



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

EL USO DE BIOPESTICIDAS EN LA AGRICULTURA MODERNA

Alumno/a: FABIOLA ESCUDERO VALDIVIA

Junio, 2023



Universidad de Jaén



Trabajo Fin de Grado

El uso de Biopesticidas en la agricultura moderna.



Firma:

X 
Fabiola Escudero Valdivia
Alumna
Firmado por: ESCUDERO VALDIVIA FABIOLA - 20867811Q

Alumna: Fabiola Escudero

Valdivia

Jaén, junio de 2022

ÍNDICE

Universidad de Jaén	2
1. RESUMEN	4
1. 1Abstract.....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	6
2.2 Historia de los biopesticidas	6
2.2 Definición	8
2.3 Clasificación	9
2.4 Regulación	11
3. JUSTIFICACIÓN	13
4. OBJETIVOS	14
4.1 Objetivo general.....	14
4.2 Objetivos específicos.....	14
5. METODOLOGÍA.....	14
6. RESULTADOS	16
6.1 Bacillus Thuringiensis	16
6.2 Feromonas	20
6.2.1 Detección y monitoreo	22
6.2.3 Técnica de confusión sexual	23
7. DISCUSIÓN	24
8. CONCLUSIÓN.....	25
9. AGRADECIMIENTOS	27
10. BIBLIOGRAFÍA	28
10.1- Referencias imágenes y tablas	33

1.RESUMEN

Introducción: Mantener los cultivos exentos de plagas para tener un buen rendimiento es importante, por ello hay que ir reduciendo el uso de pesticidas químicas ya que dejan residuos en los mismo y sustituirlos por otros que no perjudiquen tanto a los cultivos. Por lo tanto, este estudio, se llevará a cabo una revisión bibliográfica sobre las ventajas del uso de biopesticidas en la agricultura moderna.

Objetivos: Este estudio trata de analizar las ventajas del uso de *Bacillus thuringiensis* y el uso de feromonas en la agricultura moderna, para observar las ventajas de estos biopesticidas sobre cultivos modernos.

Metodología: Se ha realizado una revisión bibliográfica en varias bases de datos y se ha realizado un análisis completo de los 12 artículos seleccionados posteriormente de aplicar los criterios de inclusión y exclusión.

Conclusión: Los bioinsecticidas presentados en este estudio ofrecen beneficios significativos como una disyuntiva viable para el control biológico de plagas en los cultivos agrícolas convencionales. Su utilización preserva la productividad del campo sin dañarlo y sin comprometer la salud de la población.

Palabras clave: agricultura, *Bacillus thuringiensis*, biopesticidas, feromonas.

1. 1Abstract

Introduction: It is important to keep crops free of pests in order to have a good yield, so it is necessary to reduce the use of chemical pesticides as they leave residues on the crops and replace them with others that do not damage the crops so much. Therefore, in this study, a literature review will be carried out on the advantages of the use of biopesticides in modern agriculture.

Objectives: This study aims to analyse the advantages of the use of *Bacillus thuringiensis* and the use of pheromones in modern agriculture, in order to observe the advantages of these biopesticides on modern crops.

Methodology: A bibliographic review was carried out in several databases (Google Scholar, PubMed or Scielo) and a complete análisis of the 12 articles selected after applying the inclusion and exclusion criteria

Conclusion: The bioinsecticides presented in this study offer significant benefits as a viable alternative for the biological control of pests in conventional agricultural crops. Their use preserves field productivity without harming it and without compromising public health.

Key Word: agriculture, *Bacillus thuringiensis*, biopesticide, pheromone.

2. INTRODUCCIÓN

2.2 Historia de los biopesticidas

Durante años, los seres humanos han utilizado diversos productos fitosanitarios para controlar insectos, enfermedades y malas hierbas que dañan o destruyen los cultivos alimentarios. Antes de la invención de los insecticidas sintéticos en el siglo XX, la fuente primaria más probable de pesticidas era de origen natural. La primera generación de pesticidas probablemente se derivó de materiales inorgánicos. Los sumerios fueron los primeros registrados en usar compuestos de azufre para matar insectos y ácaros alrededor del 2500 a. C (Dent 2000).

La documentación más antigua sobre el uso de plaguicidas de origen vegetal se encontró en la India y data del año 2000 a. C (Ignacimuthu 2012). En 1200 a.C, los chinos aplicaron mercurio y compuestos de arsénico para controlar los piojos del cuerpo (Dent 2000).

La historia registra que los agricultores del siglo XVII usaban nicotina en un esfuerzo para controlar los escarabajos del ciruelo (López et al. 2011). Más recientemente, se registraron **unos extensivos** de insecticidas botánicos entre fines del siglo XIX y 1940 (Henn y Weinzierl 1989). El uso de insecticidas botánicos se redujo drásticamente en la agricultura comercial tras la introducción de insecticidas en forma sintética sobre los primeros años de 1940, que era menos costosos, más efectivos y más persistentes que sus predecesores botánicos (Henn y Weinzierl 1989). En el momento de la Segunda Guerra Mundial, uno de los primeros insecticidas organoclorados que se usó ampliamente en el control de plagas de insectos fue el diclorodifeniltricloroetano, comúnmente conocido como DDT. Entre 1945 y la década de 1970, las piretrinas se usaron solo para aerosoles domésticos e industriales, mientras que la nicotina se usó para invernaderos/huertos, y la rotenona tuvo un uso limitado para jardines domésticos (Henn y Weinzierl, 1989).

La publicación de un libro titulado "*Primavera silenciosa*" por Rachel Carson en 1962 fue el detonante para la prohibición de una serie de insecticidas sintéticos que eran principalmente organoclorados como el DDT (McKinlay et al 2012), ya que causaba daño en la vida silvestre aunque a día de hoy se usa en cantidades limitadas en países con enfermedades como paludismo.

El desarrollo de pesticidas orgánicos sintéticos para el control de plagas agrícolas (como animales dañinos, organismos patógenos y malezas) fue una de las técnicas de difusión con más rapidez en el transcurso de la agricultura (March et al., 2010). Aunque su amplia

adopción comenzó después de la Segunda Guerra Mundial (Waterfield and Zilverman, 2012), la llama "Revolución verde" de los años 1960 se focalizó en el uso de nuevas especies de cereales para su ingesta como son el trigo, el maíz y el arroz, así como en la implementación de riego, fertilizantes y pesticidas (Brodeser et al., 2006; Oerke, 2006).

El uso de agroquímicos en la protección de cultivos ha contribuido enormemente al éxito de la "*Revolución verde*", lo que ha llevado a la producción sostenible de alimentos, fibras, forrajes y piensos (Bhushan et al., 2011). Durante las últimas cuatro décadas de quimificación e intensificación agrícola, sin duda la producción se ha duplicado en muchos aspectos, pero al mismo tiempo dio lugar a varios problemas como residuos de pesticidas en alimentos, contaminación ambiental, desequilibrio del equilibrio ecológico (polinizadores y otros insectos benéficos) y el resurgimiento de plagas y patógenos menores (Mukherjee et al., 2013). El uso de pesticidas químicos sintéticos se había aumentado considerablemente para reducir la pérdida bruta de cultivos evaluada del 45% debido a plagas y enfermedades (Gupta et al., 2013).

El uso de productos químicos en cultivos resulta inevitable para cubrir la creciente demanda de alimentos a nivel global. No obstante, existen situaciones en las que la producción orgánica puede ser mejorada en cultivos específicos y en áreas de nicho, con el fin de acceder al mercado nacional de exportación. Los residuos en los alimentos son otro problema importante provocado por el uso excesivo e inadecuado de pesticidas químicos (Yankanchi y Gadache, 2010). Gran parte de los pesticidas utilizados en la actualidad tienen una tendencia a persistir en las plantas durante períodos prolongados, lo cual resulta en su transferencia a la cadena alimentaria, generando así un amago para el entorno medioambiental y la salud en el ser humano (Yankanchi and Gadache, 2010).

Los pesticidas en general son sustancias formuladas para matar, repeler o controlar ciertas formas de vida vegetal o animal que se considere plaga. Los pesticidas incluyen herbicidas, insecticidas, fungicidas, rodenticidas y bactericidas. El uso de éstos para producir alimentos, los humanos tienen niveles mínimos de residuos de pesticidas a través de su alimentación. Por ello, ahora los biopesticidas establecen una parte notable de tecnología para el manejo de plagas. Históricamente, los productos químicos sintéticos han sido elementos fundamentales en el control de plagas, junto con los pesticidas microbianos y los cultivos transgénicos, los cuales desempeñan un papel muy importante sobre la protección de las cosechas (Prabhat et al., 2014).

2.2 Definición



Los biopesticidas son sustancias utilizadas para el control de plagas que engloban feromonas de insectos, extractos vegetales, aceites, reguladores del crecimiento de plantas y productos que regulan el crecimiento de los insectos (Gupta and Sikshit, 2010). El campo de los biopesticidas es profundo, en consecuencia, **son una fuente de preocupación por la sanguinidad** y una maravillosa cantidad de trabajo e investigación en este campo, pero al igual que otras soluciones de química verde, los productos biopesticidas emergentes y seguros operativos necesitan un pensamiento holístico y métodos multidisciplinarios para fundar seguridad, que es un concurso para la industria de biopesticidas (Prabhat et al., 2014). Es importante destacar que los biopesticidas tienen también un especto de toxicidad. En un extremo, los biopesticidas son extremadamente limitados en cuanto a enfocar especies individuales en una ventana específica de su ciclo de vida, mientras que, en el otro extremo, los biopesticidas tienen un efecto más amplio, especialmente cuando se trata de la seguridad del sistema vivo, ya que son totalmente benignos en sus efectos humanos y ambientales, y casi no generan impactos humanos en el ecosistema en comparación con los plaguicidas convencionales (Byrappa et al., 2012).

Los biopesticidas son cualquier sustancia que mata una plaga y es de origen biológico (es decir, virus, bacterias, feromonas, compuestos vegetales o animales), o simplemente el origen del ingrediente activo de un biopesticida es natural, no sintético (USEPA, 2008).

Son altamente específicos y afectan solo a la plaga objetivo o plagas estrechamente relacionadas y no dañan a los humanos ni a los organismos benéficos, mientras que los pesticidas químicos son de amplio espectro y se sabe que afectan a los organismos no objetivo, incluidos depredadores, parásitos y otros organismos benéficos (Kundoo et al., 2018). Una característica destacada de los biopesticidas es su facilidad de uso y su capacidad de biodegradación, es decir una disminución de residuos de pesticidas y, en su mayoría, evita los problemas de contaminación asociados con los pesticidas químicos (Greaves and Grant, 2011).

También en términos de producción y comercialización, los biopesticidas tienen una ventaja sobre los pesticidas químicos como el desembolso en investigación, una tasa más rápida de desarrollo de productos y un procedimiento de registro flexible (Phabhat et al., 2014).

2.3 Clasificación

Los compuestos que se clasifican como biopesticidas según la “Organisation for Economic Cooperation and Development” de la Unión Europea (OECD, 2009) según el sustrato activo o ingrediente activo (IA) que se pueden obtener se dividen en tres grupos como microorganismos, como bioquímicos y como semiquímicos..

- **Microorganismos.** Estos biopesticidas se obtienen de hongos, bacterias, virus y protozoos, y se utilizan para controlar insectos, malezas y patógenos (OECD, 2009).

La bacteria más ampliamente utilizada como biopesticida es *Bacillus thuringiensis* (Bt). En la UE, los productos de esta especie corresponden a un 66% de las ventas (Lisanky, 2007). Los productos elaborados a partir del *Bt* están compuestos por la proteína δ -endotoxina durante la esporulación que forma cristales y esporas. Se utiliza en los cultivos para el control de plagas-insecto en cultivos frutales y de cereales debido a su alta selectividad y su estabilidad en el medio como en la salud de los humanos.

Son los **Baculovirus** (DNA) son los virus más comunes utilizados como biopesticidas que atacan a 13 subfamilias de lepidópteros. Estos virus son exclusivamente de invertebrados. La mayoría de estos virus entomopatógenos tienen un rango de huéspedes limitado principalmente al género o familia de la que fueron inicialmente aislados, lo que los convierte en una opción recomendada debido a su baja huella ectotoxicológica. (Lapointe et al., 2012; McWilliams, 2011). Dentro de los **Baculovirus**, se distinguen dos grupos como Virus de Poliedrosis Nuclear y los Virus de Granulosis.

En el caso de mico-insecticidas, los ingredientes activos más utilizados son el **Metarhizium anisopliae** (34%) y el **Beauveria bassiana** (34%). Su alta virulencia, la persistencia de las esporas en la tierra y la flora, así como la producción de esporas en insectos cadáver, contribuyen a su eficacia.

Sin embargo, los micofungicidas presentan algunas limitaciones, como las condiciones ambientales específicas requeridas, su aplicación difícil, una vida limitada y una acción más lenta si los comparamos con los productos químicos convencionales (Stone et al., 2014). Además, no son adecuados para situaciones epidémicas, especialmente en cultivos extensivos. Por lo tanto, se recomienda su inserción en estrategias proactivas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) en dichos casos (March et al., 2010). Estos productos se utilizan principalmente en el sistema productivo de cultivos intensivos, como los invernaderos (Fravel, 2005; Paulitz and Bélanger, 2001).

La utilización de herbicidas microbianos ha sido investigada durante más de cuarenta años.

Sin embargo, aún hay mucha competencia por resolver antes de ser utilizados ampliamente en agricultura, como mejorar su utilidad, eficacia, persistencia, dispersión y así evitar en especies benéficas daños (Stubbs y Kennedy, 2012). Los mico-herbicidas más destacados se encuentran el *Colletotrichum gloeosporioides* y el *Phytophthora palmivora*.

- **Bioquímicos.** Metabolitos secundarios producidos por plantas, algunos se han usado para el desarrollo de biopesticidas (OECD, 2009).

A día de hoy existen cuatro productos provenientes de plantas principales utilizados para el control de insectos que son piretro o la rotenona o la azadiractina y aceites esenciales. También se emplean de forma limitada otros tres productos botánicos, como la ryania, la nicotina y la sabadilla, además de algunos otros compuestos. El piretro es ampliamente aceptado, pero en algunos países se prohíbe el uso de otros compuestos de origen botánico (Isman, 2006).

La piretrina piretro se extrae de flores muertas del piretro (*Tanacetum cinerariaefolium* también conocido como *Chrysanthemum cinerariaefolium*). El uso de dosis elevadas en comparación con otros piretroides puede plantear problemas toxicológicos, aunque se espera que su baja toxicidad en mamíferos sea indicativa (Magkos et al., 2013). Estos productos tienen un efecto de derribo rápido, pero son susceptibles de causar daños al medio ambiente debido a su inestabilidad frente a temperaturas, aire y luz.

La mayoría de las rotenonas se obtienen de especies de leguminosas de los géneros *Derris*, *Tephrosia* y *Lonchocarpus* pero principalmente de *L. utilis* y *L. urucu*, que se encuentran en Venezuela y Perú (Isman, 2006). La rotenona es uno de los insecticidas vegetales más peligrosos debido a su toxicidad oral aguda, que es similar a la del DDT (DL50=132) y su duración prolongada en cultivos tratados. Se ha descubierto recientemente que causa la enfermedad del Parkinson (Tanner et al., 2011).

Más de 200 sustancias diferentes han sido aisladas de las especies de *Azadirachta*, la mayoría de las cuales provienen de *A. indica*. Gracias que tiene unas propiedades benéficas y gran capacidad como bioplaguicida, se ha convertido en el insecticida de origen vegetal más utilizado (Schmutterer, 1990). Los productos con aceite de neem están registrados para su uso en agricultura en los Estados Unidos y la UE debido a su acción como potente anti alimentario. Estos productos también controlan plagas causadas por hongos y un amplio rango de insecto masticadores, chupadores y ácaros (Dayan et al., 2009)

El aceite de romero se extrae de la planta *Rosemarinus officinalis*, especie nativa del Mediterráneo y se utiliza como aceite esencial. Existe una variedad de productos para su uso en agricultura convencional o agroecológica en los Estados Unidos porque no ha sido

registrado por la EPA (Dayan et al., 2009).

El aceite extraído de *Thymus vulgaris*, planta de tomillo, es otro ejemplo. Esto está a su disposición para su uso en cultivos convencionales o agroecológica en los Estados Unidos porque no ha sido registrado por la EPA (Dayan et al., 2009).

- **Semioquímicos.** Productos químicos producidos por un organismo que alteran su conducta con miembros de la misma o de diferentes especímenes (OECD, 2009).

En general, podemos clasificar los semioquímicos en dos grupos: aleloquímicos, que involucran interacciones entre especies diferentes, y feromonas, que implican interacciones dentro de la misma especie. Sin embargo, el desarrollo de los primeros se encuentra muy limitado.

Aunque se han identificado muchos semioquímicos, solo un pequeño porcentaje ha sido evaluado para el sector comercial (Birkett y Pickett, 2003).

Los semioquímicos que son más utilizados son los que se extraen de las feromonas sexuales en el ámbito de la agricultura. Se emplean en tres enfoques principales: monitoreo de plagas, sistemas de atracción más controlados y técnica de confusión sexual (TCS). Estas feromonas se usa mayormente en lepidópteros, aunque también se utilizan para el control de coleópteros, homópteros y dípteros.

2.4 Regulación

El Reglamento CE Nº 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, emitido el 21 de octubre de 2009, tiene como objeto la regulación en el ámbito comercial de productos fitosanitarios y reemplazar las Directivas 79/117/CEE y 91/414/CEE del Consejo (DOL 309 de 24.11.2009, pp 1-50). Este reglamento establece un sistema que garantiza la seguridad en el uso de productos contra plagas (fitosanitarios) dentro de la Unión Europea (Czaja et al., 2015).

Por otro lado, el reglamento (EC) Nº 283/2013 de la Comisión, emitido el 1 de marzo de 2013, establece los requisitos de datos para las sustancias activas de acuerdo con el Reglamento (CE) nº 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, que regula el ámbito comercial de estos productos

Estos requisitos de información sobre los ingredientes activos fueron modificados debido a la amplia gama de sustancias actualmente utilizadas. La regulación se ajustó para estar en línea con los avances científicos y técnicos actuales (Huber, 2004). Esto permite la autorización de

ingredientes activos clasificados como de bajo riesgo durante un período de hasta 15 años. Además, el proceso de registro de estas sustancias puede durar aproximadamente 120 días, menos de 12 meses, lo cual puede retrasar el registro de un producto cuyo ingrediente activo se clasifique como de alto riesgo (Huber, 2004).

Los ingredientes utilizados actualmente en la creación de bioplaguicidas incluyen los siguientes extractos de diferentes tipos de plantas, microorganismos como bacterias, mohos, levaduras o virus; nematodos y feromonas. Estas sustancias se clasifican como de alto o bajo riesgo según los criterios enumerados en el Anexo II del Reglamento 1107/2009.

La Directiva 91/414/CEE del Consejo, de 15 de julio de 1991, sobre el comercio de productos contra plagas (fitosanitarios) cambió la legislación europea sobre la autorización de dichos productos. La Directiva 91/414/CEE del Consejo, emitida el 15 de julio de 1991, cambió la legislación europea en relación con la autorización de dichos productos. Con la implementación de esta Directiva, se estableció una lista exclusiva y favorable de sustancias activas que podrían ser utilizadas en productos fitosanitarios autorizados y comercializados por la Unión Europea y sus Estados Miembros. Además, la armonización de los requisitos de datos y la adopción de principios uniformes de evaluación y toma de decisiones han llevado a todos los Estados Miembros a aplicar los mismos criterios para evaluar y autorizar productos fitosanitarios. El Reglamento (CE) N° 1107/2009 sustituyó a la Directiva 91/414/CEE, estableciendo un marco normativo actualizado y consolidado para su uso comercial de dichos productos en la Unión Europea.

Los efectos secundarios ambientales de los sistemas modernos de producción agrícola intensivos, como son la labranza convencional y los insumos químicos, pueden aumentar el costo de la agricultura. Por lo tanto, con el objetivo de reducir la huella ambiental y mantener la productividad agrícola, se han realizado esfuerzos significativos para promover la intensificación sostenible en los ámbitos agrícolas contemporáneos (Garnett et al., 2013).

En el marco del Acuerdo Verde de la Unión Europea (UE), la Comisión Europea (CE) presentó sus Estrategias de la Granja a la Mesa y de Biodiversidad, publicadas en mayo de 2020 (Comisión Europea, 2020). Para apoyar la sostenibilidad en la agricultura, las estrategias adquieren un objetivo estratégico muy amplio en cuatro áreas de mejora:

1. Producción de alimentos sostenibles.
2. Consumo de alimentos sostenibles.
3. El procesamiento y distribución de alimentos de manera sostenible.

4. Evita el desperdicio y pérdida de alimentos.

Con el establecimiento de objetivos políticos para 2030, estas estrategias se centran en la gestión del medio ambiente por parte del ámbito agrícola de la Unión Europea, así como la garantía en el ámbito alimentario y los resultados para la salud. Por último, la propuesta de las estrategias representa un cambio significativo en la industria alimentaria y agrícola de la Unión Europea y, por tanto, es objeto de un amplio debate (Schebesta y Candel, 2020).

3. JUSTIFICACIÓN

Uno de los componentes esenciales de la cadena productiva es el Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE). El objetivo del MIPE es que los cultivos permanezcan en **niveles aceptables de economía a causa de daños por enfermedad y plagas que pueden surgir durante su evolución**. Esto se realiza con el propósito principal de reducir los riesgos asociados con la existencia de estas enfermedades y plagas, tanto en términos de salud humana como de costos de producción y potencial de rendimiento de los cultivos (Larrea Izurita, Falconí Borja, Arcos Andrade, 2015).

El MIPE combina diferentes métodos para controlar enfermedades y plagas. Estos métodos incluyen el control cultural, mecánico, químico y biológico. En particular, el enfoque biológico ha ganado mayor importancia en las tendencias biotecnológicas actuales. Esto implica la utilización de estrategias que implican la eliminación de plagas mediante agentes depredadores y el aprovechamiento de insumos derivados de extractos de plantas y microorganismos beneficiosos y no perjudiciales (Larrea Izurieta, Falconi Borja, Arcos Andrade, 2015)

Por lo que la finalidad de este trabajo es analizar como los diferentes biopesticidas pueden tener efectos beneficiosos en la agricultura convencional sin dañar los cultivos y obtener las ventajas de biopesticidas con el objetivo de promocionar dichas ventajas y así eliminar los pesticidas químicos que causan daños en el cultivo y en el ser humano.



4. OBJETIVOS

4.1 *Objetivo general*

Exponer una revisión bibliográfica sobre el uso de biopesticidas en la agricultura moderna en los últimos 10 años.

4.2 *Objetivos específicos*

- Demostrar las ventajas de *Bacillus thuringiensis* (bt) como potencial agente de biocontrol para la agricultura sostenible y su modo de acción.
- Resumir las ventajas del uso de feromonas sexuales en agricultura convencional.

5. METODOLOGÍA

En este estudio, se ha efectuado una exhaustiva revisión bibliográfica sistemática que abarca estudios científicos, revistas científicas y documentos de sociedades científicas. Estos recursos proporcionan información detallada sobre las ventajas del uso de *Bacillus thuringiensis* (Bt) y feromonas sexuales en el contexto de la agricultura convencional.

Con el fin de obtener información relevante, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas reconocidas, como Scielo, PubMed y Google Scholar. Se utilizaron palabras clave específicas, como "agricultura", "sostenible", "Bacillus thuringiensis (Bt)", "feromonas sexuales" y "ventajas", para identificar los artículos de interés relacionados con el tema.

Se examinaron más de 22 artículos, revistas y estudios que se llevaron a cabo durante los meses de marzo y abril. De todas las fuentes encontradas, se seleccionaron únicamente aquellos artículos, capítulos de revistas y estudios que abordaban las ventajas del uso de *Bacillus thuringiensis* (Bt) y feromonas sexuales en la agricultura convencional.

En cambio, se descartaron aquellos artículos y estudios en los cuales no contenían ningún contenido que no se centrara en ventajas en la agricultura sostenible. A continuación, sólo se consideró aquellos artículos y capítulos de revistas que presentaban las ventajas buscadas para el objetivo.

También se han excluido aquellos capítulo o artículos en los cuales no incluyen las ventajas

del uso de *Bacillus thuringiensis* (Bt), y/o uso de feromonas sexuales en agricultura convencional.

Tabla 1.- Resumen de los criterios de inclusión llevados a cabo para la selección de artículos. Fuente: Elaboración propia.

1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN
1) Idioma español o inglés.
2) Ventajas sobre uso de <i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt), y uso de feromonas sexuales en agricultura convencional.
3) Gratuito y texto completo.
4) Artículo o revista científica
5) Publicado desde 2008 hacia 2022.

Como se observa en la tabla adjunta en la figura (tabla 1), en una primera búsqueda, se pudieron encontrar 1253 artículos, de los cuales, 1035 fueron descartados ya que no cumplían los criterios descritos anteriormente, recuperando así 218 artículos, en los cuales se realizaron una revisión de título y resumen. Una vez descartado los artículos y capítulos de revistas que no se consideraban destacadas, se descartaron 192 artículos y quedando, por tanto, 22 artículos en los cuales se realizó una revisión de texto completo para así obtener información necesaria, para recalcar las ventajas de uso de *Bacillus thuringiensis* (Bt) y uso de feromonas sexuales en agricultura convencional.

Después de revisar detenidamente los 22 artículos, se eligieron los 12 más relevantes para llevar a cabo este trabajo de Fin de Grado.



Figura 1. Diagrama de flujo de búsquedas y selecciones de artículos. Fuente: elaboración propia.

En cada uno de los artículos y capítulos de revistas científicas, se tuvieron en cuenta las

conclusiones con el fin de elaborar el trabajo realizado a partir de la recopilación de información obtenida. De esta manera, se pudo abordar los objetivos previamente establecidos de manera adecuada.

6. RESULTADOS

6.1 *Bacillus Thuringiensis*

En la agricultura convencional, existen muchos productos biológicos que están disponibles. Estos productos son producidos por una gran variedad de microorganismos, incluyendo virus, bacterias, hongos, protozoos y nematodos. También hay enemigos naturales de plagas que son utilizados en la agricultura. Según Frank (2009), se ha demostrado que estos productos son efectivos para el control de insectos dañinos en la agricultura. Entre todos ellos, cabe destacar a la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt). Durante las últimas seis décadas, esta bacteria ha sido ampliamente utilizada en el control contra plagas, demostrando su eficiencia y convicción tanto para el medio como para humanos (Peralta y Palma, 2017). Esta bacteria se caracteriza por ser gram positiva, aeróbica y con capacidad de esporular, que puede producir inclusiones cristalinas cerca de la espora durante la fase de esporulación. Estos cristales son tóxicos para los insectos que causan plagas y vectores que causan enfermedades (Palma et al., 2014).

A pesar del aumento de inclinación en el potencial insecticida de las formulaciones de *Bt* no obtuvieron las perspectivas esperadas en su producción y por tanto en la comercialización debido a dos razones principales. En primer lugar, se debió a la amplia aceptación de insecticidas sintéticos desde su aparición. En segundo lugar, la detonación de la Segunda Guerra Mundial también tuvo un impacto significativo en su desarrollo (Sanchis, 2011).

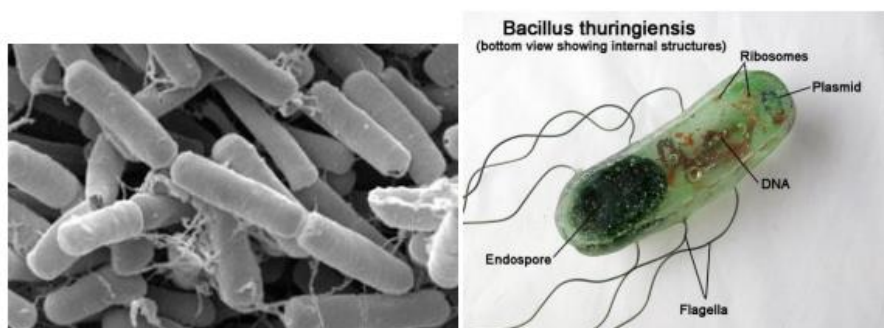


Figura 2.- Morfología microscópica de *Bacillus thuringiensis* (Kumar, 1996).

Durante la fase de esporulación, *Bacillus thuringiensis* (Bt) produce cristales parasporales

que contienen tanto proteínas Cry como proteínas Cyt, también conocidas como δ -endotoxinas (Vanesa Areco, 2019). Estas δ -endotoxinas, que comprenden más de 700 variantes, han demostrado ser tóxicas para nematodos e una amplia variedad de insectos (van Frankenhuyzen, 2009; van Frankenhuyzen, 2013). Además, durante la fase de crecimiento, *Bt* produce y secreta proteínas Vip (vegetative insecticidal protein) en el medio de cultivo. Estas proteínas exhiben propiedades insecticidas contra lepidópteros y coleópteros (Chakroun et al., 2016).

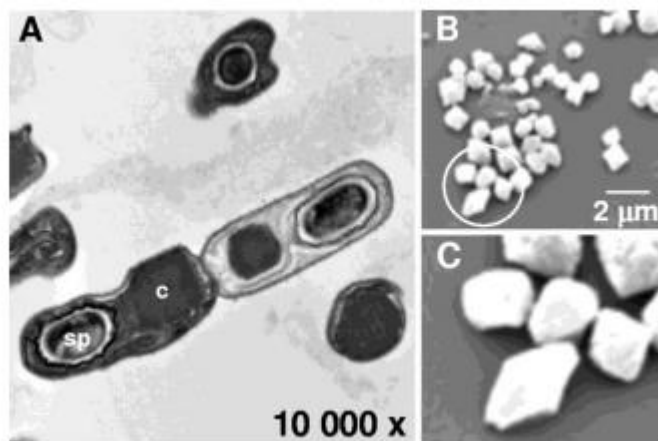


Figura 3.- a) Formación de esporas, b) y c) proteínas Cry purificadas de *Bacillus thuringiensis* (Naukas, 2014).

Las toxinas Cry, que han sido ampliamente estudiadas y se caracterizan por poseer tres secuencias aminoácidas utilizables que conforman dominios amino terminal, central y carboxilo terminal (Morse et al., 2001). El primero está involucrado en la formación del poro, mientras que el segundo está involucrado en las interacciones entre la toxina y su receptor. Por otro lado, el tercero se une al receptor en conjunto con los anteriores dominios para formar el poro (Palma et al., 2014).

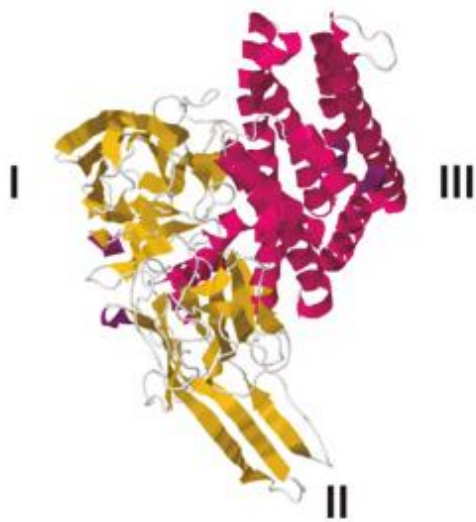


Figura 4.-Estructura en 3D de la toxina Bt (Morse et al., 2001). Los números romanos refleja los tres dominios para formar el poro.

El modo del cual actúan las proteínas Cry se describe sobre todo en lepidópteros donde los cristales se ingieren y luego se solubilizan en el intestino medio del insecto. Después de la liberación de proteínas cristalinas en forma de prototoxinas, las proteasas intestinales las procesan produciendo toxinas activas que dará muerte a la larva del insecto (“Control de plagas con *Bacillus thuringiensis*”, 2013)

Contiene dos formas de acción diferentes para las toxinas Cyt: una acción de tipo detergente sobre la membrana y otra sobre la acción para formar el poro en la membrana celular. (Soberón et al., 2013).

Desde que la primera proteína Cry fue descubierta se han expuesto 700 variantes o más que se dividen en 78 subfamilias y de proteínas Cyt unas 38 que se dividen en 3 (Cyt1, Cyt2 y Cyt3) (Crickmore et al., 2019). El Comité de Nomenclatura de Toxinas Bt ha establecido un sistema de clasificación basado en el porcentaje de la secuencia aminoácida de cada una de ellas (Crickmore et al., 1998). Según este sistema, las proteínas insecticidas que presentan menos del 50% de homología en su secuencia aminoácida se clasifican en el rango primario, aquellas con menos del 80% en el rango secundario, y las que tienen menos del 90% en el rango terciario (Palma et al., 2014). El cuarto puesto se produce cuando las proteínas tienen un porcentaje superior al 95% (Chackraborty et al., 2016).

Bt tiene la capacidad de producir cristales parasporales de naturaleza proteica durante la esporulación. Las proteínas Cry se clasifican según sus propiedades insecticidas, lo que significa que son tóxicos para los insectos: Tipo I en lepidópteros, tipo II para lepidópteros y dípteros, tipo III para los coleópteros y tipo IV sólo dípteros (Crickmore et al., 2020). Al

liberarse en la fase de crecimiento, estas proteínas se asocian con otros factores de virulencia, lo que provoca dicha toxicidad en varios invertebrados, exclusivamente en larva de insectos. (Pérez, 2016).



Figura 5.- (Crickmore et al., 1998) estableció un sistema de nomenclatura y clasificación de toxinas *Bt*. En el siguiente esquema, se resalta en color rojo el rango que varía y en color verde el que se mantiene.

Muchos genes *cry* se han utilizado en plantas de maíz, algodón y arroz, lo que les brinda resistencia hacia plagas de insectos (Sabahuja et al., 2011).

Se busca un nivel comercial para reducir la duración de la fermentación de *Bt* sin comprometer la producción de δ -endotoxinas se vea comprometida. Las δ -endotoxinas de *Bt* dependen principalmente del suministro de oxígeno (Mounsef et al., 2015)

Las ventajas de usar estas bacterias son que no dañan al cultivo, no contaminan si se usan correctamente y que las altas temperaturas no disminuyen su actividad (Grijalba et al, 2018). *Bt* es la bacteria entomopatógena más ampliamente utilizada como biopesticida en la agricultura comercial, la protección de especies vegetales y la lucha contra dípteros que transmiten enfermedades humanas como malaria, dengue hemorrágico, fiebre amarilla y filariasis. Se utiliza solamente o conjuntamente con pesticidas químicos (Mateus & Hernández, 2010).

En Francia, se introdujeron por primera vez los bioinsecticidas a base de *Bt* en 1938, pero tuvieron una **recepción** limitada. Sin embargo, a partir de la década de 1950, estos productos experimentaron un notable crecimiento en el mercado gracias a la creación de nuevas técnicas de cultivo de bacterias para producirlos a escala industrial. Inicialmente, la cepa *B.thuringiensis* var *kustaki*, la cual fue la que primero se aisló para el control de plagas, y fue la que se comercializó con más abundancia al ser eficaz en el control de insectos en muchos cultivos diferentes. Posteriormente, tras ser descubierta *B. thuringiensis* var *israelensis* a finales de los años 70. En la actualidad, *Bt* representa el 50% del mercado de bioinsecticidas y es la bacteria más utilizada en programas de control biológico en la agricultura (Elsayed, Othman et al. 2014; Amichot, Curty et al., 2015).

Los productos insecticidas a base de *Bt* se emplean en forma de aerosoles (George and Crickmore, 2012).

Algunos genes *cry* se han agregado maíz y algodón, lo que ha reducido el uso de insecticidas

químicos y ha mejorado la productividad del cultivo (Chen et al., 2014).

Además, la expresión de *Bt*-endotoxinas en plantas ha sido particularmente beneficiosa para combatir plagas que arremeten áreas del vegetal que normalmente están expuestas por insecticidas tradicionales (Khan, 2016). Unos de los lepidópteros que perforan los tallos vegetales de los cultivos destruyen su estructura, lo que permite que la plaga no se propague a través de un insecticida que se aplica en el área superficial de la planta (Paul et al, 2016).

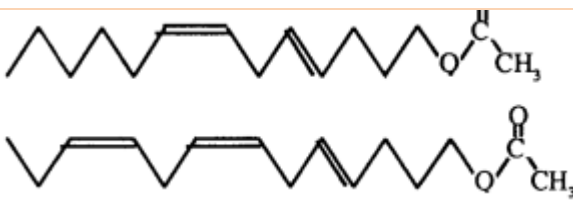
6.2 Feromonas

Peter Karlson y Martin Luscher inventaron el término “feromonas” en 1959. Las feromonas son secreciones de las glándulas exocrinas de los insectos que provocan reacciones específicas en los individuos perceptores de la misma especie, como la atracción sexual y el comportamiento de apareamiento, alarma, agregación, marcación de senderos o cambios específicos en el desarrollo fisiológico, como la maduración o determinación sexual. (Karlson y Butenandt, 1959) ;(Krupke et al. 2022).

La producción de feromonas en pequeñas cantidades pequeñas resulta extremadamente costosa. Por lo tanto, el uso de feromonas sigue siendo difícil, aunque se espera que los precios disminuyan cuando se lleve a cabo en grandes cantidades. (Witzgall et al., 2010). Las feromonas son también limitadas por ser especies específicas, lo que significa que solo pueden controlar una especie en particular. En ciertas circunstancias, es necesario desarrollar estrategias a nivel de poblaciones locales debido a la variabilidad que existe a nivel de especie (Unbehend, Hanniger, 2013; Velásquez-Vélez et al., 2011).

Tabla 3.- Feromonas sexuales comercialmente accesibles (E. Chire & Richard P, 1990). Fuente: Elaboración propia.

ESPECIE	COMPUESTO	ESTRUCTURA
Mosca común (<i>Musca doméstica</i>)	(Z)-9-tricoseno	$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{12}-\text{C}(\text{H})=\text{C}(\text{H})-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$
Polilla de la manzana (<i>Lasproyesia pomonella</i>)	(E, E)-8, 10-dodecadienol	
Oruga de la naranja (<i>Amyelois</i>)	(Z,Z)-11, 13-hexadecadienal	

transitella		
Oruga de la col (<i>Trichoplusia ni</i>)	(Z)-7-dodecenilacetato	2- 
Polilla de la papa (<i>Phthorimaea operculella</i>)	(E, Z)-4, 7-tridecadienilacetato y (E,Z,Z)-4, 7, 10-tridecatrienil-acetato (1:1,5)	3- 

En la ecología química de los insectos, las feromonas son los semioquímicos más estudiados. Mas de 3.000 especies de insectos contienen miles de compuestos conocidos como feromonas, o parte de una feromona (El-Sayed, 2014). Algunas pueden componerse con solo un compuesto químico, muchas de ellas son mezclas de más de un compuesto en proporciones exhaustas, y en muchas ocasiones, esta mezcla se conoce como “feromona” (Borrero-Echeverry, 2016).

Al estudio de las feromonas sexuales de las polillas se ha hecho más incapié, ya que desencadenan un vuelo muy peculiar en los machos y así localizan a las hembras de su misma especie. Además, se ha observado que las feromonas de las hembras también funcionan como atrayentes, y existen pruebas de que las feromonas emitidas por los machos pueden desempeñar la misma función en ciertas especies (Jacobson, 2012). Las feromonas sexuales y loos compuestos producidos por ambos sexos de la misma especie son diferentes y tienen objetivos distintos, actuando como señales intraespecíficas e intragénero (Vosshall, 2008). Por otro lado, las de agregación son comunes en especies de *Coleoptera*, *Blattodea* y *Hemiptera*, ya que atraen a ambos sexos para fines de supervivencia. Han sido objeto de estudio principalmente en Coleópteros debido a su relevancia económica (Bell Parsons & Martinko, 1972; Gries et al., 2015; Symond & Gitau-Clarke, 2016).

Se pueden clasificars en feromonas de contacto, que requieren contacto directo o proximidad para tener un efecto, y feromonas volátiles, que pueden actuar a largas distancias. Las feromonas volátiles son utilizadas en los métodos de control de plagas, por lo tanto, este grupo se centra en la percepción de estos compuestos (Felipe Borrero et al., 2019).

Los insectos usan principalmente sus antenas para percibir compuestos volátiles, aunque también contienen receptores de volátiles. La parte más hacia el exterior de las antenas esta cobijada por sensilias. Existen tres sensilias llamadas basicónicas, celocónicas y auricílicas son las responsables de detectar volátiles ambientales como hospederos o alimentos

mientras que las sensilias tricoideas son las responsables de las feromonas (Binyameen et al., 2012).

La comunicación química a través de feromonas es esencial para la biología reproductiva de los lepidópteros. Los adultos emiten feromonas sexuales, con el fin de atraer individuos del sexo opuesto con finalidad reproductiva. La particularidad de una feromona como especie-específica depende de su estructura y estereoquímica y proporciones relativas en la mezcla, lo que hace única para cada especie (Sellanes, 2011).

Las feromonas sexuales presentan características notables, ya que son específicas de cada especie, biológicamente activas en cantidades muy pequeñas, volátiles e inofensivas, lo que significa que no son perjudiciales para el medio ambiente y tampoco para la salud humana (Witzgall et al., 2010; Heguaburu et al., 2019; Guerrero et al., 2020).

A partir de los años 1960, se comenzó a estudiar la comunicación química de insectos considerados plagas en la agricultura y silvicultura con el propósito del desarrollo de estrategias de manejo que fueran alternativas al uso de insecticidas y que resultaran menos dañinas para el cultivo y el ser humano (Witzgall et al., 2010, González et al., 2012).

Las feromonas sexuales de los lepidópteros son muy beneficiosas para los cultivos, concretamente en los programas de manejo integrado (MIP), ya que se utilizan para detectar y monitorear la población de plagas, así como para controlar mediante una variación estratégica tales como la confusión sexual, trampeo a alta escala, atrayentes y repelentes (González et al., 2012, Guerrero et al., 2020).

6.2.1 Detección y monitoreo

A nivel mundial, el método más común y triunfante para el uso de feromonas sexuales ha sido el método de detección y monitoreo (Witzgall et al., 2010). Mediante la captura del sexo masculino en trampas formadas que contienen feromonas superficiales del sexo femenino permiten identificar la existencia de un específico espécimen y establecer su variación poblacional a lo largo instancia (Figura 6) (Núñez y Scatoni, 2013). El método de monitoreo de la población establece enlazar la captura de insectos machos en trampa que abunda la plaga, lo que puede usarse como técnica de predicción. Esto ha permitido el uso de capturas predefinidos para determinar los momentos más adecuados y así implementar pautas de control (Heguaburu et al., 2019). Además, el método de monitoreo es utilizado también para la eficacia de los controles implementados.



Figura 6.-. El método de seguimiento de lepidópteros mediante el uso de trampas tipo delta triangular es ampliamente utilizado. En el centro de esta trampa se encuentra la feromona del objetivo(izquierda), mientras que en la base se encuentra una superficie que quedan atrapados los machos que se han capturado (derecha) (Valentina Martínez, 2021).

6.2.3 Técnica de confusión sexual

La estrategia de saturar un cultivo con una alta concentración de feromonas sexuales de una especie durante un período prolongado puede que interrumpen la comunicación entre machos y hembras. Los insectos dependen de feromonas sexuales volátiles para encontrar pareja (Witzgall et al., 2010). Este método se denomina técnica de confusión sexual o interrupción de apareamiento(Heguaburu et al., 2019).

Los lepidópteros, que son principalmente polillas y otras plagas que se comunican químicamente a grandes distancias, se pueden controlar con éxito mediante esta estrategia de manejo de plagas (Miller et al., 2006). Como resultado de los efectos combinados de esta técnica, esta capacidad reproductiva del insecto objetivo disminuye como resultado de la combinación de estos efectos, lo que reduce la población de la próxima generación (González et al., 2012).

Actualmente, hay una existencia de una industria rentable de feromonas en desarrollo en los cuales han sido creados productos para confusión sexual para una gran cantidad de especies de insectos y son utilizados utilizan en gran cantidad de cultivos en todo el mundo (Miller y Gut, 2015).

La tecnología relacionada con la creación y el desarrollo de los emisores de feromonas ha sido crucial para el desarrollo de esta técnica desde la última modificación de síntesis de

feromonas en el ámbito industrializado de finales de los años 80, lo que resultó el uso comercial de la confusión sexual (Witzgall et al., 2010; Haguaburu et al., 2019). Los emisores de feromona son muy variados, pero los más usados son los utilizados manualmente. Los emisores de alambre son los más comunes (Haguaburu et al., 2019).

La confusión sexual funciona mejor cuando se aplica en áreas extensas, que se conocen como “manejo de plagas en áreas extensas” (Zoppolo et al., 2016). Se llama así porque en grandes áreas se reduce el efecto de que las hembras hacia la superficie o tramo que haya sido tratado y así se reduce la repercusión en los bordes y facilita que la hormona circule, lo que limita la existencia del compuesto activo (Witzgall et al., 2010).

7. DISCUSIÓN

El fin de este estudio se buscaban las ventajas de uso de biopesticidas en la agricultura convencional, en concreto el uso de *Bt* y feromonas sexuales como biopesticidas frente a los pesticidas químicos. Para ello se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de diferentes artículos en los cuales se han demostrado el uso de *Bt* y su modo de acción como bioinsecticidas contra plagas insecto sobre cultivos y el uso de feromonas sexuales como biopesticida con las técnicas de detección y monitoreo y/o técnica de confusión sexual. Por ello, podría interpretarse estos, como una opción efectiva para la sustitución de pesticidas químicos en los cultivos y un avance en el uso de biopesticidas en la agricultura.

Las ventajas de *Bacillus thuringiensis* como biopesticida en la agricultura convencional promueve la utilización de esta bacteria con su modo de acción a contrarrestar muchos insectos plagas en cultivos como el maíz, el algodón etc. Dado que la producción de distintos tipos de plantas transgénicas que expresan los genes Cry estudiados en *Bt* tienen grandes beneficios ya que persisten en el tejido de la planta y la producción de toxinas expresadas por éstas es constante, esto da como resultado una reducción en el uso de pesticidas químicos, menores costos para la industria agrícola y una producción sostenible

Las ventajas del uso de feromonas en los cultivos promueven la utilización de técnicas como detección y monitoreo o la técnica de confusión sexual para la erradicación de insectos plagas como lepidópteros en cultivos y así no causar daños en los cultivos con el uso de pesticidas

químicos. Cabe destacar que con los avances en los últimos años necesitan el aporte de investigación científica para poder promover más esta técnica y así reducir lo mínimo posible los pesticidas químicos y promover el uso de biopesticidas en la agricultura. El uso de feromonas no solo disminuye las pérdidas entre 5 y 50% sino, que también tiene un gran valor para proteger del medio ambiente, reduce el uso de agroquímicos y permite el comercio de éstos (Bento et al., 2016).

8. CONCLUSIÓN

La revisión bibliográfica presentado en este trabajo sobre *Bt* y feromonas tienen grandes ventajas para erradicar plagas en cultivos agrícolas convencionales. Éstos han demostrado tener un bajo impacto ambiental y no dañan ni al medio ambiente y en consecuencia no tienen un impacto negativo sobre nosotros a expensas de la red alimentaria.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto con anterioridad, queda claramente reflejada la necesidad de invertir en investigaciones que sigan estas líneas de acción con el objetivo de reducir el uso de pesticidas químicos.

Las ventajas de los bioinsecticidas que se han presentado en este trabajo son una alternativa viable que pueden ser usados para el control de plagas biológicas en los cultivos principales de agricultura convencional. Su uso mantiene el rendimiento del campo sin perjudicarlo y sin poner en riesgo a la población que entra directamente o indirectamente en contacto con estos insumos.

Aunque el progreso en la investigación y el uso de agentes de control biológico todavía no está suficientemente desarrollado, la aplicación de estos productos está empezando a tener un papel muy importante en la agricultura del futuro. Y a pesar de que su efectividad no alcance el 100%, su aplicación junto con métodos alternativos a pesticidas químicos, podría obtener resultados satisfactorios sin perjudicar al medio ambiente y al ser humano.

Por otro lado, se ha podido demostrar que el uso correctamente de estos productos favorece la práctica de una agricultura sustentable con menos empleo de insecticidas químicos.

9. AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar por escrito mi gratitud a Julia Manetsberger, mi tutora de Trabajo Fin de Grado, por su confianza y apoyo en la dirección de este proyecto.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Alabouvette C., Olivain C., and Steinberg C. 2006. Biological control of plant diseases: the European situation. *European Journal of Plant pathology* 114: 329-341.
2. Amichot, M., C. Curty, et al. (2015). "Side effects of *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki* on the hymenopterus parasitic wasp *Trichogramma chilonis*" *Environmental Science and Pollution Research*: 1-7.
3. Bell, W. J., Parsons, C., & Martinko, E. A. (1972). Cockroach aggregation pheromones: Analysis of aggregation tendency and species specificity (Orthoptera: Blattidae). *Journal of Kansas Entomological Society*, 45(4), 414-421.
4. Binyameen, M., Anderson, P., Ignell, R., Seada, M. A., Hansson, B. S., & Schlyter, F. (2012). Spatial organization of antennal olfactory sensory neurons in the female *Spodoptera littoralis* moth: Differences in sensitivity and temporal characteristics. *Chemical Senses*, 37(7), 613- 629.
5. Birkett M.A., and Pickett J.A. 2003. Aphid sex pheromones: from discovery to commercial production. *Phytochemistry* 62: 651-656.
6. Borrero-Echeverry, F. (2016). Social and Environmental Olfactory Signals Mediate Insect Behavioral Ecology and Evolution. Lomma, Suecia: Department of Plant Protection Biology & Swedish University of Agricultural Sciences.
7. Brodesser J., Byron D.H., Cannavan A., Ferris I.G., Gross-Helmert K., Hendrichs J., Maestroni B.M., Unsworth J., Vaagt G., and Zapata F. 2006. Pesticides in developing countries and the International Code of Conduct on the distribution and the use of pesticides. Austrian Agency for Health and Food Safety (AGES). Meeting on Risks and Benefits of Pesticides, March 30, Vienna, Austria. 6 pp
8. Chakroun M, Banyuls N, Bel Y, Escriche B y Ferré J. 2016. Bacterial Vegetative Insecticidal Proteins (Vip) from Entomopathogenic Bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 80: 329-350.
9. Chakroun M, Banyuls N, Bel Y, Escriche B y Ferré J. 2016. Bacterial Vegetative Insecticidal Proteins (Vip) from Entomopathogenic Bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 80: 329-350.
10. Cook R.J. 2000. Advances in plant health management in the twentieth century. *Annu. Rev. Phytopathol.* 38: 95-116.
11. Crickmore N, Zeigler DR, Feitelson J, Schnepf E, Van Rie J, Lereclus D, Baum J y Dean DH. 1998. Revision of the Nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* Pesticidal Crystal Proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 62: 807-813.
12. Crickmore N, Zeigler DR, Schnepf E, Van Rie J, Lereclus D, Baum J, Bravo A y Dean DH. *Bacillus thuringiensis* toxin nomenclature. www.lifesci.sussex.ac.uk/Home/Neil_Crickmore/Bt/ (Acc. 2019).
13. Czaja, K., Góralczyk, K., Struciński, P., Hernik, A., Korcz, W., inorczyk, M., ... Ludwicki, J. K. (2015). Biopesticides –towards increased consumer safety in the European Union. *Pest Management Science*, 71(1), 3-6. doi: 10.1002/ps.3829.

14. Dar SA, Nisar AD, Mudasir AB et al. Prospects, utilization and challenges of botanical pesticides in sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Biology & Biochemistry* 2014; 1: 1-14.
15. Dar SA, Padder SA. Toxins and targets of insecticidal genes of entomopathogenic bacteria: a review. *Journal of Pure and Applied Microbiology* 2016; 10(2): 1089-99.
16. Dayan F.E., Cantrell C.L., and Duke S.O. 2009. Natural products in crop protection. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* 17: 4022-4034.
17. Dent D (2000) *Insect pest management*. CABI Publishing, Wallingford
18. Directiva 91/414/CEE del Consejo, de 15 de julio de 1991, relativa a la comercialización de productos fitosanitarios. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A31991L041>
19. Duke S.O., Cantrell C.L., Meepagala K.M., Wedge D.E., Tabanca N., and Schrader K.K. 2010. Natural Toxins for Use in Pest Management. *Toxins* 2: 1943-1962.
20. Ehlers R. 2007. Perspectives for Safer Plant Protection. In: REBECA: Balanced Regulation for Biological Plant Protection Products. 20-21 septiembre, 2007. Bruselas, Dinamarca
21. El-Sayed, A. (2014). The Pherobase: Database of pheromones and semiochemicals. Recuperado de <http://www.pherobase.com/about>.
22. Elsayed, E.A., N. Z. Othman, et al. (2014). "Bioprocess development for high cell mass and endospore production by *Bacillus thuringiensis* var *israelensis* in semi-industrial scale." *Journal of Pure and Applied Microbiology* 8 (4): 2773-2783.
23. Frank JH. 2009. *Control of Pests and Weeds by Natural Enemies. An Introduction to Biological Control*. Wiley- Blackwell.
24. Fravel D.R. 2005. Commercialization and implementation of biocontrol. *Annu. Rev. Phytopathol.* 43: 337-359.
25. García Herruzo, F., Cordero Alcántara, T., Rodríguez Jiménez, J. (1986), *Ing. Qulmica*, año XVIII (206), 147-154.
26. Glare T, Jurat-Fuentes JL y O'Callaghan M. 2017. Basic and Applied Research: Entomopathogenic Bacteria. In: *Microbial Control of Insect and Mite Pests. From Theory to Practice*. Academic Press.
27. González A, Altesor P, Sellanes C, Rossini C. 2012. Aplicación de feromonas sexuales en el manejo de lepidópteros plaga de cultivos agrícolas. *Temas selectos en Ecología Química de Insectos*. México. El Colegio de la Frontera Sur. 343-360.
28. Gries, R., Britton, R., Holmes, M., Zhai, H., Draper, J., & Gries, G. (2015). Bed bug aggregation pheromone finally identified. *Angewandte Chemie*, 54(4), 1151-1154.
29. Guerrero A, Lopez S, Álvarez Calero J, Quero C. 2020. Feromonas de insectos: técnicas para su aislamiento y caracterización. *Sociedad Española de Entomología Aplicada. Boletín N° 5*, 17-26.
30. H. Schebesta, J. JL Candel (2020), Revolutionary potential of the EU's farm-to-fork strategy 1: 586-588.
31. Huguaburu V, Rasquin K, Martínez V, González A and Scatoni IB, Producción y evaluación de feromonas sexuales para el control de tortricidos nativos (Lepidoptera: Tortricidae) en frutales de pepita. *Serie INIA-FPTA*, Uruguay, 42 p (2019)
32. Henn T, Weinzierl R (1989) Botanical insecticides and insecticidal soaps. *Circular* 1296:1-18

33. Huber, L. (s. f.). Biopesticides and the EU regulatory process. Recuperado de <http://www.sccgmbh.de/images/documents/Agrow-Biopesticides-2016-SCC-Scientific.pdf>.
34. Ignacimuthu S (2012) Insect pest control: using plant resources. Alpha Science International, Oxford
35. Isman M.B. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annu. Rev. Entomol. :51:45-66.
36. Jacobson, M. (2012). Insect sex pheromones. Nueva York, EE.UU.: Elsevier.
37. Kaewchait S., Soyong K., and Hyde K.D. 2009. Mycofungicides and fungal biofertilizers. Fungal Diversity 38: 25-50.
38. Kundoo AA, Dar SA, Mushtaq M, et al. Role of neonicotinoids in insect pest management: A review. Journal of Entomology and Zoology Studies 2018; 6(1): 333-9.
39. Lapointe R., Thumbi D., and Lucaroti C.J. 2012. Recent advances in our knowledge of baculovirus molecular biology and its relevance for the registration of baculovirus-based products for insect pest population control. In: Integrated Pest Management and Pest Control-Current and Future Tactics (S. Soloneski, ed.), <http://www.intechopen.com>. pp. 481-522.
40. Larrea Izurita, Falconí Borja, Arcos Andrade, (2015). Isolation and characterization of strains of *Bacillus* spp. With activity against *Tetranychus urticae* Koch in commercial crops of roses.
41. Magkos F., Arvaniti F. & Zampelas A. 2006. Organic Food: Buying More Safety or Just Peace of Mind? A Critical Review of the Literature. Critical reviews in food science and nutrition 46: 23-56.
42. Mahdi SS, Hassan GI, Samoon SA et al. Bio-Fertilizers in Organic griculture. Journal of Phytology 2010; 2(10): 42-54.
43. Mazid S., Kalita J.C, and Rajkhowa R.S. 2011. A review on the use of biopesticides in insect pest management. International Journal of Science and Advanced Technology 1: 169-178.
44. McKinlay R, Dassyne J, Djamgoz M, Plant JA, Voulvoulis N (2012) Agricultural pesticides and chemical fertilisers. In: Plant JA, Voulvoulis N, Ragnarsdottir KV (eds) Pollutants, human health and the environment: a risk based approach, 1st edn. Wiley, West Sussex, pp 181–206
45. Miller JR and Gut LJ, Mating disruption for the 21st century: matching technology with mechanism. Environ Entomol 44:427-443 (2015)
46. Miller JR, Gut LJ, de Lamé FM, Stelinski LL. 2006. Differentiation of competitive vs. noncompetitive mechanisms mediating disruption of moth sexual communication by point sources of sex pheromone: (Part 1) Theory. Journal of Chemical Ecology, 32, 2089-2114.
47. Mir SH, Dar SA, Mir GM et al. Biology of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) on cucumber. Florida Entomologist 2014; 97(2): 753-8.
48. Morse RJ, Yamamoto T y Stroud RM. 2001 Structure of Cry2Aa suggests an unexpected receptor binding epitope. Structure 9: 409-417.
49. Naukas. (2014). *Entrega de toxinas a domicilio*. Recuperado de: [Entrega de toxinas a domicilio - Naukas](#)

50. Núñez S and Scatoni I, Tecnología disponible para el manejo de plagas en frutales de hoja caduca. Montevideo, INIA 150p (2013). ISSN/ISBN: 16889266 (disponible en www.inia.org.uy). [accessed 14 May 2019]
51. OECD. 2009 Series on pesticides N° 448. Report of Workshop on the Regulation of Biopesticides: Registration and Communication Issues.
52. Oerke E.C. 2006. Crop losses to pest. Journal of Agricultural Science 144: 31-43.
53. P. Witzgall, P. Kirsch, A. Cork. 2010. Sex pheromones and their Impact on Pest Management. Journal Of Chemical Ecology 26: 80-100.
54. Palma L, Muñoz D, Berry C, Murillo J y Caballero P. 2014. Bacillus thuringiensis toxins: an overview of their biocidal activity. Toxins 6: 3296-3325.
55. Paulitz T.C., and Belanger R.R. 2001. Biological control in greenhouse systems. Annu. Rev. Phytopathol. 39:103-133.
56. Peralta C y Palma L. 2017. Is the insect world overcoming the efficacy of Bacillus thuringiensis? Toxins 9: 1-5.
57. Reglamento (CE) n° 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, relativo a la comercialización de productos fitosanitarios y por el que se derogan las Directivas 79/117/CEE y 91/414/CEE del Consejo. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2009-82202>
58. Reglamento (UE) N° 283/2013 de la Comisión de 1 de marzo de 2013 que establece los requisitos sobre datos aplicables a las sustancias activas, de conformidad con el Reglamento (CE) n° 1107/2009) del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la comercialización de productos fitosanitarios. Recuperado de: <https://www.boe.es/doue/2013/093/L00001-00084.pdf>
59. Sanahuja G, Banakar R, Twyman RM, Capell T, Chistou P (2011) *Bacillus thuringiensis*: a century of research, development and commercial applications. Plant Biotechnol J 9(3):283-300.
60. Sanchis V. 2011. From microbial sprays to insect-resistant transgenic plants: history of the biopesticide Bacillus thuringiensis. A review. Agronomy for Sustainable Development 31: 217-231.
61. Schmutterer H. 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, Azadirachta indica. Ann. Rev. Entomol. 35: 271-297.
62. Soberón M, López-Díaz JA y Bravo A. 2013. Cyt toxins produced by Bacillus thuringiensis: a protein fold conserved in several pathogenic microorganisms. Peptides 41: 87-93.
63. Stone A.G., Scheuerell S.J., and Darby H.M. 2004. Suppression of Soilborne Diseases in Field Agricultural Systems: Organic Matter Management, Cover Cropping, and Other Cultural Practices. In: Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture (Magdoff, F. y Weil, R.R. eds). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 131-177.
64. Stubbs T.L., and Kennedy A.C. 2012. Microbial Weed Control and Microbial Herbicides. In: Herbicides-Environmental Impact Studies and Management Approaches (R. Alvarez- Fernandez, ed.). <http://www.intechopen.com>. pp. 135-166.
65. Symonds, M. R. E., & Gitau-Clarke, C. W. (2016). The evolution of aggregation pheromone diversity in bark beetles. Advances in Insect Physiology, 50, 195-234. doi:10.1016/bs.aiip.2015.12.003.

66. T Garnett, Mc Appleby, A. Balmford, Ij Batteman, Tg Benton, P. Bloomer, B. Burlingame, M. Dawkins, L. Dolan et al, (2013). Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies 341: 33-34
67. Tanner C.M., Kamel F., Ross G.W., Hoppin J.A., Goldman S.M., Korell M., Marras C., Bhudhikanok G.S., Kasten M., Chade A.R., Comyns K., Richards M.B., Meng C., Priestley B., Fernandez H.H., Cambi F., Umbach D.M., Blair A., Sandler D.P., and Langston J.W. 2011. Rotenone, Paraquat, and Parkinson's Disease. *Environmental Health Perspectives* 119: 866-872.
68. Unbehend, M., Hanniger, S., Meagher, R. L., Heckel, D. G., & Groot, A. T. (2013). Pheromonal divergence between two strains of *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Chemical Ecology*, 39(3), 364-376.
69. van Frankenhuyzen K. 2009. Insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* crystal proteins. *Journal of Invertebrate Pathology* 101: 1-16.
70. van Frankenhuyzen K. 2013. Cross-order and cross-phylum activity of *Bacillus thuringiensis* pesticidal proteins. *Journal of Invertebrate Pathology* 114: 76-85.
71. Velásquez-Vélez, M. I., Saldamando-Benjumea, C.I., & Ríos-Díez, J.D (2011). Reproductive isolation between two populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera Noctuidae) collected in corn and rice fields from central Colombia. *Annals of the Entomological Society of America*. 104(4), 826-833
72. Vosshall, L. B. (2008). Scent of a fly. *Neuron*, 59(5), 685-689.
73. Waterfield G., and Zilberman D. 2012, Pest management in food systems: and economic perspective. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 37: 223-245.
74. Wilches, D. M., Borrero-Echeverry, F., Cotes-Prado, A. M., & Aragón, S. (2011). Mating disruption in *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae) by using pheromone dispensers in stored potatoes conditions. En *Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen)* (Ed.), xxxviii Congreso de Socolen (pp. 102). Manizales, Colombia: Socolen.
75. Witzgall P, Kirsch P, Cork A. 2010. Sex pheromone and their impact on pest management. *Journal of Chemical Ecology*, 36, 80-100.
76. Zoppolo R, Scatoni I, Duarte F, Mujica MV and Gabard Z, Area-wide pest management in deciduous fruits of southern Uruguay. *Acta Hort* 1137:153 –160 (2016).

10.1- Referencias imágenes y tablas

Figura 2: Kumar, A. & Sharman, P. (1996). Insecticidal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Advn Appl Microbiol.* 42: 1-43

Figura 3: Naukas. (2014). *Entrega de toxinas a domicilio*. Recuperado de:
<http://naukas.com/2014/01/10/entrega-de-toxinas-domicilio/>

Figura 4: Morse R, Yamamoto T, Stroud R. Structure os Cry2Aa suggests an unexpected receptor binding epitope. *Structure* 2001; 9: 409-17.

El bruixot. (2013). Control de plagas con *Bacillus thuringiensis*. Recuperado de:
<http://www.elbruixot.com/semillasdemaria/control-de-plagas-bacillus-thuringiensis/>

Figura 5: Crickmore N, Zeigler DR, Feitelson J, Schnepf E, Van Rie J, Lereclus D, Baum J y Dean DH. 1998. Revision of the Nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* Pesticidal Crystal Proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 62: 807-813.

Figura 6: Valentina M.S. (2021). Evolución de feromonas sexuales para el control de tortricidos nativos (Lepidoptera: Tortricidae) en frutales de pepita. Magíster en Ciencias Agrarias opción Ciencias Vegetales.

Tabla 3: E. Chire y R.P Korswagen, 1990. Sex pheromones: an alternative in pest control. *Journal of chemistry* Vol IV.