunas moscas asociadas a frutos en distintos estados de madurez.

Las plagas en los tomates son un problema común que afecta tanto a la calidad como al rendimiento de los cultivos, algunas de las más comunes son:

- **Pulgones:** Son insectos pequeños que se alimentan de la savia de las plantas, debilitándolas. Los pulgones pueden transmitir virus y provocar la deformación de las hojas y frutos.
- **Mosca blanca:** Pequeñas moscas blancas que también chupan la savia de las plantas. Pueden causar amarillamiento en las hojas y la aparición de hollín debido a las secreciones pegajosas que producen.
- **Gusano blanco** (Larva de la polilla del tomate): Este gusano se alimenta de las raíces y tallos de las plantas de tomate, causando que se marchiten o mueran. Las plantas afectadas pueden mostrar un crecimiento deficiente.
- **Ácaros:** Son muy pequeños y se alimentan de las células de las hojas. Pueden causar manchas amarillas o plateadas en las hojas y, si no se controlan, pueden matar la planta.
- **Gusano del tomate** (*Helicoverpa armigera*): Este gusano es conocido por devorar los frutos de tomate, creando agujeros en ellos. Puede dañar mucho la cosecha si no se controla a tiempo.

- **Tuta absoluta** (Polilla del tomate): Es una plaga muy destructiva que ataca principalmente los frutos y las hojas. Las larvas perforan los frutos, y la planta puede morir si la infestación es severa. es una plaga presente en Chile desde 1955. Fue introducida al país posiblemente por el norte (Arica) desde Perú, donde fue descrita por primera vez en 1917. En la actualidad se halla ampliamente distribuida en Sudamérica. En Chile se encuentra afectando el cultivo de tomate desde la I a la VI Región.

2.2. Métodos de control

- **Control biológico:** Utilizar insectos benéficos como las mariquitas para controlar pulgones, o nematodos para controlar larvas de insectos.
- **Control químico:** Uso de insecticidas específicos según la plaga, pero siempre con cuidado para no afectar a insectos beneficiosos o al medio ambiente.
- **Control cultural:** Mantener una buena higiene en el huerto, eliminar plantas afectadas y practicar la rotación de cultivos para evitar la acumulación de plagas.
- **Trampas:** Las trampas de feromonas o pegajosas pueden ayudar a reducir la población de algunas plagas.

2.3. Bacterias como control biológico

Las bacterias se pueden usar como control biológico para controlar plagas y enfermedades en cultivos. Se les conoce como controladores biológicos y pueden ser de origen microbiano, como hongos, bacterias, nematodos y virus.

Bacterias entomopatógenas.

- Son bacterias que se utilizan para controlar insectos dañinos.
- Actúan liberando toxinas o penetrando las células del intestino medio del insecto.
- Las bacterias Gram-positivas, como *Bacillus thuringiensis* (Bt), *Paenibacillus* y *Lysinibacillus*, tienen la capacidad de formar esporas.

Bacterias rizosféricas.

- Son bacterias que producen compuestos orgánicos volátiles que afectan positivamente el crecimiento de las plantas.
- Entre los géneros de rizobacterias se encuentran *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Stenotrophomonas* y *Serratia*.

Microorganismos del Genero Bacillus.

Estas bacterias producen una amplia gama de metabolitos secundarios, incluidos antibióticos, que pueden ayudar a controlar patógenos de las plantas. Además, algunas especies de Bacillus son utilizadas en la producción de agentes biopesticidas.

Bacillus es un género de bacterias que se caracteriza por su versatilidad y su capacidad para producir una amplia gama de metabolitos secundarios. Tienen gran capacidad para producir antibióticos y otras sustancias bioactivas que desempeñan un papel crucial en la protección de las plantas contra patógenos y en la promoción del crecimiento de estas.

Bacillus spp.

Se ha utilizado en la agricultura como **agente de control biológico** para combatir enfermedades causadas por patógenos, como bacterias y hongos. Estas bacterias beneficiosas compiten con los patógenos por nutrientes y espacio, producir antibióticos que inhiben el crecimiento de los patógenos y estimular las respuestas de defensa de las plantas.

El uso de Bacillus como biofungicida y biobactericida es una estrategia sostenible y respetuosa con el medio ambiente para proteger los cultivos.

Bacillus thuringiensis

Algunas especies de Bacillus, como *Bacillus thuringiensis* (Bt), son ampliamente utilizadas en la producción de agentes bioplaguicida. Estos productos contienen cepas específicas de Bt que producen proteínas insecticidas llamadas delta-endotoxinas. Estas proteínas son tóxicas para ciertos insectos plaga, pero son seguras para los seres humanos, los animales y otros organismos no objetivo. Los productos Bt se utilizan comúnmente para el control de plagas en la agricultura orgánica y convencional.

Además de su papel en la protección de las plantas contra patógenos, algunas especies de Bacillus también pueden promover el crecimiento vegetal. Estas bacterias beneficiosas colonizan las raíces de las plantas y ayudan en la absorción de nutrientes, la fijación de nitrógeno y la producción de hormonas de crecimiento vegetal, lo que resulta en un mejor desarrollo de las plantas y un aumento en la productividad de los cultivos.

El género Bacillus fue reportado por primera vez por, quien lo describió como bacterias productoras de endosporas resistentes al calor.

Actualmente, el género incluye más de 336 especies, las cuales por su similitud genética pueden clasificarse en distintos grupos, siendo los más destacados:

- el grupo de *B. cereus*, asociado a patogenicidad, que incluye a *B. cereus-anthraxis-thuringiensis*.
- los bacilos ambientales que son caracterizados por su presencia en distintos hábitats, como el grupo de *Bacillus subtilis*, comprendido por *B. subtilis-licheniformis-pumilus*.
- el grupo de *B. clausii-halodurans*.
- el grupo que incluye a *Bacillus sp.* NRRLB-14911

CAPÍTULO 3: GENERO BACILLUS

3.1. Genero *Bacillus*.

3.1.1 Introducción al género *Bacillus*

El género *Bacillus* constituye un grupo ampliamente diverso de bacterias Gram positivas, aerobias o facultativamente anaerobias, caracterizadas principalmente por su capacidad de formar endosporas. Esta característica les confiere una notable resistencia a condiciones ambientales adversas, como altas temperaturas, radiación, desecación y presencia de compuestos químicos, lo que explica su amplia distribución en distintos ecosistemas, incluyendo suelos, agua, aire y ambientes asociados a plantas y animales.

Desde el punto de vista taxonómico, el género *Bacillus* pertenece al filo Firmicutes y ha sido objeto de numerosas revisiones debido a los avances en técnicas de biología molecular y secuenciación genética. Estas herramientas han permitido una clasificación más precisa de las especies, así como la identificación de nuevas cepas con potencial aplicación en diversos campos, tales como la medicina, la industria y la agricultura.

3.1.2. Importancia biotecnológica del género *Bacillus*

Las bacterias del género *Bacillus* poseen un alto valor biotecnológico debido a su capacidad para producir una amplia gama de metabolitos secundarios, incluyendo antibióticos, enzimas hidrolíticas (proteasas, amilasas, lipasas) y compuestos con actividad antimicrobiana. Esta versatilidad metabólica ha favorecido su utilización en procesos industriales, en la producción de alimentos, en la biodegradación de contaminantes y en el desarrollo de biopesticidas.

En el ámbito agrícola, diversas especies de *Bacillus* han sido empleadas como agentes de control biológico debido a su capacidad para inhibir el crecimiento de patógenos fitopatógenos y promover el crecimiento vegetal. Estas bacterias pueden actuar mediante distintos mecanismos, tales como la producción de sustancias antimicrobianas, la competencia por nutrientes y espacio, la inducción de resistencia sistémica en plantas y la producción de compuestos que favorecen la absorción de nutrientes.

3.1.3. Características generales de *Bacillus cereus*

La especie *Bacillus cereus* forma parte del denominado “grupo *Bacillus cereus*”, que incluye otras especies estrechamente relacionadas como *Bacillus thuringiensis* y *Bacillus anthracis*. Estas bacterias comparten características genéticas y fenotípicas similares, aunque difieren en su patogenicidad y aplicaciones.

Bacillus cereus es una bacteria Gram positiva, en forma de bacilo, móvil y formadora de esporas. Se encuentra comúnmente en el suelo y en diversos ambientes naturales, lo que facilita su interacción con plantas y microorganismos. Si bien algunas cepas están asociadas a intoxicaciones alimentarias en humanos, otras han demostrado poseer propiedades beneficiosas, especialmente en el contexto agrícola y ambiental. Fig.1

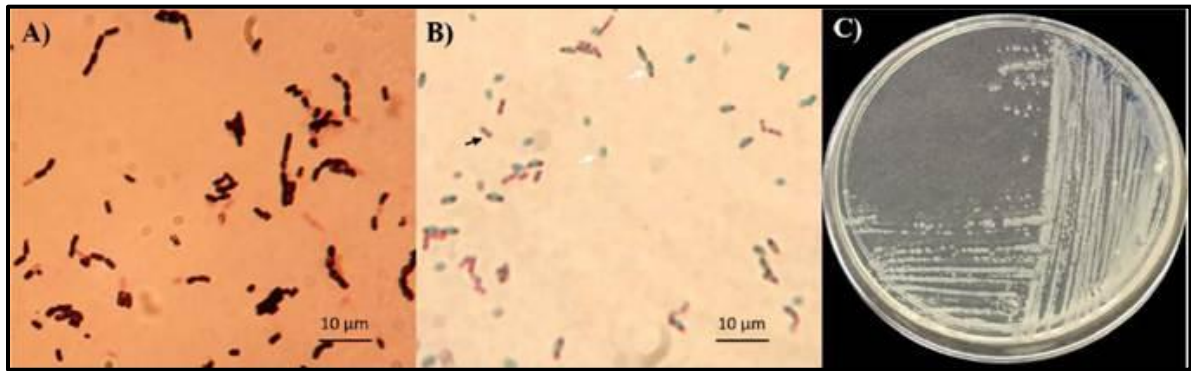


Figura 1: Características morfológicas de *Bacillus* sp. TE3 perteneciente a la Colección de Microorganismos Edáficos y Endófitos Nativo (www.itson.edu.mx/COLMENA). A) Células bacilares, Gram positivas; B) endosporas (flecha blanca) y células bacilares (flecha negra); y C) morfología macroscópica de la cepa TE3.

3.1.4. Potencial de *Bacillus cereus* en la agricultura.

Una gran diversidad de especies del género *Bacillus* han demostrado tener actividad antagónica contra diversos microorganismos fitopatógenos de cultivos agrícolas, tales como maíz, arroz, frutales, entre otros. El estudio de esta capacidad de *Bacillus* se inició por el descubrimiento de la actividad insecticida de las proteínas Cry producidas por *B. thuringiensis*; en la actualidad diversas especies del género *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* y *B. licheniformis*) son ampliamente estudiadas para mitigar la incidencia de enfermedades de importancia agrícola (Raaijmakers y Mazzola, 2012).

Entre las principales vías por las cuales estas cepas evitan el establecimiento y desarrollo de organismos fitopatógenos es a través de diferentes mecanismos, que incluyen A) la excreción de antibióticos, B) sideróforos, C) enzimas líticas, D) toxinas y E) induciendo la resistencia sistémica de la planta (IRS). (Figura 2)

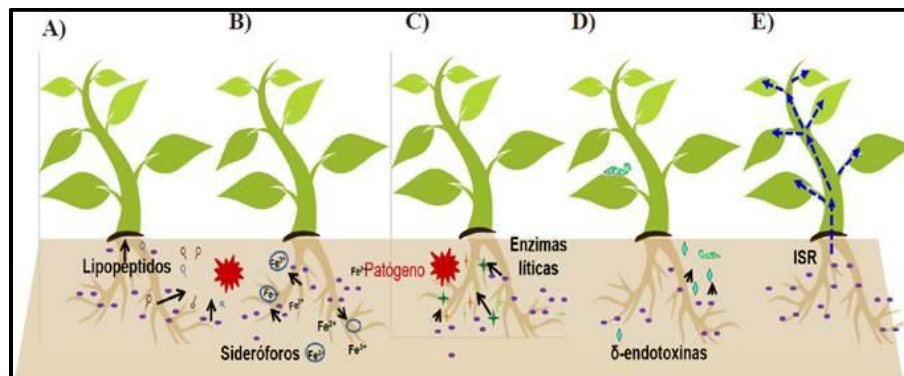


Figura 2: Principales mecanismos de control biológico del género *Bacillus*. Producción de A) lipopéptidos, B) sideróforos, C) enzimas líticas, D) δ -endotoxinas, E) inducción a la respuesta sistémica.

3.1.5. Mecanismos de acción del género *Bacillus*

Entre los mecanismos de acción descritos se encuentran:

- Producción de enzimas hidrolíticas como quitinasas y glucanasas, que degradan las paredes celulares de hongos fitopatógenos.
- Síntesis de compuestos antimicrobianos que inhiben el crecimiento de microorganismos perjudiciales.
- Competencia por nutrientes y colonización de la rizosfera, limitando el establecimiento de patógenos.
- Inducción de respuestas de defensa en las plantas.

A continuación, se analizará uno de los mecanismos de acción más importantes del género de *Bacillus* relacionado con control biológico: “**Producción de Lipopeptido Cíclicos no ribosomales**”

Los lipopéptidos (LPs), estructuralmente consisten en un péptido cíclico unido a una cadena de ácido graso β -hidroxi o β -amino, clasificándose en 3 diferentes familias (iturinas, fengicinas y surfactinas), de acuerdo con su secuencia de aminoácidos y longitud del ácido graso.

Estas moléculas son sintetizadas por complejos multi-enzimáticos, conocidos como sintetasas de péptidos no ribosomales (NRPS del inglés, nonribosomal peptide synthetase), las cuales son independientes del RNA mensajero. Las familias de las iturinas, fengicinas y surfactinas, han sido ampliamente estudiadas por su actividad antibacteriana y antifúngica. La actividad antimicrobiana de estos LPs tiene lugar por su interacción con la membrana citoplasmática de células bacterianas o fúngicas, provocando la formación de poros y un desbalance osmótico, lo que desencadena la muerte celular de los microorganismos fitopatógenos (Figura 3). Sin embargo, recientemente se ha reportado que algunos lipopéptidos pueden tener múltiples mecanismos de acción, alterando procesos celulares como homeostasis intracelular de calcio, metabolismo energético y procesamiento del RNA. El papel de los LPs se ha evidenciado en la inhibición del crecimiento de microorganismos fitopatógenos.

Se han identificado múltiples isoformas de lipopéptidos en extractos generados a partir de cultivos líquidos de *B. subtilis* GA1. Posteriormente, en un ensayo de coinoculación de la cepa GA1 y *Botrytis cinérea* en frutos de manzano, identificaron la presencia de fengicinas e iturinas en concentraciones inhibitorias, demostrando la actividad de estos lipopéptidos in-situ. Además, análisis de expresión génica y mutagénesis dirigida han contribuido de manera significativa a comprender el papel de los lipopéptidos en la actividad antimicrobiana del género *Bacillus* contra microorganismos fitopatógenos.

Por ejemplo, mutaron el gen de la fosfopanteteína transferasa (sfp) en la cepa SQR9 de *B. amyloliquefaciens*, indispensable en el funcionamiento de sintetasas de péptidos no ribosomales (NRPS), y por tanto de la síntesis de lipopéptidos. Dicha mutación resultó en un fenotipo carente de actividad antifúngica contra diversos fitopatógenos de importancia agrícola, incluyendo *Verticillium dahliae*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani*, *Phytophthora parasitica*.

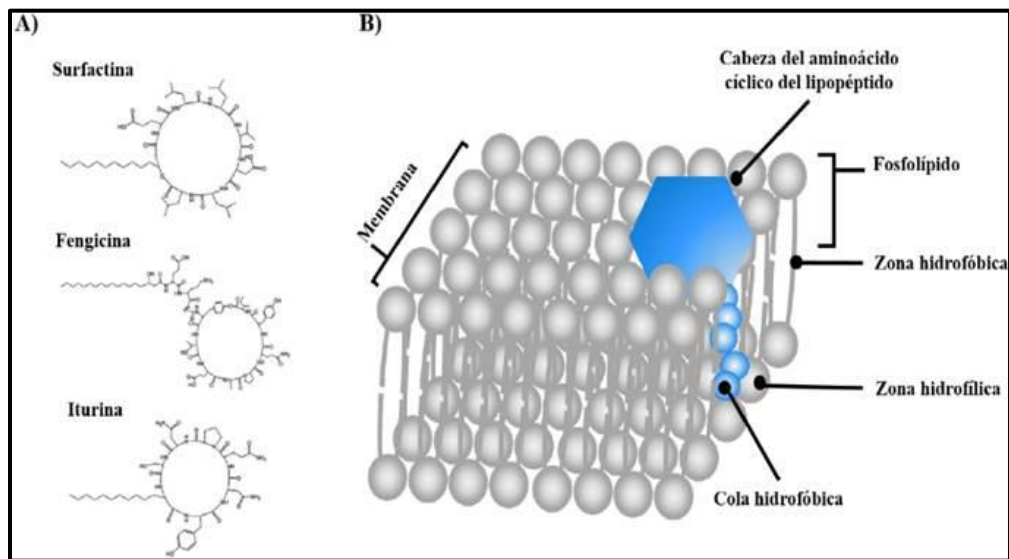


Figura 3 Los lipopéptidos como metabolitos involucrados en el control biológico de fitopatógenos. A) Representantes de las familias de lipopéptidos, B) Mecanismo de acción de los lipopéptidos.

Estas propiedades permiten su aplicación potencial en cultivos de interés agrícola, como el tomate, donde contribuyen al control de enfermedades causadas por hongos y bacterias.

3.1.6. *Bacillus cereus* y su rol en la biorremediación

Además de su uso como biopesticida, *Bacillus cereus* ha sido estudiado por su capacidad en procesos de biorremediación. Esta bacteria puede participar en la degradación de compuestos orgánicos contaminantes, incluidos residuos de pesticidas, hidrocarburos y otros compuestos tóxicos presentes en el suelo.

La capacidad de formar esporas le permite sobrevivir en ambientes contaminados, mientras que su metabolismo versátil facilita la transformación de sustancias nocivas en compuestos menos tóxicos. Este doble rol, como agente de control biológico y como microorganismo biorremediador, refuerza su importancia en el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles.

3.1.7. Limitaciones y consideraciones en su uso

A pesar de su potencial, el uso de *Bacillus cereus* en aplicaciones agrícolas requiere una evaluación cuidadosa debido a su posible implicancia en la salud humana. Algunas cepas pueden producir toxinas asociadas a enfermedades transmitidas por alimentos, lo que obliga a una selección rigurosa de cepas seguras para su uso como biopesticidas.

Asimismo, factores como las condiciones ambientales, la formulación del producto y la interacción con otros microorganismos del suelo pueden influir en su eficacia, lo que resalta la necesidad de continuar investigando su comportamiento en diferentes contextos.

3.1.8. Relevancia en la investigación actual

El estudio del género *Bacillus* y, en particular, de *Bacillus cereus*, representa un área de creciente interés dentro de la microbiología aplicada y la biotecnología agrícola. La necesidad de desarrollar alternativas sostenibles a los pesticidas químicos ha impulsado la investigación en microorganismos con potencial biocontrolador.

En este sentido, la recopilación y análisis de antecedentes teóricos sobre estas bacterias permite establecer una base sólida para futuras investigaciones experimentales, así como para el desarrollo de tecnologías orientadas a una agricultura más sustentable.

3.2. El género *Bacillus* y los bioplaguicidas.

El uso de plaguicidas químicos como principal método de control de plagas y enfermedades en la agricultura, ha permitido incrementar significativamente la productividad agrícola en las últimas décadas; sin embargo, su uso excesivo ha originado resistencia a estos compuestos por microorganismos fitopatógenos, y a su vez se han asociado efectos nocivos a la salud humana, y al medio ambiente. Lo anterior, hace evidente la necesidad de generar alternativas eficientes y amigables con el ambiente para reducir el uso de productos sintéticos, logrando de esta manera un manejo eficaz y sustentable del control de enfermedades en los cultivos agrícolas.

El control biológico es una parte importante para el manejo de plagas y enfermedades, que consiste en la utilización de organismos vivos para reducir y mantener la abundancia de una plaga o un patógeno por debajo de los niveles de daño económico. El potencial de esta alternativa se fundamenta en un control eficiente de una plaga o enfermedad a mediano y largo plazo, compatible con un bajo riesgo ambiental, y una producción sustentable. Así, el manejo de plagas y enfermedades se puede llevar a cabo por varios métodos alternativos: el uso de plaguicidas sintéticos, cultivos genéticamente modificados resistentes a plagas, el control biológico, o bien la combinación de una o más de estas estrategias.

Los bioplaguicidas son un grupo particular de herramientas de protección de cultivos, aunque no existe una definición formalmente para este término, un bioplaguicida hace referencia a un agente producido en masa a partir de un microorganismo vivo o un producto natural, y comercializado para el control de plagas o enfermedades de plantas (esta definición abarca la mayoría de los productos clasificados como bioplaguicidas, dentro de los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos). Los bioplaguicidas pueden ser clasificados en tres tipos, de acuerdo con la sustancia activa:

- I. productos bioquímicos, que comprenden principalmente metabolitos secundarios de plantas y microorganismos.
- II. productos semiquímicos, constituidos principalmente por feromonas.
- III. microorganismos, incluyen bacterias, virus, hongos y protozoario.

Dentro de los bioplaguicidas microbianos disponibles comercialmente, *Bacillus* es el género más explotado en la biotecnología agrícola, con un 85% de los productos bacterianos, debido a su gran

versatilidad metabólica que le permiten llevar a cabo el control biológico de plagas y enfermedades por diversos mecanismos. Además, este género bacteriano es capaz de producir endosporas, siendo éstas el principal ingrediente activo de los formulados, y confiriéndoles -como propiedad- una mayor viabilidad en el tiempo.

Uno de los mecanismos de control biológico que ha sido mayormente explotado en el mercado de los bioplaguicidas, es la capacidad del género *Bacillus* de producir δ -endotoxinas. Este mecanismo fue el inicio en el desarrollo del primer bioplaguicida microbiano para el control biológico de lepidópteros, el cual fue elaborado a base de *B. thuringiensis* var. *Kurstaki* HD-1. Como se mencionó anteriormente, *B. thuringiensis* (Bt) produce proteínas Cry (Bt- δ endotoxinas) durante la formación de esporas, la cual es capaz de producir lisis en células del tracto digestivo cuando es consumida por insectos susceptibles.

Agente de Control Biológico	Producto (Año)	Patógeno	Cultivos	Empresa
<i>B. pumilus</i> QST2808 ^q	Ballad Plus (2007)	<i>Erysiphe</i> sp., <i>Puccinia</i> spp., <i>Pyricularia</i> sp., <i>Rhizoctonia</i> sp., <i>Tilletia</i> sp., <i>Xanthomonas</i> spp, entre otros.	Gramíneas, oleaginosas, entre otros.	AgraQuest
<i>B. subtilis</i> QST713 ^r	Serenade ASO (2017)	<i>Pythium</i> spp., <i>Rhizoctonia</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Phytophthora</i> sp., entre otros.	Frutales, hortalizas, entre otros.	Bayer CropScience
<i>B. subtilis</i> 83 ^t	Fungifree AB (2012)	<i>Colletotrichum</i> sp., <i>Leveillula</i> sp., <i>Botrytis</i> sp., entre otros	Frutales, hortalizas	Agro & biotecnía
<i>B. subtilis</i> var. <i>amyloliquefaciens</i> FZB24 ^u	Taegro 2 (2014)	<i>Rhizoctonia</i> sp., <i>Fusarium</i> sp., <i>Pythium</i> sp., <i>Botrytis</i> sp., entre otros.	Diversas frutas, plantas ornamentales, entre otros.	ISAGRO
<i>B. licheniformis</i> SB3086 ^{w, x}	EcoGuard-GN (2013)	<i>Colletotrichum</i> sp., <i>Sclerotinia</i> sp., <i>Rhizoctonia</i> sp., entre otros.	Plantas ornamentales, entre otros.	Novozymes
<i>B. thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i> ^{y, z}	DiPel WG (2007)	<i>Cydia</i> sp., <i>Otiorychus</i> sp., <i>Spodoptera</i> sp, entre otros.	Frutales, hortalizas, entre otros.	Valent BioSciences

TABLA 1. *Bacillus* como ingrediente activo en formulaciones comerciales.

(^qAgraQuest, 2007; ^rBayer CropScience, 2016; ^sEPA, 2004; ^tGalindo et al., 2015; ^uISAGRO, 2017; ^vEPA, 2014; ^wNovozymes, 2017; ^xEPA, 2013; ^yValent BioSciences, 2017; ^zEPA, 2007).

En los últimos años, el mercado de la producción de plaguicidas químicos ha declinado un 2% anual, mientras que la producción de bioplaguicidas presenta un incremento anual del 20%. Existen varias razones para el interés creciente por los bioplaguicidas microbianos, las cuales incluyen el limitado desarrollo de resistencia por parte de los organismos patógenos a éstos, una disminución en la tasa de descubrimiento de nuevos insecticidas, una mayor percepción pública de los peligros asociados a los plaguicidas sintéticos, el mayor número de estudios sobre la especificidad de los bioplaguicidas microbianos, mejoras en la producción, la tecnología de formulación y divulgación, así como la interacción con productores e instancias de regulación.

Cabe mencionar que la transición e integración del uso de bioplaguicidas en las prácticas agrícolas actuales deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- a) efectividad contra la plaga o enfermedad.
- b) compatibilidad con otros métodos de control.
- c) impacto ambiental bajo o nulo.
- d) efecto duradero en el medio.
- e) economía, desde el punto de vista costo/beneficio.
- f) factibilidad técnica de su empleo.
- g) aceptación por los productores y sociedad en general.

Por lo tanto, el uso de bioplaguicidas ofrece una oportunidad para estimular el desarrollo y modernización de las prácticas agrícolas actuales con el objetivo de contribuir a la seguridad alimentaria bajo enfoques de bioseguridad.

TABLA 2 DIFERENCIA ENTRE PESTICIDAS Y BIOPLAGUICIDAS

PESTICIDAS	BIOPLAGUICIDAS
Origen: Son sustancias químicas sintéticas, a menudo producidas en laboratorios.	Origen: Derivan de fuentes naturales como plantas, bacterias, hongos y minerales.
Efectos: Pueden tener un impacto amplio en el medio ambiente, afectando no solo a las plagas objetivo, sino también a organismos no objetivo como insectos beneficiosos, aves y mamíferos.	Efectos: Tienen un impacto más específico en la plaga objetivo, con menor riesgo para organismos no objetivo.
Toxicidad: Generalmente más tóxicos que los biopesticidas.	Toxicidad: Generalmente menos tóxicos que los pesticidas convencionales.
Ejemplos: Insecticidas Herbicida Fungicidas Rodenticidas	Ejemplos: Microbianos: Bacterias como <i>Bacillus thuringiensis</i> . De origen vegetal: Extractos de neem, ajo, Feromonas y atrayentes: Sustancias que imitan feromonas o atraen plagas. Fungicidas: Cobre y azufre. Sustancias naturales que regulan el comportamiento de las plagas: Hormonas.

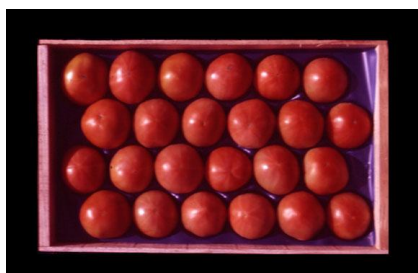
En resumen, los biopesticidas son una alternativa más sostenible y menos perjudicial para el medio ambiente y la salud humana en comparación con los pesticidas convencionales.

CAPÍTULO 4: TIPOS DE TOMATES

4.1 Tipos de tomates



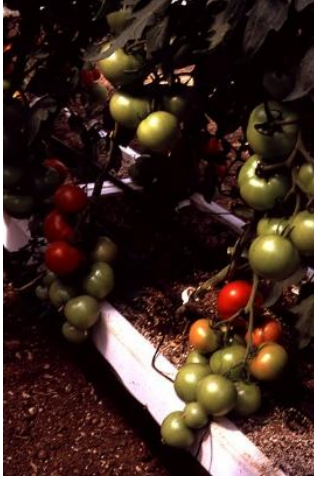
Tipo industrial: los cultivares para la agroindustria son de hábito determinado, de producción y maduración concentrada, con frutos con pedúnculo no articulado (jointless), pequeños, de forma redonda-cuadrada a piriforme, de color rojo intenso, de alto contenido de sólidos solubles, de viscosidad media a alta, duros, etc. Algunos cultivares tradicionales son Roma, San Marzano y UC-82, y otros que se usan en el país como: Heinz 8773, Nema 1400, NK 4781 y Peto 9889.



Tipo fresco tradicional ("heirloom"): en contraste al tipo anterior, en general, son plantas de hábito indeterminado, de producción y maduración prolongada, con frutos grandes, de forma redonda, globosa o achatada, de color rojo, de muy alto sabor, más o menos blandos, etc. Los cultivares de este tipo son de polinización abierta y de amplia adaptación. Permanecen o están teniendo un "renacimiento" en ciertos mercados nichos por su alto sabor típico, por ej.: Ace 55, Beefsteak, Cal Ace, Costaluto, Marglobe, Marmande, Packmor y "Redondo Liso".



Tipo fresco moderno: este es el grupo más numeroso e incluye una gran cantidad de híbridos mejorados para rendimiento y sus características auxiliares, para precocidad, para resistencia a transporte, etc. Los catálogos de cada una de las empresas listan decenas de cultivares, los que pueden ser plantas de hábito determinado grandes o indeterminado, con resistencia a varias enfermedades (V-F-N-Asc-St-TMV, etc.), de frutos medios a grandes (150 a 250 g), semi-duros, de sabor más bien pobre, etc. Algunos cultivares usados en Chile, aunque sujetos a una constante y rápida renovación, son: BHN-7, Empire, EF-50, Sunbeam, MonteCarlo, Peto 7718 VF, Pik-Rite, Robin, Sunrise y Valerie.



Tipo fresco invernadero: aunque la producción en invernadero es reducida, las condiciones productivas particulares de este sistema (temperatura, manejo, enfermedades, etc.) requieren de cultivares mejorados de manera específica para estos fines. En general, son plantas indeterminadas, capaces de cuajar a bajas temperaturas, que responden bien a la poda, de resistencia a múltiples enfermedades, de frutos redondo-achatados, medios a grandes, semi-duros y duros, de sabor regular, etc. Algunos cultivares usados en el país son: Carmelo, Fortaleza, Max, Kastalia y Robin.



Tipo fresco larga vida: este es un tipo de tomate reciente que se distingue por haber sido mejorado específicamente para una más prolongada conservación en postcosecha, o larga vida en postcosecha. Estos tomates han sido obtenidos a través de cruzamientos con mutantes de maduración lenta (principalmente rin), o por medios de ingeniería genética que introducen al germoplasma genes antisentido que causan una maduración lenta (PGA antisense) o regulada (ACC transwitch). Los cultivares mejorados con mutantes ya se usan en Chile, por ej. FA-144 y Madrila, y los mejorados por biotecnología todavía no han sido introducidos comercialmente en el país, por ej. Flavr Savr o sus derivados Mcgregor y otros. Estos cultivares se usan en cultivos para fresco, al aire libre o en invernaderos, y sus frutos son similares a otros, excepto en su larga vida útil en postcosecha y en su gran dureza.



Tipo cereza o cocktail: este tipo es de cultivo restringido en el país y se caracteriza por producir frutos de tamaño muy pequeño (1 a 3 cm de diámetro). Las plantas son, en general, de hábito indeterminado, de racimos largos con muchos frutos, de color y sabor muy intensos. Algunos cultivares del tipo son: Small Fry, Super Sweet 100, Sweet Cherry y Sweet Chelsea.



Tipos especiales o novedosos: la gran diversidad existente en la especie hace que ocasionalmente se vean en el mercado algunos cultivares de tomates amarillos (ej.: Lemon Boy), de forma de perita (ej.: Red y Yellow Pear), de venta en racimos (ej.: Hazera BR-124), y de otros tipos que tienen una difusión muy puntual pero que atestiguan la riqueza varietal de tomate.

4.2 Tomates en Chile

Los tomates con mayor tradición y reconocimiento en Chile son el Tomate Limachino de la Región de Valparaíso, conocido por su sabor y aroma únicos, y el Tomate Rosado originario de la Región de O'Higgins, valorado por su dulzor y consistencia. Otras variedades con buena reputación incluyen los tomates de Peumo y Rengo, que comparten el carácter de ser productos de semillas naturales con siembra orgánica. Variedades destacadas en Chile:

- **Tomate Limachino:** Es un emblema de la cuenca de Limache y un producto característico de la Región de Valparaíso. Las familias italianas que llegaron a Chile durante la Segunda Guerra Mundial lo introdujeron y cultivaron en esta zona, otorgándole un sabor y aroma inigualables.
- **Tomate Rosado:** Originario de la Región de O'Higgins, este tomate es uno de los más antiguos y apreciados por su dulzor y consistencia. Se cultiva de forma orgánica con semillas naturales.
- **Tomate Yuco o Renguino:** Otro tomate tradicional de la Región de O'Higgins, con características únicas y ligado a un territorio y a una larga tradición.

Otros tomates en el mercado chileno

- **Tomate Pera:** Se caracteriza por ser un tomate compacto, dulce, con pocas semillas y carnosos. Es ideal para conservas y salsas debido a su alto componente industrial.
- **Tomate Cherry:** Una variedad pequeña, roja y dulce, muy popular para ensaladas y para cultivar en macetas debido a su reducido tamaño.

CAPÍTULO 5: HISTORIA DE LOS BIOPESTICIDAS

5.1 Biopesticidas.

Los biopesticidas son aquellos productos que se derivan de productos naturales (minerales, bacterias, plantas y animales) y se utilizan para controlar plagas y patógenos. USEPA (2008) ha definido los biopesticidas como pesticidas microbianos, protectores de plantas incorporados y pesticidas bioquímicos como ingrediente activo. En todo el mundo, existe una confusión con respecto al uso del término "biopesticida". Por lo tanto, la Asociación Internacional de Fabricantes de Biocontrol (IBMA) y la Organización Internacional para el Biocontrol (IOBC, 2008) utilizaron el término "Biocontrol" como una alternativa de Biopesticidas (Guillon, 2003).

5.2 Historia de los biopesticidas.

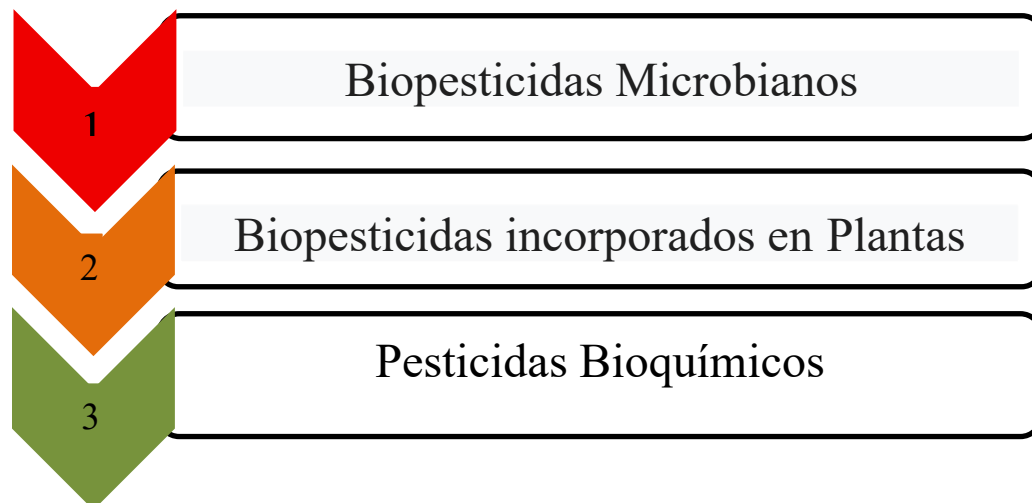
Antecedentes históricos de los biopesticidas se remontan al siglo XVII, cuando los extractos vegetales de nicotina se utilizaron como biocontrol contra los escarabajos del ciruelo. Otra investigación de Agostine Bassi en 1835 demostró que el hongo moscatel blanco (*Beauveria bassiana*) podía utilizarse como control biológico contra el gusano de seda.

A principios del siglo XIX, se llevaron a cabo diferentes estudios sobre el uso de aceites vegetales o minerales como fitoprotectores. Con la expansión de la investigación agrícola a principios del siglo XX, se desarrollaron numerosos estudios y propuestas de biocontroles.

Entre ellos, los primeros y más aceptados biocontroles fueron las esporas de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt). En 1901, el biólogo japonés Shigetane Ishiwata aisló Bt de un gusano de seda enfermo. Después de diez años, Ernst Berliner en Turingia, Alemania, lo redescubrió de la oruga enferma de la polilla de la harina. En 1911, el patógeno Bt se clasificó como especie tipo *Bacillus thuringiensis*. A principios de la década de 1920, Francia comenzó a utilizar Bt como insecticida biológico. El primer producto comercial de Bt, la espora, fue desarrollado en Francia en 1938.

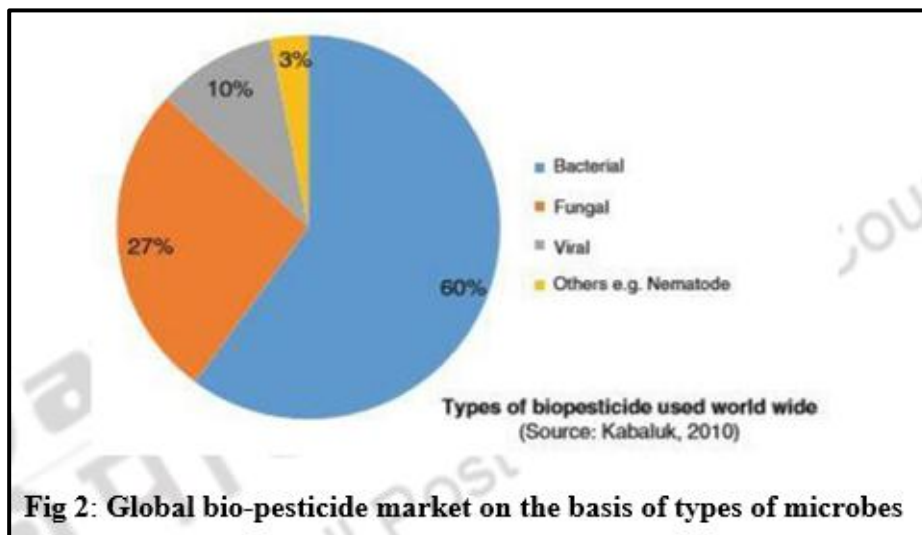
5.3 Clasificación de biopesticidas

Los biopesticidas se pueden clasificar de diferentes maneras dependiendo del organismo de origen, el ingrediente activo, el modo de acción, etc. Sin embargo, la clasificación más común se basa en el organismo de origen y sobre esta base se pueden clasificar en tres clases principales como sigue:



El mercado de biopesticidas es comparativamente débil en comparación con los pesticidas sintéticos debido a la falta de conocimiento, el rendimiento inconsistente y otras limitaciones de los biopesticidas. Sin embargo, considerando la creciente conciencia sobre la seguridad ambiental, la creciente demanda de alimentos orgánicos, las iniciativas gubernamentales, etc., se espera que el mercado de biopesticidas crezca a un ritmo mayor en el futuro.

Actualmente, se ha reportado un crecimiento constante del 10% anual en el uso global de biopesticidas, con una producción de 3000 toneladas anuales. En el mercado, los biopesticidas están disponibles en diferentes presentaciones físicas, como gránulos, polvo, polvos humectables y concentrados líquidos. Entre los diferentes tipos de biopesticidas, el uso de biopesticidas microbianos es el más alto (60%), seguido de los fúngicos (27%) y virales (10%), como se muestra en la figura 2.



Bacillus thuringiensis es la principal bacteria utilizada en el sector agrícola para el control de plagas y representa el 90% de los biopesticidas microbianos. Los productos basados en Bt representan aproximadamente el 53% del mercado mundial de biopesticidas, y del total, el 50% se consume únicamente en Estados Unidos. Más de 200 biopesticidas están disponibles en los mercados de EE. UU y en UE. Sin embargo, Asia se encuentra rezagada y su uso de biopesticidas representa solo el 5% del total de biopesticidas vendidos a nivel mundial. Las ventas mundiales de biopesticidas se detallan en la tabla 1:

Table 1: Bio-pesticides sale throughout the world

Estimated sales figures (in US\$ million)						
Bio-pesticide	Europe	North America	Latin America	Asia and Australia	Africa and middle east	Total
Bt products	27.57	72	30.19	74.75	6.28	201.79
Viruses	7.47	5.57	3.80	23.90	0.48	41.22
Other bacteria	6.30	23.94	4.56	14.05	0.40	49.25
Fungi	5.64	15.85	35.96	18.85	0.78	77.08
Nematodes and other	7.50	9.4	0.16	0.95	0.13	18.14
Total	54.48	126.76	74.67	132.5	8.07	396.48

Source: CPL business consultants (2010)

5.4. Ventajas de los biopesticidas

Los biopesticidas controlan las plagas de forma ecológica y no tóxica. Causan menos daño al ecosistema que los pesticidas químicos. Ofrecen las siguientes ventajas:

1. Efecto residual nulo o mínimo: Los residuos de biopesticidas microbianos no producen efectos adversos sobre los seres vivos.
2. Aplicabilidad en agricultura orgánica y potencial para ser utilizado como parte del Manejo Integrado de Plagas (MIP).
3. Menos posibilidades de desarrollar resistencia por parte de las plagas: Rango de acción estrecho que contribuye a la especificidad hacia una plaga de insectos en particular.
4. Biodegradable en la naturaleza
5. Eficaz en baja concentración y proporciona control de plagas durante generaciones.
6. Naturaleza no tóxica y no patogenicidad hacia los objetivos.
7. Estos no afectan a los insectos ecológicos como los polinizadores y la microflora del suelo, por lo que ayudan a mejorar el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos.

CONCLUSIONES

El impacto negativo de los plaguicidas químicos en el ambiente se ha documentado ampliamente, tales como: daños a la salud, resistencia a compuestos por los fitopatógenos, contaminación de suelos y mantos acuíferos, surgiendo así la necesidad de desarrollar alternativas sostenibles para proteger a los cultivos agrícolas contra organismos patógenos, por ejemplo, la utilización de agentes de control biológico.

El género *Bacillus* presenta gran diversidad metabólica involucrada para el control biológico de fitopatógenos, así el sector académico e industrial ha enfocado esfuerzos para la generación de formulaciones comerciales para su aplicación en campo, y en la descripción de los principales mecanismos de acción involucrados en dicho efecto (competencia por espacio y nutrientes, antibiosis, producción de enzimas líticas, secreción de toxinas, induciendo la resistencia del hospedero); sin embargo, es inusual el hecho que un único mecanismo de acción sea utilizado por dicho antagonista para la supresión de fitopatógenos *in situ*.

Actualmente, diversas formulaciones comerciales cuentan como ingrediente activo cepas del género *Bacillus*, debido a su capacidad de colonización, fácil reproducción y alta persistencia asociada a la formación de endosporas, siendo esta última una característica de especial interés ya que les permite sobrevivir bajo condiciones de estrés abiótico, facilitando su producción y almacenamiento durante largos periodos de tiempo.

Los microorganismos benéficos también desempeñan un papel fundamental en la protección de las plantas contra las plagas y enfermedades. Las bacterias como *Bacillus* producen antibióticos naturales que pueden inhibir el crecimiento de patógenos dañinos.

DISCUSIÓN.

Las especies del género *Bacillus* poseen gran diversidad metabólica y funcional, propiciando su amplio uso en la agricultura. En este sentido, los grupos de *Bacillus cereus* y *Bacillus subtilis* son los mayormente utilizados; sin embargo, en términos de bioseguridad éstos deben ser estudiados ampliamente antes de su utilización como agentes de control biológico en el campo.

El grupo de *Bacillus subtilis* que incluye especies de gran importancia en la agricultura como *B. licheniformis* y *B. pumilus*, tradicionalmente no son considerados como patógenos para humanos, incluso a *B. subtilis* se le ha otorgado el estado de QPS (*Qualified Presumption of Safety*) por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. Sin embargo, existen algunos casos aislados de intoxicaciones por manifestaciones digestivas, señalando a *B. subtilis* y *B. licheniformis* como agentes causantes del brote de intoxicación en un jardín de niños, ocasionado por la ingesta de leche en polvo, la cual contenía dichas especies bacterianas.

Por otra parte, en el grupo de *Bacillus cereus* conformado por especies como *B. thuringiensis*, *B. anthracis*, *B. mycoides*, *B. pseudomycoides*, *B. cytotoxicus* y *B. weihenstephanensis*, algunas cepas se han identificado como patógenos para humanos. Entre éstos, *B. cereus* se ha identificado en una gran diversidad de alimentos (productos lácticos, vegetales frescos, entre otros), provocando crisis epidemiológicas importantes a nivel mundial, y en algunos casos hasta la muerte, debido a infecciones eméticas y diarreas. Además, recientemente, cepas de *B. thuringiensis* han sido asociados a intoxicaciones por el consumo de alimentos contaminados.

La virulencia de estas especies se ha asociado principalmente a la presencia de dos toxinas, la hemolisina BL (HBL) y la toxina entérica no hemolítica (NHE), los cuales forman un complejo proteico. Además, otras toxinas se han identificado en cepas patógenas, incluyendo la citotoxina K (*cytK*), enterotoxina FM (*entFM*), enterotoxina S (*entS*) y enterotoxina T (*bceT*).

En cepas que producen la toxina emética (toxina de alta resistencia a los tratamientos térmicos, valores de pH extremos y la actividad de proteasas), la virulencia se ha relacionado con la presencia del dodeca depsipéptido sintetizado por sintasas de péptidos no ribosomales (NRPS) codificadas por genes *ces*, encontrándose en plásmidos tipo pXO1. Asimismo, productos de otros genes, como la hemolisina A (*hlyA*), hemolisina II y III (*hlyI*, *hlyII*), cereolisina A y B (*cerA*, *cerB*), y el factor transcripción pleitrópico (*pclr*) están involucrados en la patogenicidad de estas cepas.

Históricamente, la clasificación y diferenciación de especies en el grupo de *Bacillus cereus* se ha llevado a cabo utilizando el gen 16S RNAr y otras características como:

- i) Virulencia (*B. cereus*),
- ii) Contenido de plásmidos (*B. anthracis* y *B. thuringiensis*),
- iii) Condiciones de crecimiento (*B. cytotoxicus* y *B. weihenstephanensis*)
- iv) Características morfológicas (*B. mycoides* y *B. pseudomycoides*).

Sin embargo, en especies estrechamente relacionadas como *B. cereus*, *B. anthracis* y *B. thuringiensis*, la diferenciación que utiliza factores de virulencia y contenido de plásmidos es limitada, debido a su pérdida y transferencia durante la historia evolutiva de estas especies. Recientemente, estudios comparativos con genomas completos mediante dDDH (digital DNA: DNA hybridization), evidenciaron la amplia distribución de genes *cry* y plásmidos tipo pXO en miembros de este grupo, demostrando la baja correlación que existe entre posición filogenética y la presencia o ausencia de estos plásmidos. Además, el anterior estudio demostró la baja resolución del análisis multilocus (MLST) para la diferenciación a nivel de especies.

Así, debido a la gran versatilidad metabólica con aplicación agrícola que exhiben miembros del grupo de *B. cereus*, en especial *B. cereus* y *B. thuringiensis*, la correcta identificación y la determinación de su virulencia para el ser humano es determinante para la selección y comercialización de agentes de control biológico de estas especies. Siendo el estudio de genómica comparativa utilizando genomas completos, la única alternativa precisa de clasificar y determinar su virulencia, sin embargo, es importante considerar que son herramientas costosas para la discriminación de cepas patogénicas durante el proceso de selección primario de potenciales agentes de control biológico.

BIBLIOGRAFIA

- https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092018000100095
- <https://biologicalslatam.com/pionero-de-los-biopesticidas-en-chile-revela-formulas-para-el-exito-del-biocontrol-en-el-agro/>
- https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200004
- <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/057c2965-20cb-4ce7-b414-3049018000cd/content>
- González, P. 2019. Plaguicidas Antecedentes generales. Elaborado para la Comisión de Agricultura, en el marco de la discusión del “Proyecto que prohíbe plaguicidas de elevada peligrosidad” (Boletín N° 6.969-01)
- Briceño, G. y Diez, M.C. 2021. Sistema de biopurificación para el tratamiento de plaguicidas. En: Soluciones basada en la naturaleza para la descontaminación de descargas puntuales y difusas. 2021. Editores: G. Vidal, G., Gómez y M. C. Diez. Ediciones Universidad de Concepción ISBN 978-956-227-465-4 y Registro de Propiedad Intelectual N° 2020-A-7572 año 2020. p. 53-83.
- <https://www.ciperchile.cl/2021/09/21/dos-caras-de-los-plaguicidas/>
- <https://www.bpia.org/history-of-biopesticides/>
- http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000400015

