

Estrategias basadas en microorganismos para el control de plagas





Estrategias basadas en microorganismos para el control de plagas

Autores

Gloria Patricia Barrera Cubillos
Carlos Espinel Correal
Maira Alejandra Gamero Díaz
Jennifer Lorena García Riaño
Juliana Andrea Gómez Valderrama
Cindy Nayibe Mejía Maldonado
Claudia Milena Mesa Barrera
Hugo Fernando Rivera Trujillo
María Cristina Rozo Flórez
Jenny Carolina Ruiz Moreno
Yimmy Alexander Zapata Narváez
María Victoria Zuluaga-Mogollón



Estrategias basadas en microorganismos para el control de plagas. / Gloria Patricia Barrera Cubillos [y otros once] – Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2025.

64 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.

ISBN: 978-958-740-887-4

ISBN e-Book: 978-958-740-888-1

1. Control biológico de plagas 2. Microorganismo 3. Plaguicida microbiano 4. Enemigo natural 5. Cultivo 6. Gestión de lucha integrada 7. Medio ambiente.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA
Centro de Investigación Tibaitatá. Kilómetro 14,
Vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca.
Código postal 250047, Colombia.

La presente publicación se elaboró como parte del proyecto
“Desarrollo de bioplaguicidas potenciados de nueva generación
para el mejoramiento de la productividad e inocuidad del cultivo
de tomate y crucíferas en el departamento de Cundinamarca”,
desarrollado por la Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria – AGROSAVIA y financiado por el Sistema General
de Regalías - SGR de Cundinamarca.

Colección: Alianzas AGROSAVIA
Tipología: Cartilla

Fecha de recepción: 8 de enero de 2025
Fecha de evaluación: 3 de febrero de 2025
Fecha de aceptación: 18 de febrero de 2025

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Liliana Gaona García
Adecuación pedagógica: Andrea Montoya Carvajal
Corrección de estilo: Margarita Mejía Umaña
Ilustración: María Alejandra Ruiz Guerra
Diseño: Mónica Cabiati Daza
Diagramación: María Paula Berón Ramírez
Impresión: DGP Editores

Citación sugerida: Barrera Cubillos, G. P., Gómez Valderrama, J. A., Espinel Correa, C., Mejía Maldonado, C. N., Mesa Barrera, C. M., García Riaño, J. L., Gamero Díaz, M. A., Roza Flórez, M. C., Ruiz Moreno, J. C., Zuluaga Mogollón, M. V., Zapata Narváez, Y. A., & Rivera Trujillo H. F. (2025). Estrategias basadas en microorganismos para el control de plagas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7408881>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: (+57) 601 914 4677
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

5	Los autores	
9	Agradecimientos	
11	Prólogo	
13	Introducción	
17	Capítulo 1. Plaguicidas y su contexto	
	¿Qué son los plaguicidas?	17
	¿Cómo se clasifican los plaguicidas?	18
	¿Cuál es el origen y desarrollo de los plaguicidas?	18
	Los plaguicidas en Colombia	22
	¿Qué impacto tiene el uso de plaguicidas en Colombia y en el mundo?	23
	¿Cómo desarrollan resistencia a los plaguicidas los insectos?	28
31	Capítulo 2. Plagas, enemigos naturales y control biológico	
	¿Cuáles son los diferentes enfoques del control biológico de plagas y cómo funcionan?	35
	¿Cómo funcionan los bioplaguicidas y por qué son una alternativa sostenible?	36
39	Capítulo 3. Beneficios adicionales de los microorganismos para los cultivos y el medioambiente	
	Promoción de crecimiento vegetal	40
	Protección frente al estrés abiótico	43
	Biorremediación	46
	Uso de microorganismos para disminuir el cambio climático	48
51	Capítulo 4. Los microorganismos como una herramienta dentro del manejo integrado de plagas	
	¿Cómo se toman decisiones en el manejo integrado de plagas (MIP)?	51
	Uso de microorganismos dentro de estrategias MIP en el cultivo de tomate	54
59	Referencias	

Lista de figuras

Figura 1	Componentes de la cartilla	14
Figura 2	Clasificación de plaguicidas según su origen, organismos objetivo, función, persistencia ambiental y toxicidad	19
Figura 3	Cronología del desarrollo e introducción de los plaguicidas a nivel mundial	21
Figura 4	Índices de uso de plaguicidas a nivel mundial	23
Figura 5	Efectos agudos y crónicos sobre la salud humana de la exposición a plaguicidas	25
Figura 6	Flujo de los plaguicidas en el medioambiente	26
Figura 7	Tipos de resistencia de los insectos a los plaguicidas	28
Figura 8	Clasificación de los insectos según su alimentación	31
Figura 9	Descripción general de algunos macroorganismos enemigos naturales presentes en el ecosistema	33
Figura 10	Descripción general de microorganismos enemigos naturales presentes en el ecosistema	34
Figura 11	Bondades de las formulaciones a base de microorganismos	37
Figura 12	Condiciones de estrés abiótico que afectan los cultivos	43
Figura 13	Beneficios de los microorganismos en plantas expuestas a estrés abiótico	45
Figura 14	Presencia de contaminantes en suelo y uso de microorganismos para su biorremediación	47
Figura 15	Esquema de manejo integrado de plagas (MIP) en busca de una agricultura sostenible	52
Figura 16	Ejemplo de la inclusión de microorganismos en programa MIP para el cultivo de tomate bajo cubierta	56



Los autores

Gloria Patricia Barrera Cubillos

Correo: gbarrera@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8245-4388>

Investigadora en el área de control biológico de plagas, con doctorado en Biotecnología. Cuenta con experiencia en pruebas de concepto para el desarrollo de bioplaguicidas (búsqueda, aislamiento y caracterización de agentes de control biológico) con énfasis principal en biología molecular para caracterización de insectos plaga y sus agentes entomopatógenos. Vinculada a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria en el área de control biológico, en donde ha participado en el desarrollo de bioproductos a base de virus (baculovirus) y hongos entomopatógenos para el control de diferentes insectos plagas de importancia en cultivos de gran relevancia para el país.

Carlos Espinel Correal

Correo: cespinel@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8872-7188>

Biólogo entomólogo, con doctorado en Ciencias. Cuenta con experiencia en la búsqueda, aislamiento, caracterización y evaluación en laboratorio y campo de microorganismos entomopatógenos (virus, hongos, bacterias) formulados o sin formular sobre diferentes especies de artrópodos plaga de interés agropecuario; y en crías de insectos y en determinación de efectos de bioplaguicidas sobre artropofauna benéfica. Vinculado a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria en el área de control biológico, en donde ha participado en el desarrollo de bioproductos a base de virus (baculovirus) y hongos entomopatógenos para el control de diferentes insectos plagas de importancia en cultivos como papa, tomate, maíz, caucho, caña, entre otros.

Maira Alejandra Gamero Díaz

Correo: mgamero@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2069-1868>

Bacterióloga del Colegio Mayor de Cundinamarca. Cuenta con experiencia en la industria de biotecnología aplicada a la minería y la agricultura. Manejo de técnicas de biología molecular: extracción de ácidos nucleicos, PCR, qPCR, PCR digital, clonación, expresión y purificación de proteínas recombinantes; y en procesamiento de muestras de laboratorio clínico básico y especializado, aislamiento, crecimiento y bioidentificación de microorganismos.

Jennifer Lorena García Riaño

Correo: jgarciar@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8991-4842>

Microbióloga industrial de la Pontificia Universidad Javeriana, con maestría en Ciencias – Química de la Universidad Nacional de Colombia. Investigadora con experiencia en la búsqueda, aislamiento, caracterización y conservación de microorganismos con interés en control biológico. Ha trabajado en el desarrollo de bioplaguicidas desde la producción masiva de microorganismos en fermentación sólida y sumergida, los procesos de formulación y escalamiento de bioprocesos, hasta la evaluación de la actividad biológica en condiciones de laboratorio y campo. Se ha desempeñado como curadora del banco de microorganismos con interés en control biológico y tiene experiencia en la separación, identificación y análisis de metabolitos microbianos mediante técnicas como HPLC-MS/MS.

Juliana Andrea Gómez Valderrama

Correo: jagomez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3963-1363>

Microbióloga de la Pontificia Universidad Javeriana y doctora en Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia. Investigadora vinculada a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, con experiencia en el desarrollo de bioplaguicidas para el control biológico de plagas agrícolas, basados en hongos entomopatógenos y virus. Su trabajo se ha enfocado en la producción de agentes entomopatógenos, la evaluación de su eficacia y estabilidad, y la aplicación de estrategias biotecnológicas para potenciar su desempeño. Ha liderado proyectos nacionales e internacionales orientados a la bioeconomía, la innovación tecnológica y la sostenibilidad en la agricultura colombiana.

Cindy Nayibe Mejía

Correo: cmejia@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3424-9317>

Microbióloga egresada de la Pontificia Universidad Javeriana con maestría en Ciencias – Bioquímica de la Universidad Nacional de Colombia. Investigadora con más de diez años de experiencia en la formulación y ejecución de proyectos enfocados en el aprovechamiento y conservación de la



biodiversidad microbiana, orientados al desarrollo de estrategias de agricultura sostenible, en procesos de fermentación líquida y sólida, así como en la caracterización fisiológica y bioquímica de microorganismos benéficos y sus enzimas para la formulación de bioproductos destinados al control biológico de plagas y enfermedades.

Claudia Milena Mesa Barrera

Correo: cmesa@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7452-4446>

Agrónoma de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), con experiencia en investigación, desarrollo y control de calidad de bioplaguicidas. Ha trabajado en la producción y purificación de virus entomopatógenos, generando inóculos de alta calidad, como el granulovirus de *Tecia solanivora* y el nucleopoliedrovirus de *Spodoptera frugiperda*, para el control biológico de plagas; igualmente, en la propagación y formulación de hongos entomopatógenos (*Metarhizium*, *Beauveria*, *Trichoderma*, *Lecanicillium*, *Nomuraea*) mediante fermentación líquida y sólida, elaborando formulaciones como polvos mojables y granulados; y en técnicas de fermentación, cinética de crecimiento y determinación de actividad enzimática, especialmente en proteasas, lipasas y quitinasas.

Hugo Fernando Rivera Trujillo

Correo: hrivera@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5939-2385>

Ingeniero agrónomo con maestría en Biología Aplicada. Especialista en el desarrollo y validación de estrategias de control biológico de insectos plaga y enfermedades en sistemas productivos de ciclo corto, semipermanentes y permanentes. Cuenta con experiencia en el desarrollo de estrategias para el control de plagas basadas en el uso de semioquímicos, resistencia varietal y herramientas de información. Recientemente, ha participado en el desarrollo de software para la construcción de sistemas de toma de decisiones para el control de plagas en cultivos de interés comercial. Todo lo anterior, con el propósito de desarrollar e implementar herramientas de conocimiento que aporten a reducir la dependencia de los insumos de síntesis química en el control de plagas agrícolas y mejorar la inocuidad de los productos agrícolas para el consumidor final.

María Cristina Roza Flórez

Correo: mrozo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2275-5167>

Microbióloga, máster en Biología Molecular y Biotecnología de la Universidad de Pamplona. Investigadora con experiencia científica relacionada a control biológico, en la exploración de microorganismos fúngicos con potencial como agentes antagónicos hacia hongos fitopatógenos. Además, con experiencia en clonación, expresión y evaluación de proteínas en sistemas eucariotas y procariotas para la potenciación de agentes entomopatógenos.



Jenny Carolina Ruiz Moreno

Correo: jcruiz@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4015-6029>

Microbióloga industrial de la Pontificia Universidad Javeriana, con maestría en Diseño y Gestión de Procesos con énfasis en Bioprocesos de la Universidad de La Sabana. Especialista en la búsqueda, aislamiento, caracterización y producción masiva de microorganismos benéficos para el desarrollo de bioinsumos agrícolas. Cuenta con experiencia en el diseño y optimización de procesos para la obtención de ingredientes activos virales, así como en la formulación, compatibilidad con agroquímicos y control de calidad de inóculos y bioplaguicidas; y en la evaluación biológica de microorganismos en laboratorio, invernadero y campo, y en la validación de la estabilidad y eficacia de bioproductos durante el almacenamiento.

Yimmy Alexander Zapata Narváez

Correo: jzapatan@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7586-209X>

Microbiólogo egresado de la Pontificia Universidad Javeriana y máster en Agrociencias de la Universidad de La Salle. Se desempeña como investigador Máster Senior en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Su área de trabajo se enfoca en la fitopatología y el control biológico de enfermedades en diferentes sistemas productivos que incluyen frutales, hortalizas, cultivos transitorios y perennes. Para esto, trabaja en el desarrollo de bioinsumos y su incorporación en los sistemas productivos, buscando orientar estrategias de manejo integrado del cultivo que promuevan la sostenibilidad de los agroecosistemas.

María Victoria Zuluaga-Mogollón

Correo: mzuluaga@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3246-3400>

En la actualidad se desempeña como Coordinadora en Innovación Regional del Centro de Investigación Tibaitatá. Es máster en Desarrollo Rural de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, con formación de base en ingeniería agronómica de la Universidad de Cundinamarca. Cuenta con experiencia en investigación por más de 20 años en manejo integrado de plagas con énfasis en control biológico. Ha participado en procesos para el registro y vinculación de bioproductos, también en proyectos para la medición de la sostenibilidad en sistemas agropecuarios.





Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al apoyo de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), instituciones que aportaron los recursos físicos, humanos y financieros necesarios para su desarrollo, en el marco del Contrato del Sistema General de Regalías 2010, con el apoyo del Gobierno del Departamento de Cundinamarca (Colombia).

Al grupo de investigación, cuyo compromiso, creatividad y entrega cotidiana están al servicio de la ciencia y la innovación para fortalecer el agro colombiano y transformar el territorio en un espacio más productivo, sostenible y resiliente.

Y, sobre todo, a los productores rurales, verdaderos guardianes de la tierra, que con su esfuerzo diario hacen florecer la esperanza y el alimento, recordándonos que el conocimiento cobra sentido cuando se pone al servicio de quienes siembran el futuro con sus manos.





Prólogo

En un mundo donde los desafíos agrícolas y medioambientales se vuelven cada vez más complejos, **el control biológico microbiano emerge como una herramienta esencial para una agricultura sostenible**. Sin embargo, a pesar de que este término está ganando visibilidad, muchos productores agrícolas aún desconocen su verdadero trasfondo, aplicaciones y potencial transformador. Este desconocimiento se agrava frente al uso indiscriminado de plaguicidas, cuya contribución histórica a la producción agrícola mundial no puede negarse, pero que hoy representa una amenaza significativa para la biodiversidad del suelo, la calidad del aire y los recursos hídricos.



Esta cartilla tiene como objetivo acercar al productor a las estrategias de control biológico microbiano ofreciendo una visión introductoria, sencilla y accesible, y sin pretender ser un texto exhaustivo. Más allá de ser una cartilla, esta guía busca informar de manera clara sobre los efectos adversos de los plaguicidas químicos; al mismo tiempo, destaca alternativas más responsables que promuevan la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (figura 1).

En las páginas de esta cartilla se sintetiza la experiencia de AGROSAVIA dentro de **programas de manejo integrado de plagas (MIP)**, y se destacan las estrategias de uso de microorganismos en control biológico de plagas agrícolas. En el último capítulo, mostramos cómo los microorganismos pueden integrarse de manera efectiva en la producción agrícola, mediante un ejemplo práctico en el cultivo del tomate, donde no solo se contribuye al control de plagas y enfermedades, sino también al fortalecimiento del equilibrio ecológico y al cuidado del medioambiente.

Esperamos que esta lectura amena y sencilla inspire a los productores a profundizar en estas temáticas, y los aliente a **explorar nuevas formas de manejo agrícola** que respeten la naturaleza, reduzcan los impactos negativos de los agroquímicos y que promuevan alternativas más amigables con el medioambiente. Este es un pequeño paso hacia una agricultura más consciente, sostenible y resiliente.





Introducción

Los entornos agrícolas, también denominados agroecosistemas, poseen dos componentes principales: el biótico (virus, bacterias, hongos, nematodos, insectos, animales y plantas) y el abiótico (aire, suelo y agua), que coexisten para mantener el equilibrio en un ambiente sano (figura 1).

¿Qué consecuencias puede tener el desequilibrio de un agroecosistema en la biodiversidad y en los cultivos?

El equilibrio del agroecosistema puede verse interrumpido por múltiples causas, algunas de origen natural y otras provocadas por la actividad humana. Las consecuencias de este desequilibrio se manifiestan comúnmente en la pérdida de la biodiversidad presente en el entorno. Esta pérdida actúa como una vía de entrada para organismos oportunistas y posibles plagas, lo que representa una amenaza para la integridad de los cultivos. Estos intrusos, entre los que se encuentran insectos, microorganismos, malezas u otros, pueden llegar a superar umbrales económicos y producir pérdidas del 40 % e incluso hasta del 100 % de los cultivos (Cámara Procultivos ANDI, 2021).



Dato clave

Es importante mencionar que, aunque existen muchos tipos de plagas, esta cartilla se centrará en los insectos que causan daño a los cultivos agrícolas.

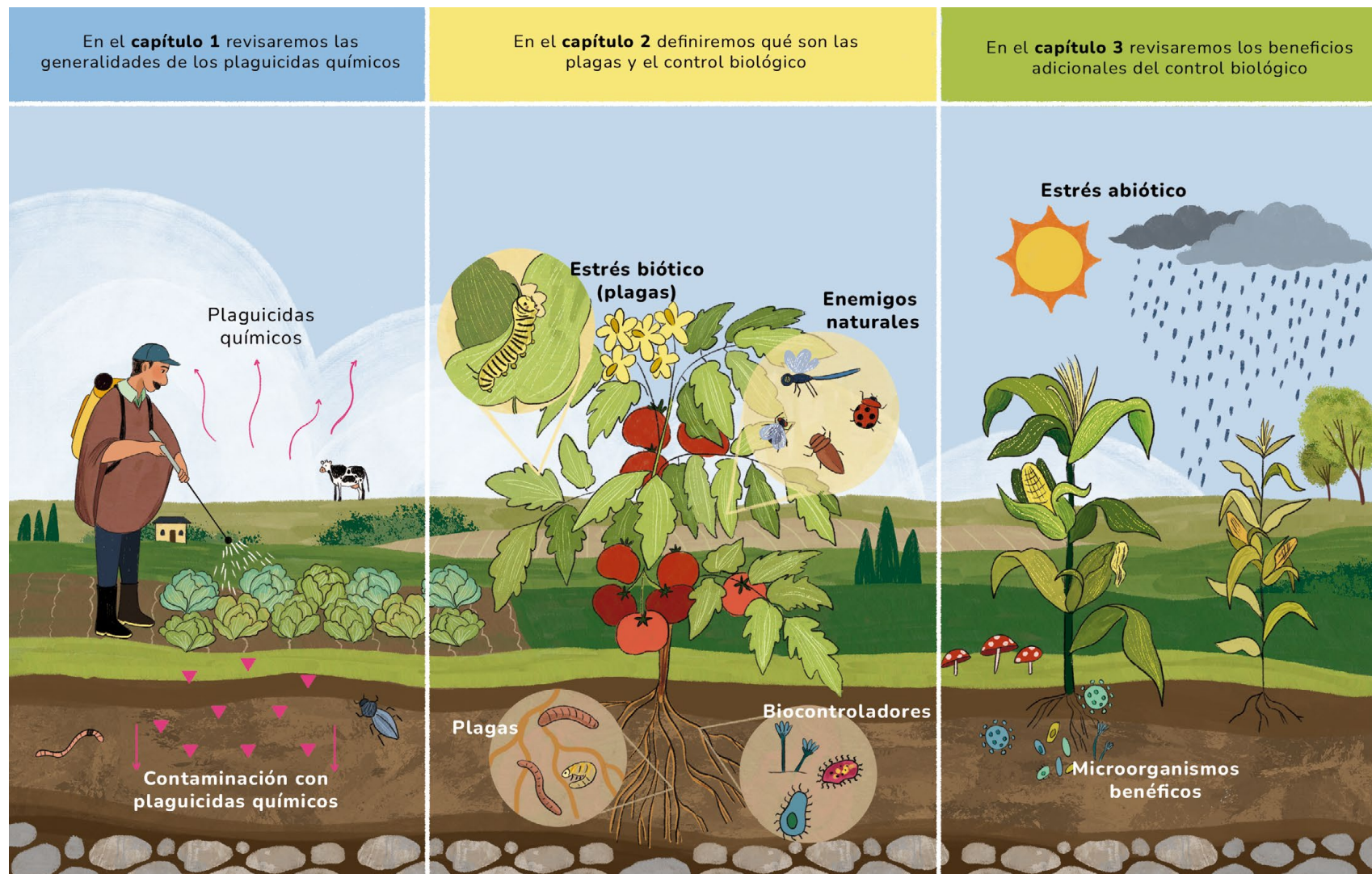


Figura 1. Componentes de la cartilla.

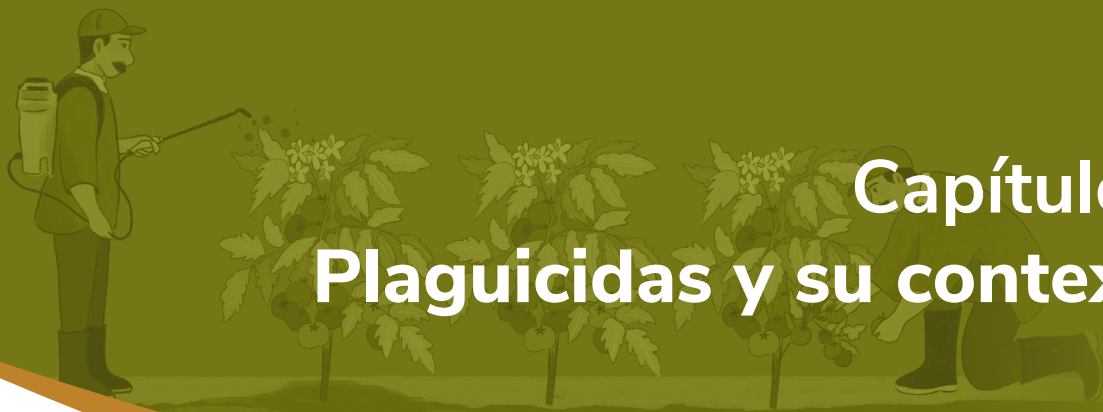




Desarrollo de alternativas sostenibles para el manejo fitosanitario del tomate



Investigación aplicada para reducir el uso de agroquímicos convencionales



Capítulo 1

Plaguicidas y su contexto

¿Qué son los plaguicidas?

Las plagas se refieren a cualquier especie, raza o biotipo (forma típica que posee una planta o animal), o agente patógeno microbiano (hongo, bacteria, virus) dañino para las plantas o productos vegetales (Secretaría de la CIPF, 2022). **Para controlar las plagas y reducir las pérdidas en los cultivos se emplean los plaguicidas.** Según la definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), los plaguicidas son “cualquier sustancia destinada a prevenir, destruir, atraer, repeler o combatir cualquier plaga, incluidas las especies indeseadas de plantas o animales, durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales” (FAO/OMS, 1999).

Los plaguicidas utilizados en la agricultura incluyen **insecticidas** (controlan insectos), **herbicidas** (controlan malezas), **bactericidas y fungicidas** (controlan bacterias y hongos que causan enfermedades) y **nematicidas** (controlan nematodos). El mayor consumo es de herbicidas (47,5 %), seguido de insecticidas (29,5 %), fungicidas (17,5 %) y otros (5,5 %) (Bondareva & Fedorova, 2021).

¿Cómo se clasifican los plaguicidas?

Los plaguicidas **se pueden clasificar de diversas formas** dependiendo de su origen, de su composición química, de la plaga que controlan, del modo de acción, de su persistencia ambiental o de otros criterios relevantes (figura 2). Además, según la OMS, también se pueden clasificar **según la categoría de peligrosidad**, que se basa en los niveles de toxicidad oral y dérmica calculados en función de los valores de DL_{50} (dosis letal requerida para eliminar el 50 % de la población). Teniendo en cuenta las múltiples formas de clasificación de los plaguicidas, en la figura 2 se sintetizan las diferentes clasificaciones con base en las características más importantes (Rodríguez, 2015; OMS, 2020).

¿Cuál es el origen y desarrollo de los plaguicidas?

Se calcula que **los plaguicidas protegen alrededor de un tercio de la producción agrícola mundial**, en la cual se utilizan cerca de 2.000 millones de toneladas.

Esta práctica fitosanitaria ha estado presente desde los inicios de la agricultura: desde hace más de 4.500 años, los sumerios ya utilizaban azufre en polvo para controlar insectos y ácaros; sus técnicas han evolucionado con el tiempo hasta llegar a los productos actuales. En la figura 3, se observa una línea cronológica general del desarrollo de los plaguicidas.



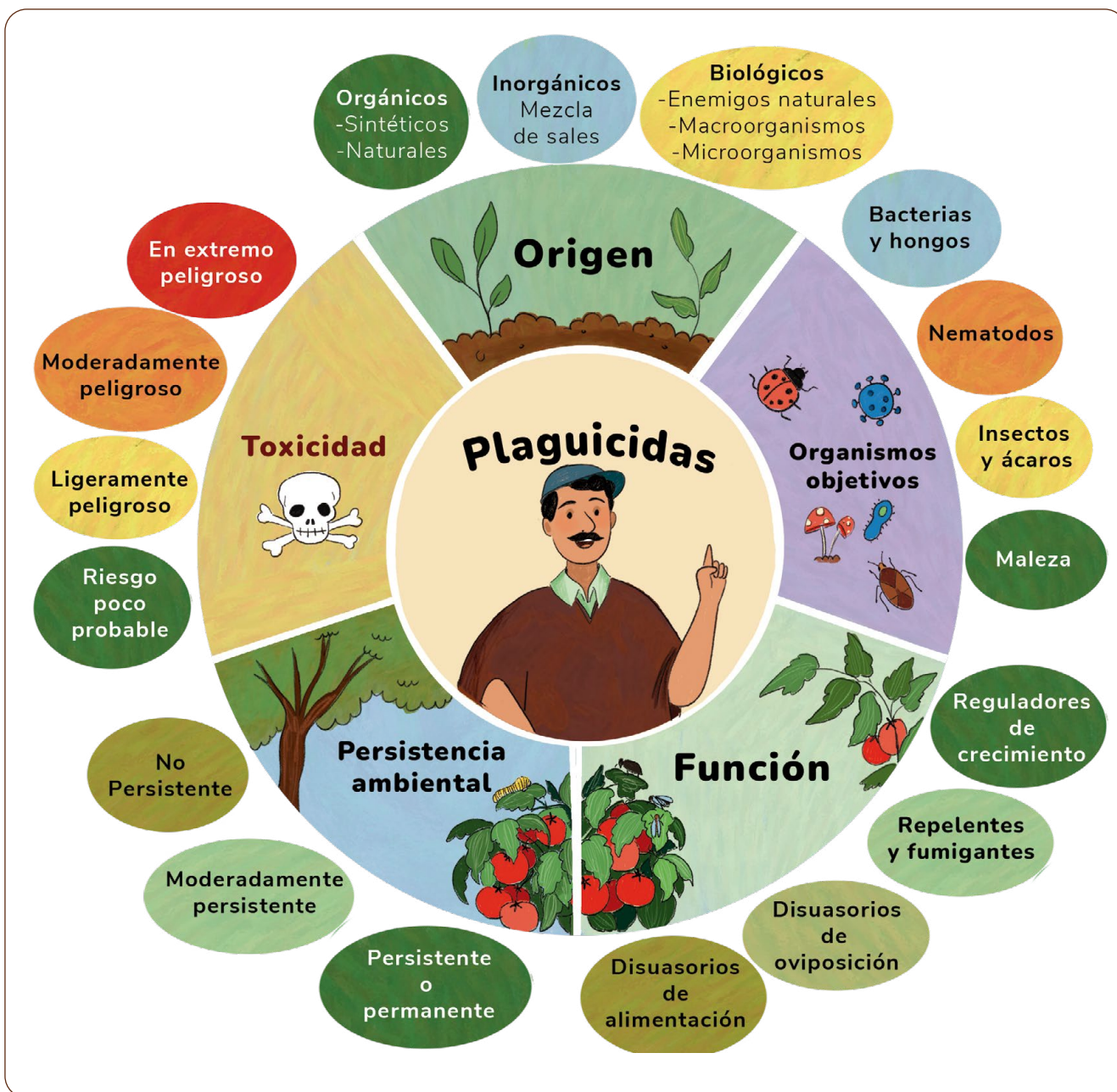


Figura 2. Clasificación de plaguicidas según su origen, organismos objetivo, función, persistencia ambiental y toxicidad.

Fuente: Elaboración propia



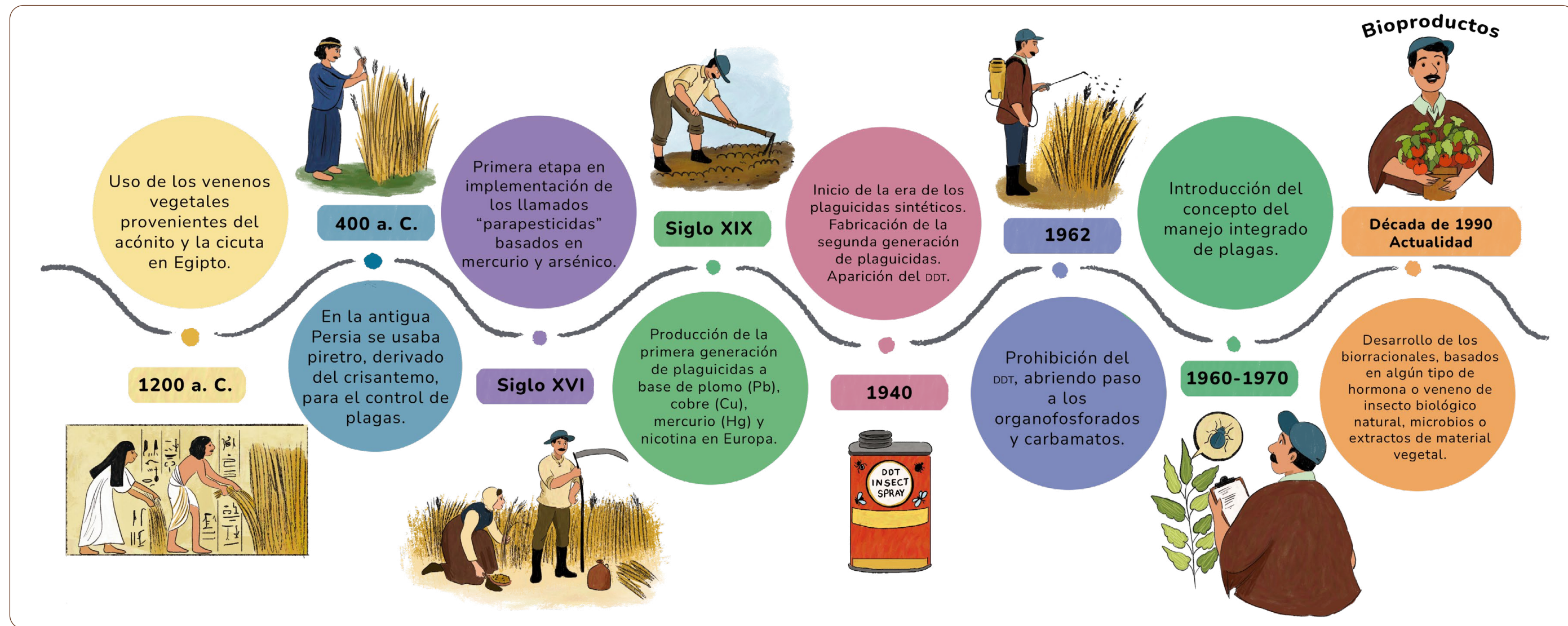


Figura 3. Cronología del desarrollo e introducción de los plaguicidas a nivel mundial.
Fuente: Elaboración propia

Los plaguicidas en Colombia

El uso de plaguicidas a lo largo de la historia del país **permitió incrementar el número de hectáreas (ha) cultivadas**, su productividad y la exportación de productos agrícolas. Su utilización se remonta a la década de 1970 (30 años después de su aplicación en Europa), cuando la demanda de productos como maíz, algodón, papa, arroz y café se intensificó a nivel mundial (Varela-Martínez et al., 2022). La aplicación de plaguicidas **es una práctica cotidiana en la mayoría de las zonas productivas del país**; representa un renglón importante en los costos de producción, si se considera que alrededor del 14 % del total de los costos está relacionado con la compra de insumos fitosanitarios.

¿Sabías qué? En 2020 se identificaron varios ingredientes activos prohibidos para uso en varios países (Henao & Gómez, 2020). Sin embargo, ocho de estos aún tenían registro en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y estaban presentes en el listado de productos de venta en Colombia.



¿Qué impacto tiene el uso de plaguicidas en Colombia y en el mundo?

Aunque los plaguicidas en un comienzo surgieron como una alternativa efectiva para el control de plagas, **su uso indiscriminado ha generado impactos negativos** sobre diferentes aspectos ambientales y de salud para humanos y animales.

Para el año 2022, Colombia se ubicó entre los 20 países con mayor aplicación de plaguicidas a nivel mundial; usaba 9,9 kg/ha (kilogramos por hectárea), por encima de Estados Unidos (2,5 kg/ha) y de sus vecinos latinoamericanos Brasil (6,0 kg/ha) y Argentina (4,9 kg/ha). El mapa de calor (figura 4) muestra con mayor intensidad los países con mayores aplicaciones.

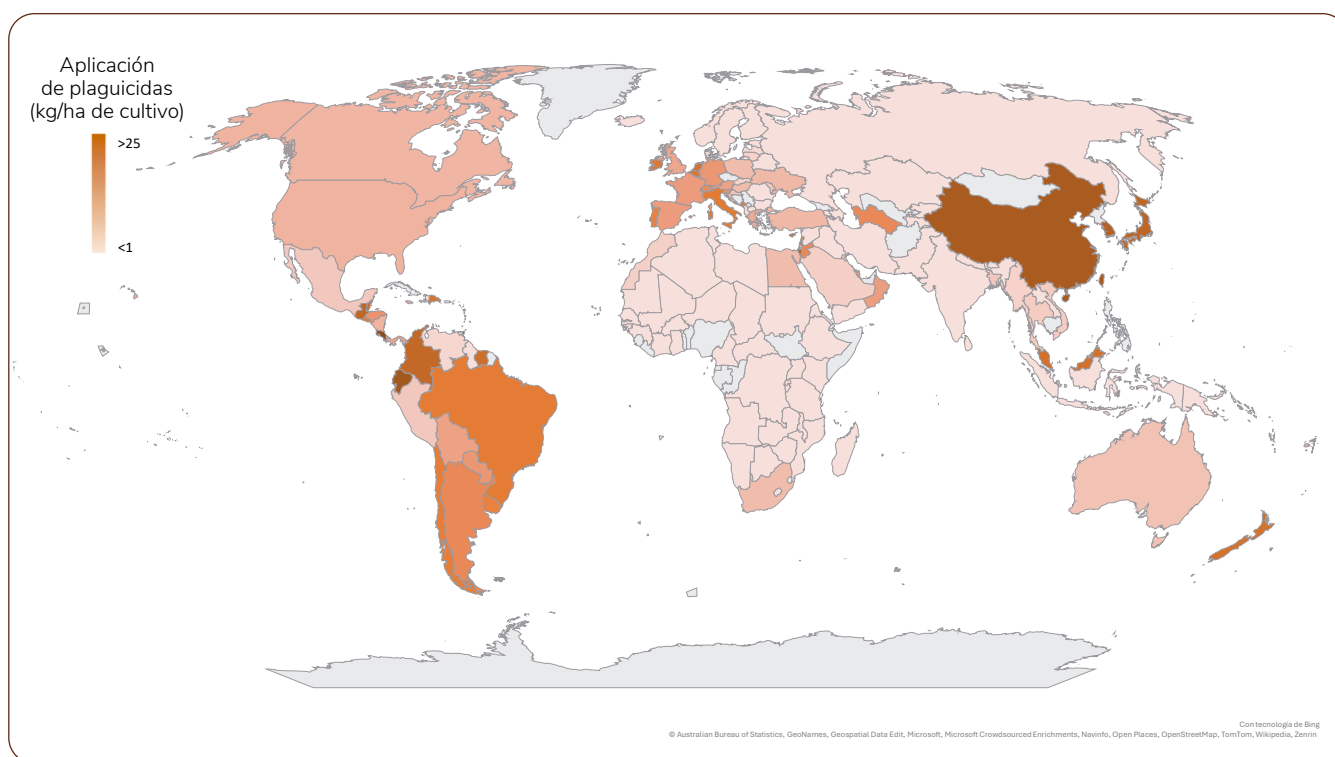


Figura 4. Índices de uso de plaguicidas a nivel mundial.
Fuente: Adaptado de Worldometer (2022)



El uso intensivo de plaguicidas en Colombia suele estar asociado con aplicaciones que son mayores en cantidad y frecuencia a las necesarias; esto **puede provocar la acumulación de residuos en cultivos y suelos**, y afectar tanto la salud humana como la del medioambiente. Diversos factores contribuyen a esta problemática, entre ellos, el desconocimiento sobre los efectos de los plaguicidas, la influencia de intereses comerciales en su promoción y la falta de regulaciones efectivas para controlar su aplicación.

- **Salud humana:** A nivel general, **todos los plaguicidas son tóxicos**; sin embargo, el impacto depende de la dosis y del tiempo de exposición, principalmente cuando no se utilizan los elementos de protección personal, como guantes, mascarillas y lentes. En menor medida, se ven afectadas las personas que están en contacto indirecto a través de los residuos presentes en alimentos o en el ambiente (Sarkar et al., 2021).

La exposición humana a los plaguicidas puede darse a través de la piel, de los ojos, por inhalación o por consumo (Kalyabina et al., 2021). Los plaguicidas pueden provocar diversos síntomas y daños en la salud humana, y contribuir al desarrollo de enfermedades tanto agudas como crónicas (figura 5).

- **Aguda:** cuando la exposición al tóxico es de corta duración, de ingreso directo (tragar, aspirar o contacto con la piel) y sus consecuencias son inmediatas.
- **Crónica:** acumulación de bajas cantidades de la sustancia en el cuerpo y sus consecuencias se observan con el paso del tiempo.



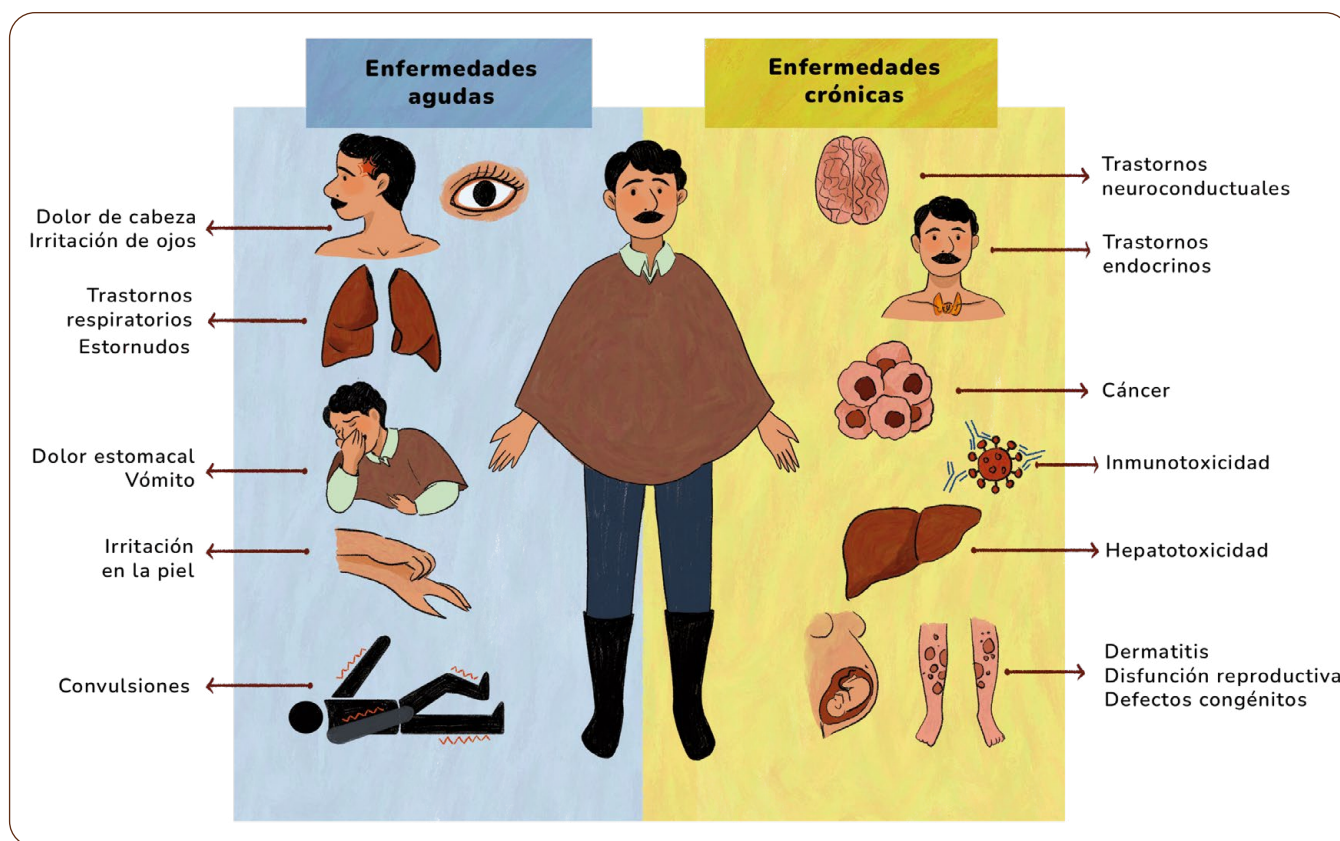


Figura 5. Efectos agudos y crónicos sobre la salud humana de la exposición a plaguicidas.

Fuente: Elaboración propia

- **Medioambiente:** la **exposición del medioambiente a los plaguicidas** puede ocurrir por diferentes vías, teniendo en cuenta su primer depósito en el suelo y los diferentes factores como luz solar, viento y lluvia (figura 6) (Kalyabina et al., 2021).



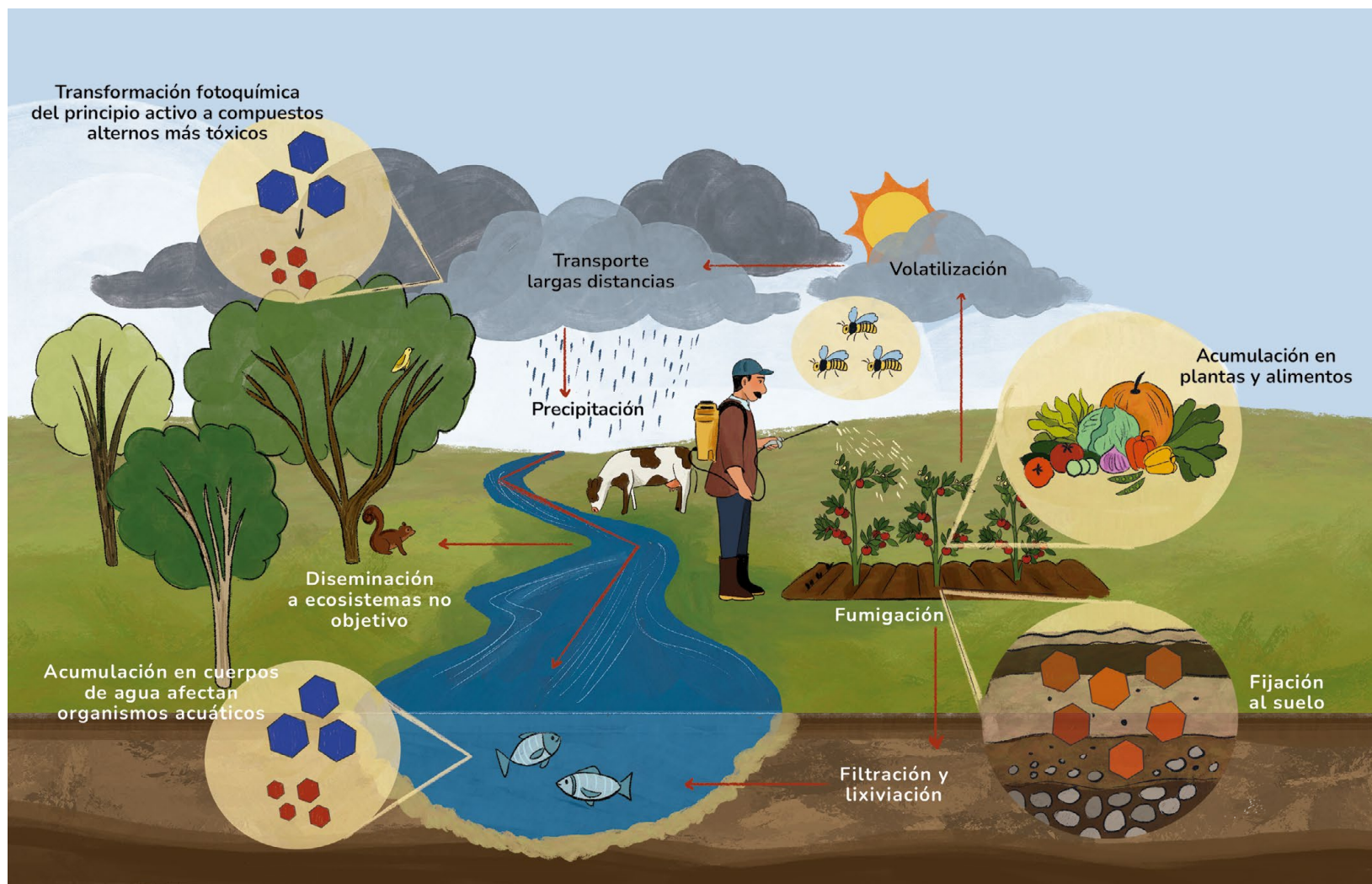


Figura 6. Flujo de los plaguicidas en el medioambiente.

Fuente: Elaboración propia



¿Sabías qué? En Colombia, entre 2016 y 2020, murieron 64.000 colmenas de abejas; se encontró que la molécula detectada con más frecuencia en las abejas muertas fue el fipronil, un plaguicida de amplio espectro usado en una gran cantidad de cultivos agrícolas; por esta razón, en el 2021 el ICA restringió su uso (ICA, Resolución 092101, 2021).



Otro efecto nocivo de los plaguicidas ocurre sobre el **microbioma**, que es la comunidad de microorganismos que habita y coloniza el suelo. El **microbioma** es muy sensible a los cambios físicos y químicos en el suelo, y esta alteración puede influir de forma negativa en el comportamiento de un cultivo, disminuyendo su productividad. Además, los plaguicidas también pueden afectar a otras especies no objetivo, como insectos que benefician el cultivo; por ejemplo, los polinizadores. Hay gran preocupación por la disminución que se presenta en sus poblaciones, ya que más del 75 % de los cultivos del mundo dependen de polinizadores animales, lo cual afecta la seguridad alimentaria (Leska et al., 2021).

Por otra parte, **la contaminación de cuerpos de agua por escorrentía y lixiviación** causa la muerte de peces, lo que altera los ecosistemas acuáticos y reduce la biodiversidad. Estos compuestos afectan directamente a organismos como algas y fitoplancton, interrumpiendo la fotosíntesis y las cadenas tróficas; a la vez, su acumulación y persistencia genera toxicidad en la fauna acuática. Además, **contribuyen a la proliferación de algas tóxicas y a la eutrofización** (proceso en el que un cuerpo de agua acumula exceso de nitrógeno y fósforo, que provoca un crecimiento descontrolado de algas, las cuales, al descomponerse, consumen el oxígeno del agua; esto causa la muerte de peces y otros organismos acuáticos por falta de oxígeno).



¿Cómo desarrollan resistencia a los plaguicidas los insectos?

Los insectos generan resistencia a los plaguicidas a los que se ven expuestos; esto significa que toleran las dosis que antes eran eficaces para su control. Con el tiempo, los rasgos de resistencia se vuelven más prevalentes en las poblaciones de insectos. Georghiou (1965), citado en Badii y Garza-Almanza (2007), clasificó esta resistencia en tres tipos: **por comportamiento, morfológica y fisiológica** (figura 7).

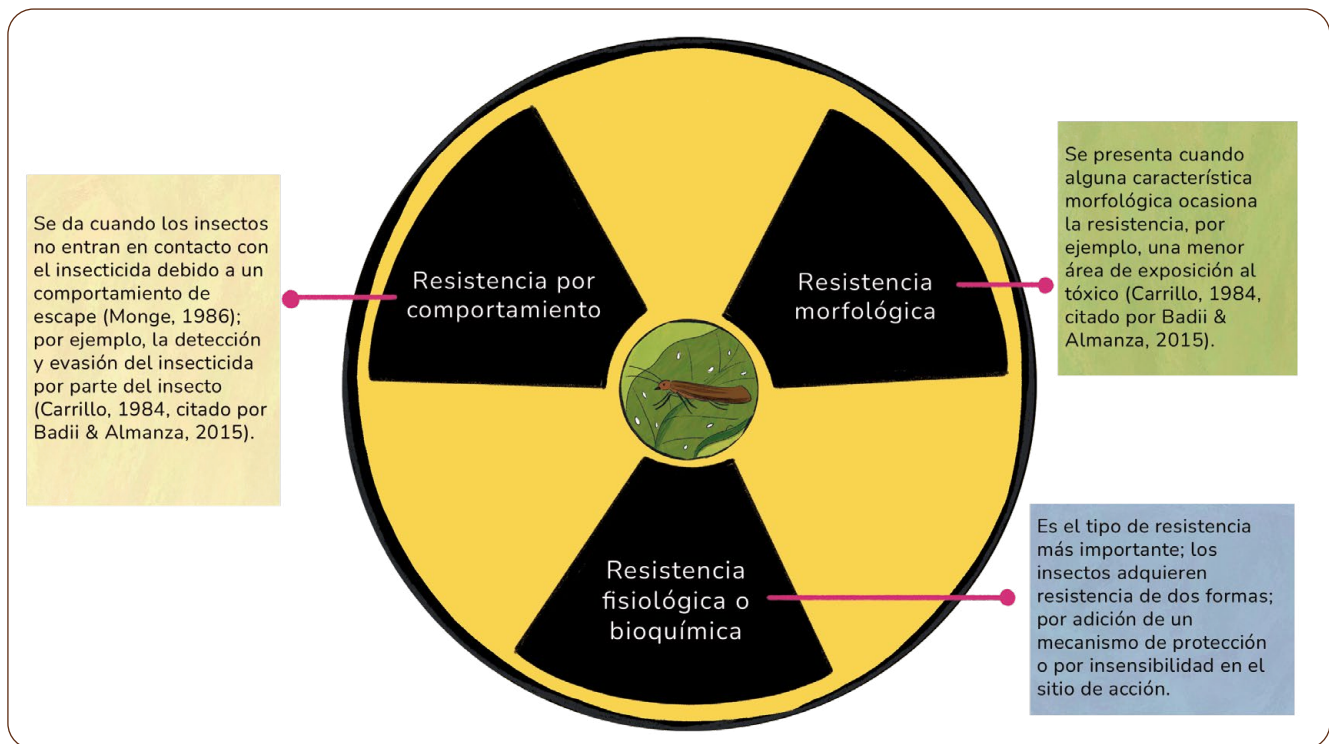


Figura 7. Tipos de resistencia de los insectos a los plaguicidas.
Fuente: Elaboración propia con base en Badii et al. (2015)

Es importante resaltar que **el uso repetido y excesivo de insecticidas, junto con su aplicación incorrecta**, acelera este proceso al eliminar a los insectos más susceptibles y favorecer a los más resistentes. Como resultado, la efectividad de los insecticidas disminuye, lo que dificulta el control de plagas y puede causar un aumento en el uso de productos más tóxicos o costosos. Esto representa un desafío para el control de plagas, y requiere estrategias de manejo más sostenibles y diversificadas que incluyan el uso racional de insecticidas, la rotación de productos y métodos alternativos de control.

En resumen, **la aplicación de plaguicidas** en los sistemas productivos agrícolas ha marcado un hito al permitir el desarrollo de la agricultura. Sin embargo, su uso indiscriminado ha ocasionado efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana. Por lo anterior, **es necesaria la búsqueda y adopción de alternativas más sostenibles** que favorezcan el equilibrio en el ecosistema y beneficien la productividad.





Biocontrol en acción: *Beauveria bassiana* controla naturalmente a *Tuta absoluta*

Capítulo 2

Plagas, enemigos naturales y control biológico

Es importante recordar **el concepto de plaga** que revisamos en el capítulo anterior: especie, raza o biotipo, o agente patógeno microbiano dañino para las plantas o productos vegetales (Secretaría de la CIPF, 2022). **La presencia de insectos plaga puede evidenciarse por diferentes tipos de daño que causan en el cultivo:** aquellos que se alimentan de partes de la planta (masticadores), aquellos que succionan la savia de la planta (chupadores) y aquellos que perforan, penetran y forman túneles al interior del tallo, hoja, fruto y otras partes de la planta (perforadores o barrenadores) (figura 8).

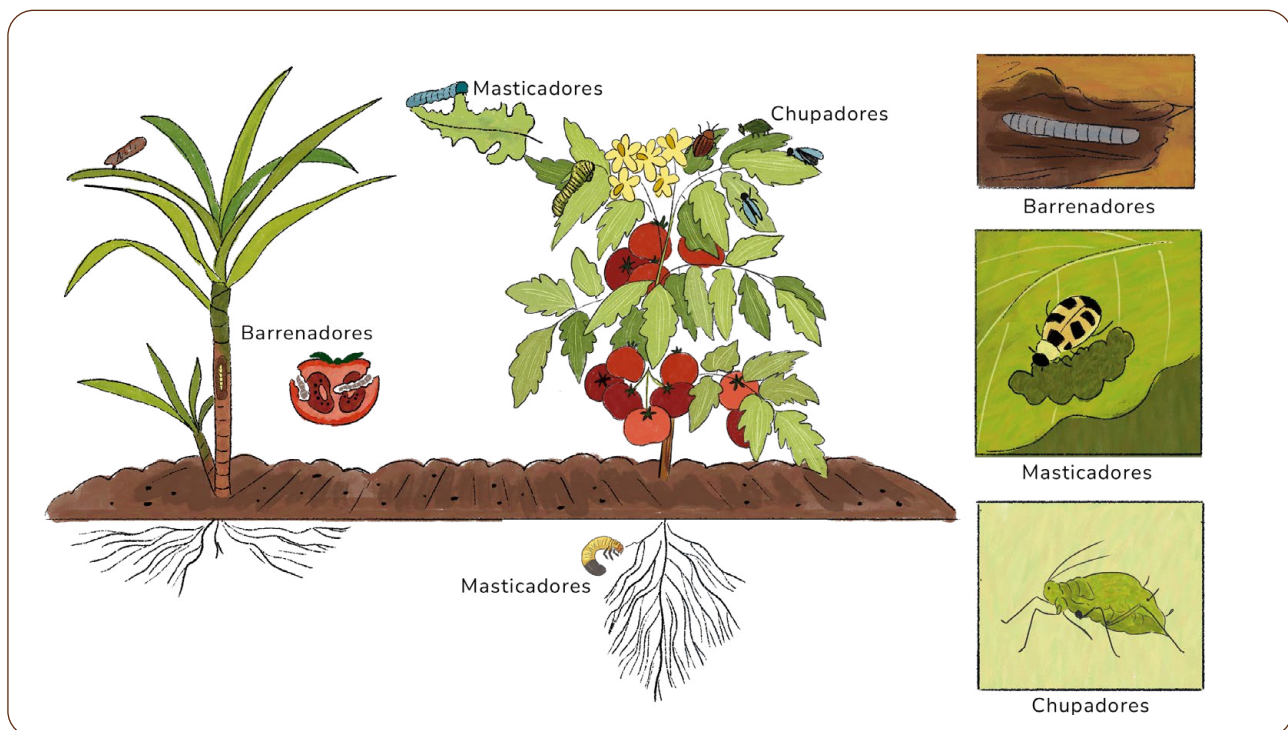
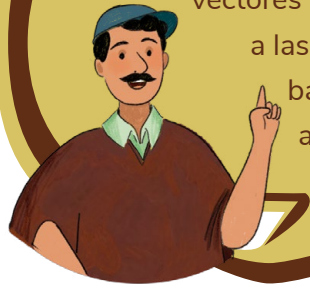


Figura 8. Clasificación de los insectos según su alimentación.

Fuente: Elaboración propia

¿Sabías qué? Los insectos chupadores pueden ser vectores y transmitir diferentes virus u otros patógenos a las plantas; y los insectos masticadores y barrenadores pueden causar un daño indirecto al permitir el ingreso de otros patógenos.



Pero, **como la naturaleza es tan sabia, en muchas ocasiones los problemas llevan consigo soluciones.** Estas soluciones son los **enemigos naturales** que se encuentran en el mismo cultivo. Para un insecto plaga, es muy común encontrar un arsenal de posibilidades que lo estén atacando; entre ellos, *macroorganismos*, parasitoides o depredadores (figura 9); o *microorganismos*, como bacterias, hongos o virus (figura 10). En el caso de hongos y bacterias perjudiciales, también llamados fitopatógenos, es posible identificar otros microorganismos que los combatan en forma activa, que se conocen con el nombre de **antagonistas**.



(*Trialeurodes vaporariorum*): una de las principales plagas monitoreadas en programas de manejo sostenible

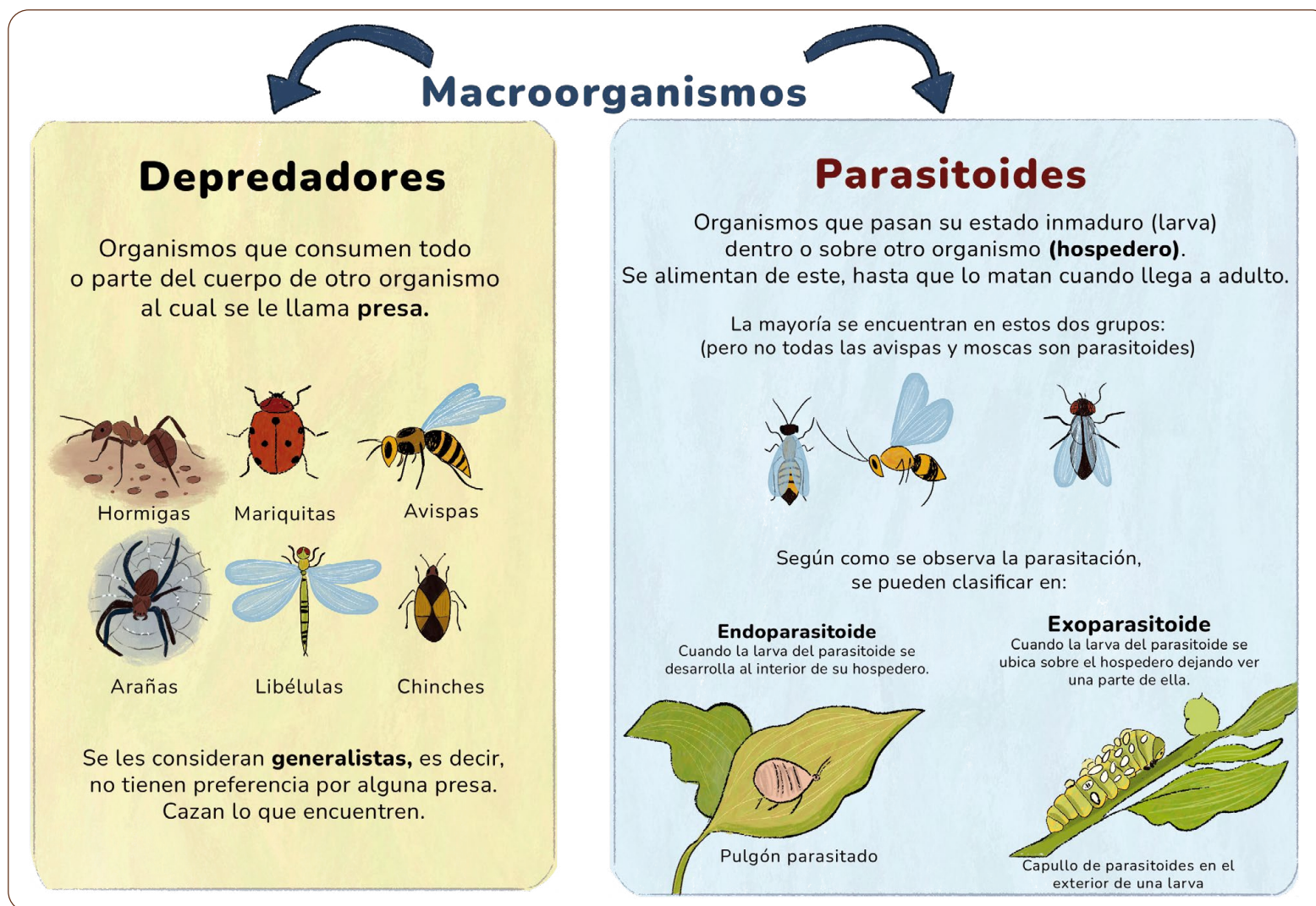


Figura 9. Descripción general de algunos macroorganismos enemigos naturales presentes en el ecosistema.

Fuente: Elaboración propia

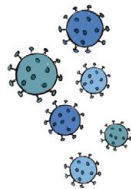


Microorganismos

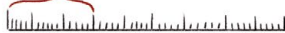
¿Qué son?

Son agentes infecciosos microscópicos compuestos por material genético (ADN o ARN), rodeado por una capa de proteínas. Necesitan de un organismo vivo para multiplicarse ya que no pueden hacerlo por cuenta propia.

Virus

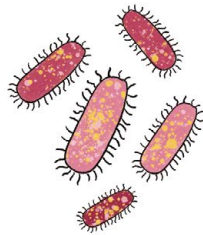


De 0,5 a 1 μm



Las bacterias son microorganismos que están constituidos por una sola célula (unicelulares), pueden tener diversas formas como esferas (cocos), bastones (bacilos) o espirales (espirilos).

Bacterias

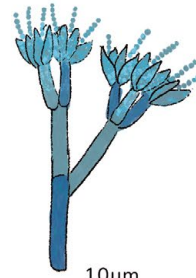


De 1 a 5 μm

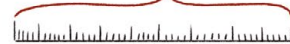


Los hongos son microorganismos unicelulares (levaduras) o multicelulares (hongos filamentosos). Este último grupo se reproduce mediante los conidios que se dispersan fácilmente en el medio ambiente.

Hongos



10 μm



¿Cómo actúan?

Las larvas ingieren el virus; una vez en el intestino, se diseminan por todo el cuerpo, multiplicándose dentro de las células del insecto. Este proceso continúa hasta que las células se rompen, provocando su muerte.

La infección ocurre por ingestión de las bacterias las cuales producen toxinas que causan la muerte de los insectos.

La infección ocurre por contacto de conidios. Primero se adhieren y penetran la cutícula del insecto (piel), se diseminan por todo el cuerpo alimentándose de este y produciendo toxinas, hasta que finalmente causan la muerte.

Figura 10. Descripción general de microorganismos enemigos naturales presentes en el ecosistema.

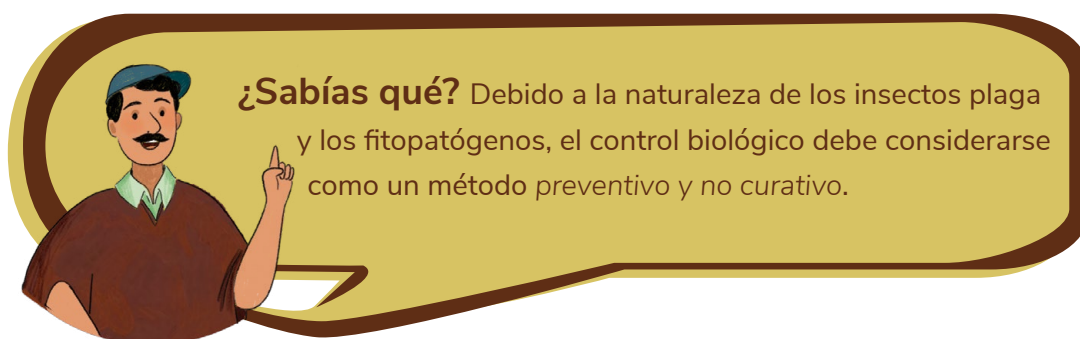
Fuente: Elaboración propia



¿Cuáles son los diferentes enfoques del control biológico de plagas y cómo funcionan?

El **control de las plagas** puede ser natural o biológico. En el **control natural**, los enemigos naturales actúan sin intervención humana. En contraste, el **control biológico** implica la introducción deliberada de enemigos naturales para combatir las plagas (Eilenberg et al., 2001). Se pueden identificar diferentes enfoques:

- **Control biológico por conservación:** se fomentan las prácticas destinadas a mejorar e incrementar la actividad de los enemigos naturales para reducir o combatir las plagas; por ejemplo, el mantenimiento de franjas de plantas nectaríferas cercanas a los cultivos para favorecer la abundancia de controladores naturales de plagas (Cotes, 2018).
- **Control biológico clásico:** se introducen enemigos naturales no nativos para reducir las plagas. Un ejemplo exitoso fue la introducción de mariquitas provenientes de Australia para controlar la cochinilla acanalada en cultivos de cítricos en Estados Unidos (Cotes, 2018).
- **Control biológico inundativo:** consiste en liberar grandes cantidades de agentes de control biológico para reducir una plaga, por lo general, cuando esta alcanza niveles críticos. Un ejemplo fue el uso de un virus de *Anticarsia gemmatilis* para controlar la oruga de las leguminosas en cultivos de soya en Brasil (Villamizar et al., 2018).



¿Sabías qué? Debido a la naturaleza de los insectos plaga y los fitopatógenos, el control biológico debe considerarse como un método preventivo y no curativo.



¿Cómo funcionan los bioplaguicidas y por qué son una alternativa sostenible?

El **control biológico con microorganismos** es una excelente opción para reducir la población de insectos plaga. Para lograr su introducción en el ecosistema, se requiere de una extensa investigación en laboratorio para garantizar la estabilidad, seguridad, eficacia y persistencia de los microorganismos en el campo, lo que da lugar al desarrollo de **bioplaguicidas**.

Según el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), **un bioinsumo o bioplaguicida** es un producto que se emplea con fines de manejo integrado de plagas o para la mejora en la productividad de los cultivos y el suelo, y es elaborado de forma masiva a partir de microorganismos vivos, virus, macroorganismos, productos de ocurrencia natural o productos bioquímicos (ICA, Resolución 068370, 2020).

Los bioplaguicidas a base de microorganismos están conformados por el **ingrediente activo**, responsable de la infección (virus, hongos, bacterias, levaduras); y por los **excipientes**, que actúan como soporte. La combinación de estos es lo que se conoce como **formulación**, que busca mejorar las propiedades insecticidas, mantener la estabilidad del ingrediente activo y facilitar su aplicación en el campo. A diferencia de los plaguicidas químicos, **los bioplaguicidas son más seguros y respetuosos con el medioambiente**, debido a que son menos tóxicos y se descomponen con facilidad (figura 11). Además, su mecanismo de acción biológica reduce la probabilidad de generar resistencia en las plagas.



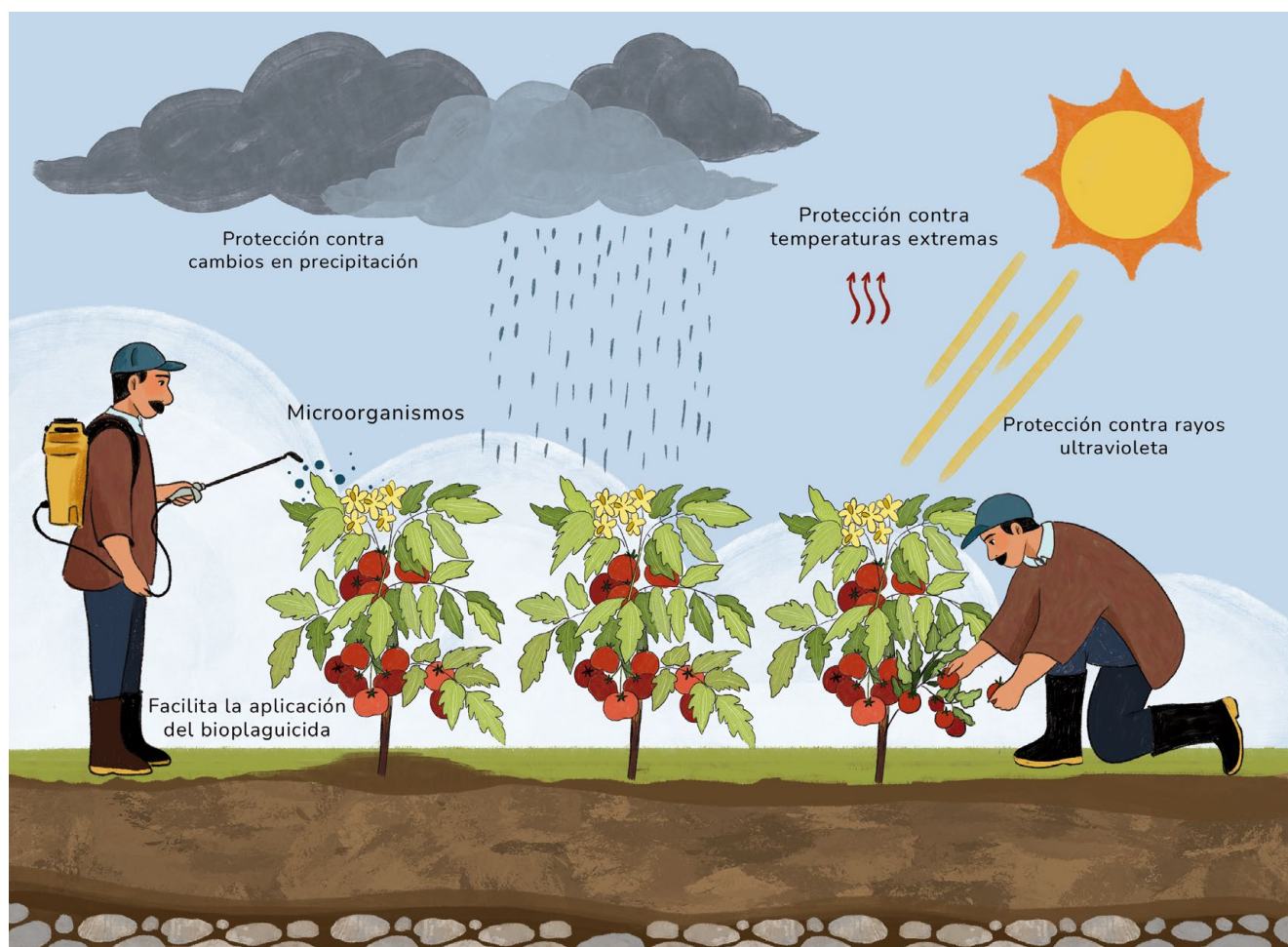


Figura 11. Bondades de las formulaciones a base de microorganismos.

Fuente: Elaboración propia

¿Sabías qué? En la actualidad, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) continúa desarrollando bioplaguicidas más persistentes, robustos y altamente eficaces para el control de plagas y enfermedades; AGROSAVIA está introduciendo nuevas estrategias de potenciación, de mejoramiento de los sistemas de producción masiva y de formulación que permitan garantizar una mayor adopción del control biológico en sistemas agrícolas.





Ensayo en plantas de tomate con aplicación de *Trichoderma harzianum*:
planta izquierda (control) y tratamientos con *Trichoderma* en el centro y derecha



Capítulo 3

Beneficios adicionales de los microorganismos para los cultivos y el medioambiente

Además de proteger los cultivos frente a plagas, **los microorganismos** también aportan muchos beneficios, como promoción de crecimiento vegetal, protección frente a condiciones de estrés abiótico, remoción de contaminantes del suelo y mejoramiento de la biodiversidad, entre otros.

¿Sabías qué? Según el Banco Mundial, el 37,6 % del entorno terrestre se dedica a la agricultura, y esta proporción seguirá en aumento. Dicho crecimiento puede alterar los ciclos de nutrientes del suelo y afectar la biodiversidad. Por ello, promover una agricultura sostenible es clave para garantizar la producción de alimentos sin comprometer la salud de los ecosistemas.



Cada día se introducen al medioambiente diferentes sustancias que alteran el balance del ecosistema y de los organismos que allí habitan. Sin embargo, **los microorganismos benéficos** han desarrollado la capacidad de adaptarse a estas condiciones y contrarrestar el efecto dañino de dichas sustancias contaminantes (Litwin et al., 2020).



Veamos a continuación otros beneficios que tienen estos maravillosos y diminutos organismos

Promoción de crecimiento vegetal

Los microorganismos entomopatógenos, que son los que causan enfermedades en insectos, además de colonizar dichos insectos, tienen la capacidad de colonizar las raíces (rizosfera) y las hojas (filosfera) de la planta sin ocasionarle daño a esta. Además, pueden ser endófitos, es decir, pueden crecer y establecerse dentro del tejido vegetal, generando asociaciones benéficas (Espinel et al., 2018).

Esta **interacción planta-microorganismo** trae muchos beneficios, ya que aumenta los rendimientos de los cultivos y disminuye el estrés biótico (patógenos de raíz y foliares, insectos plaga) y abiótico (sequía, deficiencia de nutrientes, entre otros). Durante esta asociación, los microorganismos producen diferentes enzimas y metabolitos que favorecen el crecimiento de las plantas.



Dato clave

Estos microorganismos solubilizan minerales en el suelo, dejándolos disponibles para la planta; aumentan la absorción de nutrientes; e inducen la resistencia frente a patógenos, y a condiciones medioambientales y del suelo adversas, como sequía y salinidad, entre otras.



Recuerda que **los microorganismos benéficos** pueden mejorar la germinación de semillas, estimular el desarrollo radicular y la ramificación, además de contribuir al crecimiento de tallos y la maduración de frutos (Raya-Díaz, 2018).

Existen dos mecanismos de promoción de crecimiento vegetal: directo e indirecto.

- **Mecanismos directos**

Fitohormonas: son hormonas vegetales que regulan el crecimiento, floración y formación de fruto de las plantas. Incluyen auxinas, giberelinas y citocinas, entre otras. Aunque las plantas las producen, los microorganismos benéficos pueden aumentar su acumulación en los tejidos.

Solubilización de minerales: los microorganismos del suelo producen enzimas y ácidos que ayudan a que los minerales esenciales para las plantas estén disponibles, y, de esta manera, favorecer el crecimiento de las plantas.

Sideróforos: son compuestos producidos por microorganismos cuya función es unirse al hierro y solubilizarlo para que las plantas lo puedan absorber.

¿Sabías qué? Los minerales como el potasio, el fósforo y el hierro son indispensables para el crecimiento de las plantas y se encuentran en el suelo en formas insolubles, es decir, que no se pueden absorber. Los microorganismos benéficos del suelo disuelven estos minerales de forma que las plantas los puedan aprovechar.



- **Mecanismos indirectos**

Inducción de resistencia: proceso que fortalece la defensa natural de las plantas para enfrentar enfermedades, insectos y otros factores estresantes. Esto se logra gracias a microorganismos que estimulan la producción de sustancias que destruyen los agentes patógenos.

Producción de antibióticos y enzimas: los microorganismos pueden prevenir los daños causados por los patógenos mediante la producción de antibióticos y enzimas que inhiben su crecimiento.

Competencia: los microorganismos benéficos pueden colonizar las raíces de las plantas y competir por el espacio y los nutrientes con los agentes patógenos que causan enfermedades.

¿Sabías qué? Una forma de promover el crecimiento de las plantas es protegerlas de enfermedades y plagas, esto se logra mediante el uso del control biológico. Los microorganismos entomopatógenos, además de controlar insectos; inhiben el crecimiento de hongos patógenos, tanto foliares como de raíz (Aragón & BeltránAcosta, 2018).



Protección frente al estrés abiótico

Los cultivos están expuestos día a día al estrés abiótico, el cual afecta el desarrollo de las plantas; en muchas ocasiones, los cultivos tienen bajos rendimientos y ofrecen productos de menor calidad. A continuación, repasamos las **principales condiciones de estrés abiótico** (figura 12).

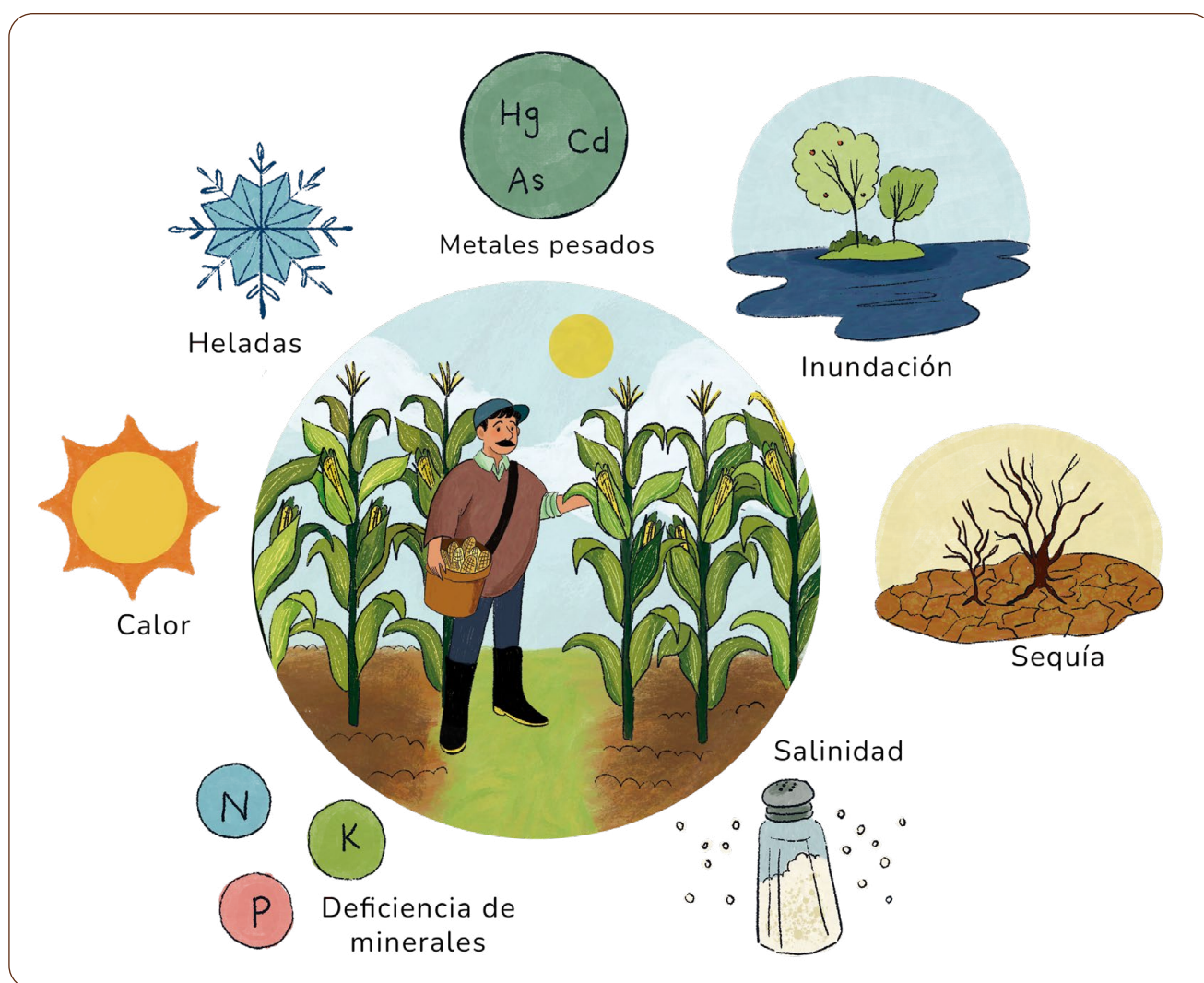
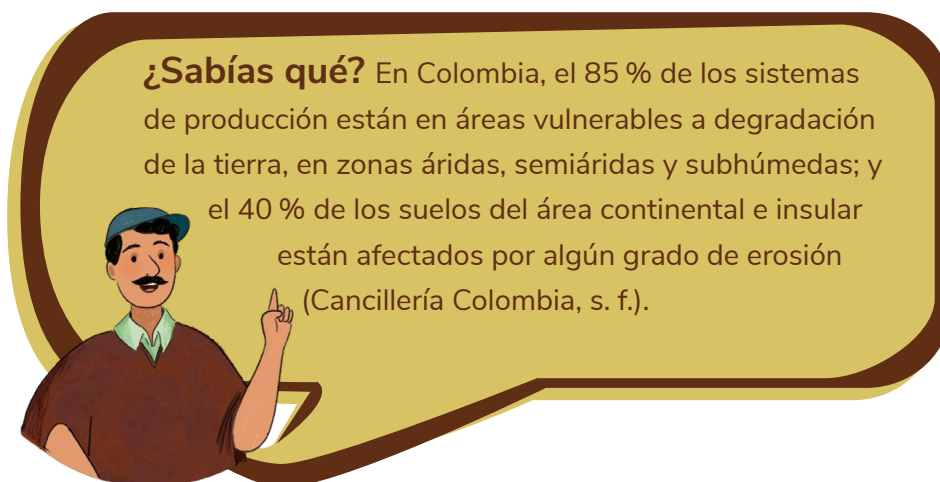


Figura 12. Condiciones de estrés abiótico que afectan los cultivos.

Fuente: Elaboración propia





Los microorganismos entomopatógenos son una solución para **mitigar el impacto** ocasionado por el estrés abiótico en los cultivos. Gracias a su versatilidad para colonizar y crecer en diferentes ambientes y condiciones extremas, su estrecha relación con las plantas les permite generar una barrera de protección frente a condiciones adversas.



Dato clave

Beauveria, *Metarhizium* y *Trichoderma* son buenos ejemplos de cómo los microorganismos pueden disminuir el efecto causado por sequía, salinidad, frío y deficiencia de nutrientes. Las plantas inoculadas con estos hongos logran desarrollarse en forma adecuada, a pesar de las condiciones de estrés (Aragón & Beltrán-Acosta, 2018).

Estos son algunos de los efectos benéficos de los microorganismos en las plantas expuestas a estrés abiótico (figura 13).



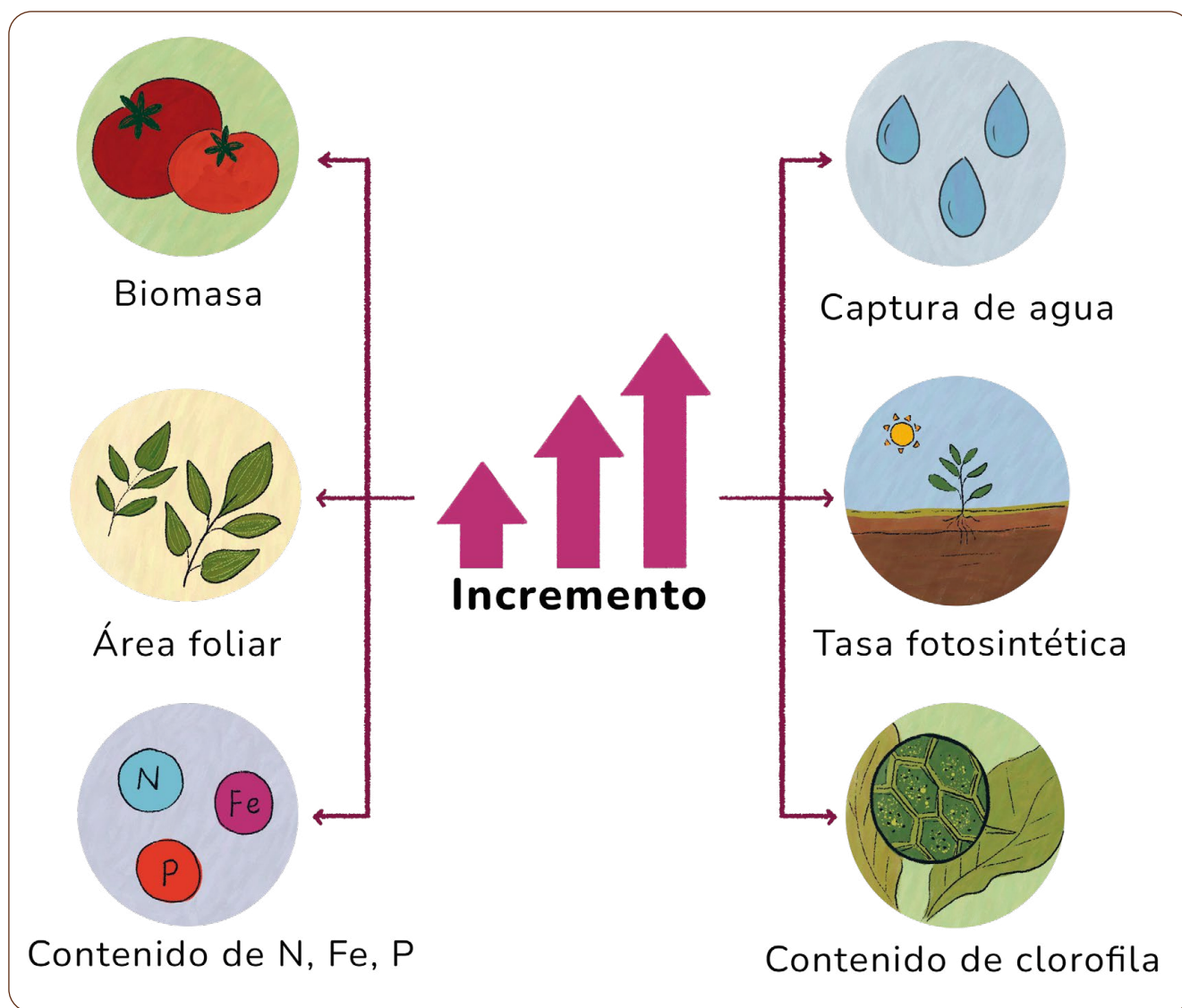


Figura 13. Beneficios de los microorganismos en plantas expuestas a estrés abiótico.
Fuente: Elaboración propia



Biorremediación

Como vimos en el capítulo anterior, **el uso excesivo de plaguicidas tiene efectos nocivos para la salud humana y animal**, así como para el medioambiente. Los contaminantes frecuentes en los suelos agrícolas suelen ser los plaguicidas y los metales pesados. Estos compuestos afectan no solo la salud humana, sino el desarrollo de las plantas y la salud del suelo.

La biorremediación es el proceso por el cual se limpian los suelos contaminados usando microorganismos, algas o plantas, principalmente. Controladores biológicos como *Trichoderma*, *Beauveria* y *Metarhizium* tienen la capacidad de biorremediar ambientes contaminados (Litwin et al., 2020; Zin & Badaluddin, 2020).

Los microorganismos benéficos pueden usar estos compuestos y degradarlos hasta convertirlos en pequeños fragmentos que resultan menos tóxicos para los seres vivos. De esta manera, a la vez que se conserva la salud de los suelos, se obtienen alimentos con menos residuos de compuestos tóxicos que afecten nuestra salud (figura 14) (Andrade-Hoyos et al., 2023).



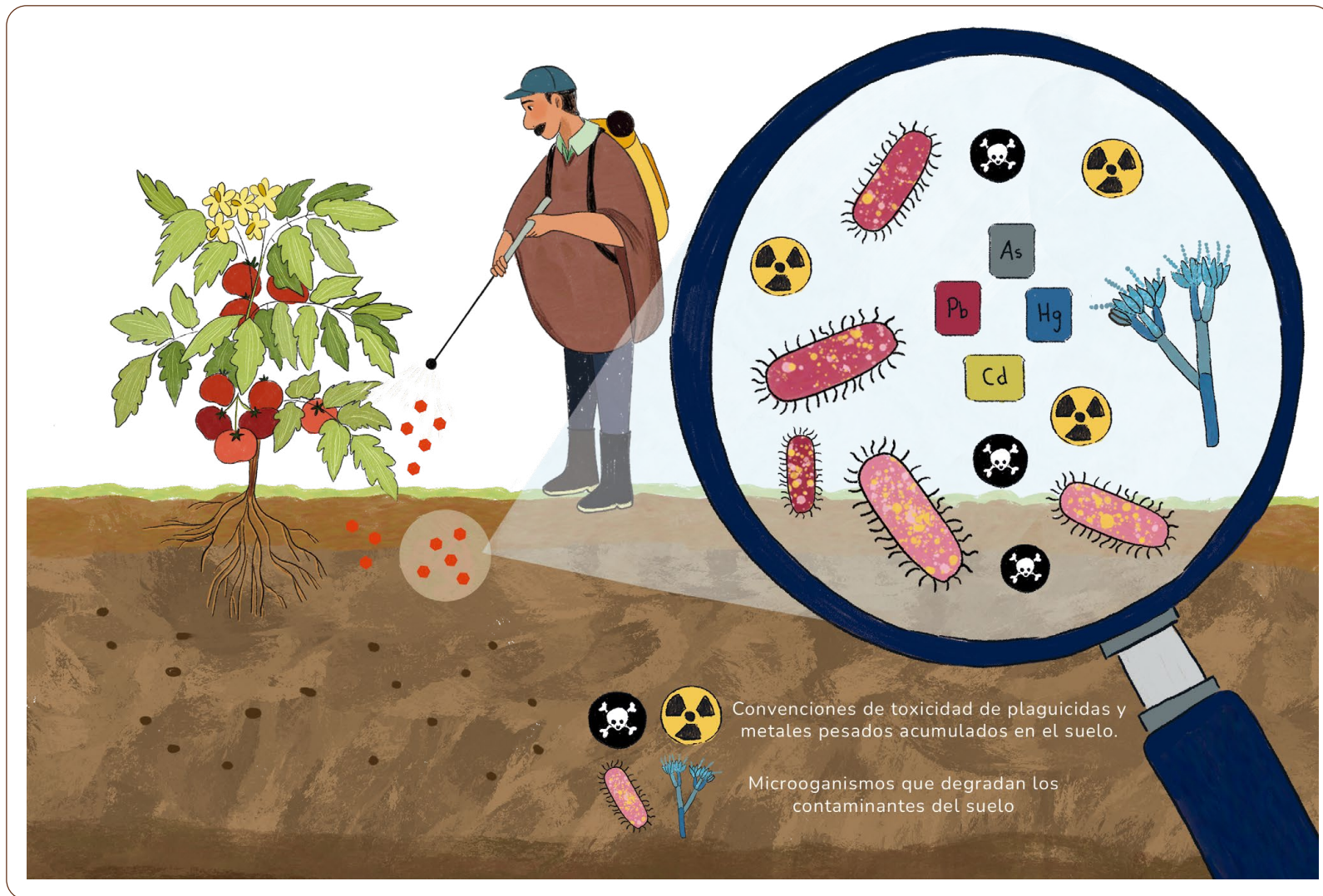


Figura 14. Presencia de contaminantes en suelo y uso de microorganismos para su biorremediación.

Fuente: Elaboración propia

Uso de microorganismos para disminuir el cambio climático

Las prácticas agrícolas convencionales tienen efecto sobre el cambio climático debido al uso de combustibles fósiles, maquinaria agrícola, fertilizantes y abonos químicos, que generan gases de efecto invernadero (Hulot & Hiller, 2021).

El óxido nitroso es un gas que constituye la mayor amenaza para la capa de ozono en el siglo XXI, y los fertilizantes nitrogenados son los que más contribuyen a su aumento en los suelos agrícolas (Ravishankara et al., 2009). El hongo *Trichoderma* tiene la habilidad de suprimir las emisiones de este peligroso gas (Wu et al., 2022).

El uso de microorganismos es crucial para la regulación del cambio climático debido a que utilizan los principales gases de efecto invernadero, lo que resulta en una disminución de su acumulación en la atmósfera.

¿Sabías qué? A causa del cambio climático, nos enfrentamos al aumento de plagas en la agricultura y a la aparición de otras nuevas que se reproducen más rápido y permanecen durante más tiempo. Además, la composición de las comunidades benéficas (como polinizadores y plantas) se verá afectada, ya que se interrumpen los ciclos de vida y las interacciones entre especies.





Cultivo de tomate bajo invernadero



Cultivo de tomate bajo invernadero

An illustration of a farmer wearing a cap and boots, carrying a backpack sprayer and using a long nozzle to spray a row of plants in a field. The background is a solid olive green color.

Capítulo 4

Los microorganismos como una herramienta dentro del manejo integrado de plagas

Como se mencionó en los capítulos anteriores, **el uso de microorganismos en sistemas agrícolas ofrece beneficios innegables**, ya que actúan como alternativa ecológica y sostenible para el control de plagas; y como estrategia integral que favorece el crecimiento y resiliencia de las plantas, además de ofrecer otros aspectos beneficiosos. No obstante, **los cultivos agrícolas son sistemas complejos, adaptables e interconectados**, en los que resulta insuficiente la aplicación aislada de microorganismos o sus bioproductos derivados. Por ello, en el marco de un **manejo integrado de plagas (MIP)**, **los microorganismos biocontroladores deben ser utilizados de manera estratégica**, combinados con otras prácticas de control físico, cultural y químico. De esta forma, se logra un control efectivo y sostenible, se minimizan los riesgos ambientales y se fomenta una agricultura responsable.

¿Cómo se toman decisiones en el manejo integrado de plagas (MIP)?

El MIP se fundamenta en la prevención, el monitoreo constante y la toma de decisiones informada. Su objetivo es mantener las poblaciones de plagas por debajo de un umbral de acción (punto en el que la población de la plaga indica que se deben tomar medidas de control), lo que evita intervenciones innecesarias. Cuando se supera este umbral, se seleccionan métodos de control para priorizar alternativas sostenibles, que deben estar consideradas en el marco de una estrategia de manejo preventivo, como el uso de bioplaguicidas, y reducir el uso de agroquímicos (figura 15).

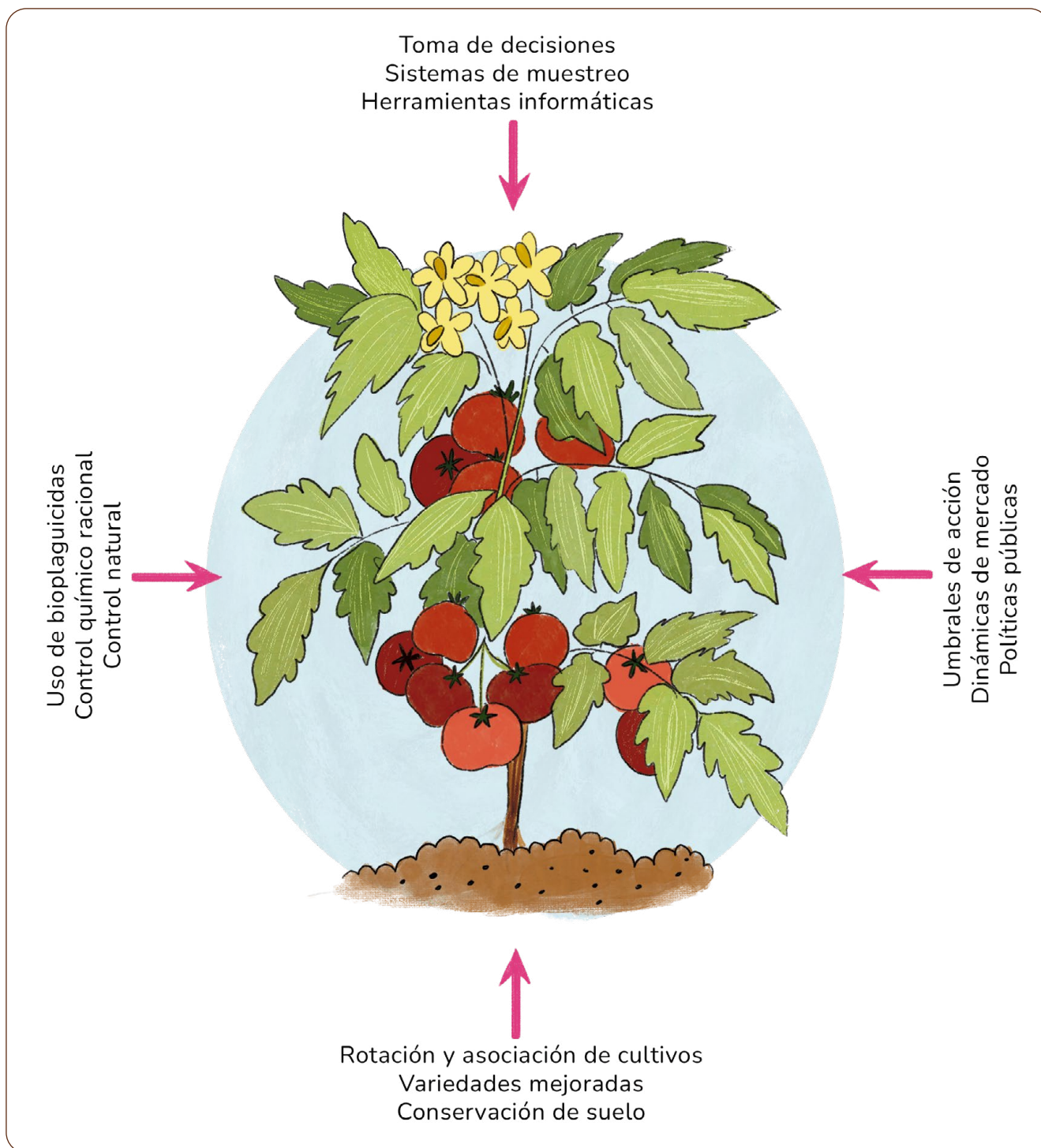


Figura 15. Esquema de manejo integrado de plagas (MIP) en busca de una agricultura sostenible.
Fuente: Elaboración propia



Los bioplaguicidas se integran en las estrategias de manejo de cultivos para reducir las aplicaciones y los principios activos químicos utilizados por ciclo de cultivo.



Dato clave

A manera de ejemplo, AGROSAVIA ha desarrollado tecnologías que utilizan microorganismos antagonistas de patógenos que afectan los cultivos y son patógenos contra insectos plaga. Así logran disminuir el uso de plaguicidas de síntesis química en varios sistemas agrícolas (Zapata & Beltrán-Acosta, 2019; Moreno-Velandia et al., 2020; Gómez-Valderrama et al., 2021; Villamizar et al., 2012) y demuestran la efectividad de su uso.

Esta oferta tecnológica se puede consultar en <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica>. Así mismo, el ICA mantiene actualizada la lista de bioinsumos que cuentan con registro y pueden ser aplicados en nuestro país (https://www.ica.gov.co/getdoc/957b5a45-a11c-4934-a0fc-86fa608aba2d/6-bd_productos-bioinsumos_30-de-abril-de-2024.aspx).

Para explicar las estrategias de manejo integrado, a continuación se hablará del cultivo de tomate bajo cubierta a manera de ejemplo.



Uso de microorganismos dentro de estrategias MIP en el cultivo de tomate

En Colombia, el cultivo de tomate ha tenido un crecimiento significativo, con 17.699 hectáreas cultivadas en 2023, de las cuales el 42 % corresponde a cultivos bajo cubierta que generan el 69 % de la producción nacional (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2023). No obstante, el control de plagas en estos sistemas está muy vinculado al uso de insecticidas químicos.

De acuerdo con Arias Rodríguez (2020), para la producción en invernadero, los productos más comunes para manejo fitosanitario según su origen fueron de síntesis química (86,5 %). Para controlar las plagas más problemáticas, tales como el gusano cogollero del tomate (*Phthorimaea absoluta*), la mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*) y la caracha (*Prodiplosis longifila*), en cada ciclo de cultivo se realizan alrededor de 25 aplicaciones, con una frecuencia de dos veces por semana (Blanco et al., 2022).

¿Cuáles son las principales enfermedades que afectan al cultivo de tomate?

El tomate es susceptible a más de 20 tipos diferentes de enfermedades. Entre las más limitantes están el moho gris (*Botrytis cinerea*), el marchitamiento vascular o secadera (*Fusarium oxysporum*), el dampingoff o marchitamiento fúngico (*Rhizoctonia solani*), el tizón temprano (*Alternaria alternata*) y el tizón tardío (*Phytophthora infestans*). Los fungicidas utilizados en el cultivo de tomate incluyen 48 diferentes ingredientes activos (Arias Rodríguez, 2020).



¿Cómo reducir la dependencia de fungicidas químicos en el cultivo de tomate?

Para reducir la dependencia de productos químicos, **es importante usar soluciones biológicas como parte de las estrategias MIP** que buscan un equilibrio entre la eficacia y la sostenibilidad. Entre estas soluciones se destacan:

- **Uso de hongos antagonistas**, como *Trichoderma* spp., que actúa contra una variedad de hongos patógenos; además, promueve el crecimiento vegetal e induce respuestas de defensa en la planta. Puede aplicarse en drench en semillero en el momento de la siembra; y también en campo, en el momento del trasplante, dirigiendo la aplicación a la base de la planta.
- **Uso de bioplaguicidas a base de entomopatógenos** para el control de insectos plaga, como el gusano cogollero del tomate y la mosca blanca. Se destacan microorganismos como *Beauveria bassiana*, *Akanthomyces lecanii*, *Bacillus thuringiensis* y granulovirus, los cuales deben ser aplicados de manera preventiva en los primeros días después del trasplante, y posteriormente dependiendo del monitoreo de las poblaciones.

Bajo este esquema de trabajo, **se presenta aquí una propuesta MIP para el cultivo de tomate bajo cubierta**, que acompañada de la experiencia y conocimiento del productor, busca contribuir a la sostenibilidad del cultivo (figura 16). Las herramientas biológicas se integran como alternativas más sostenibles en los esquemas de manejo del cultivo, contribuyendo a la reducción de plaguicidas químicos y a la sostenibilidad del cultivo de tomate bajo cubierta.



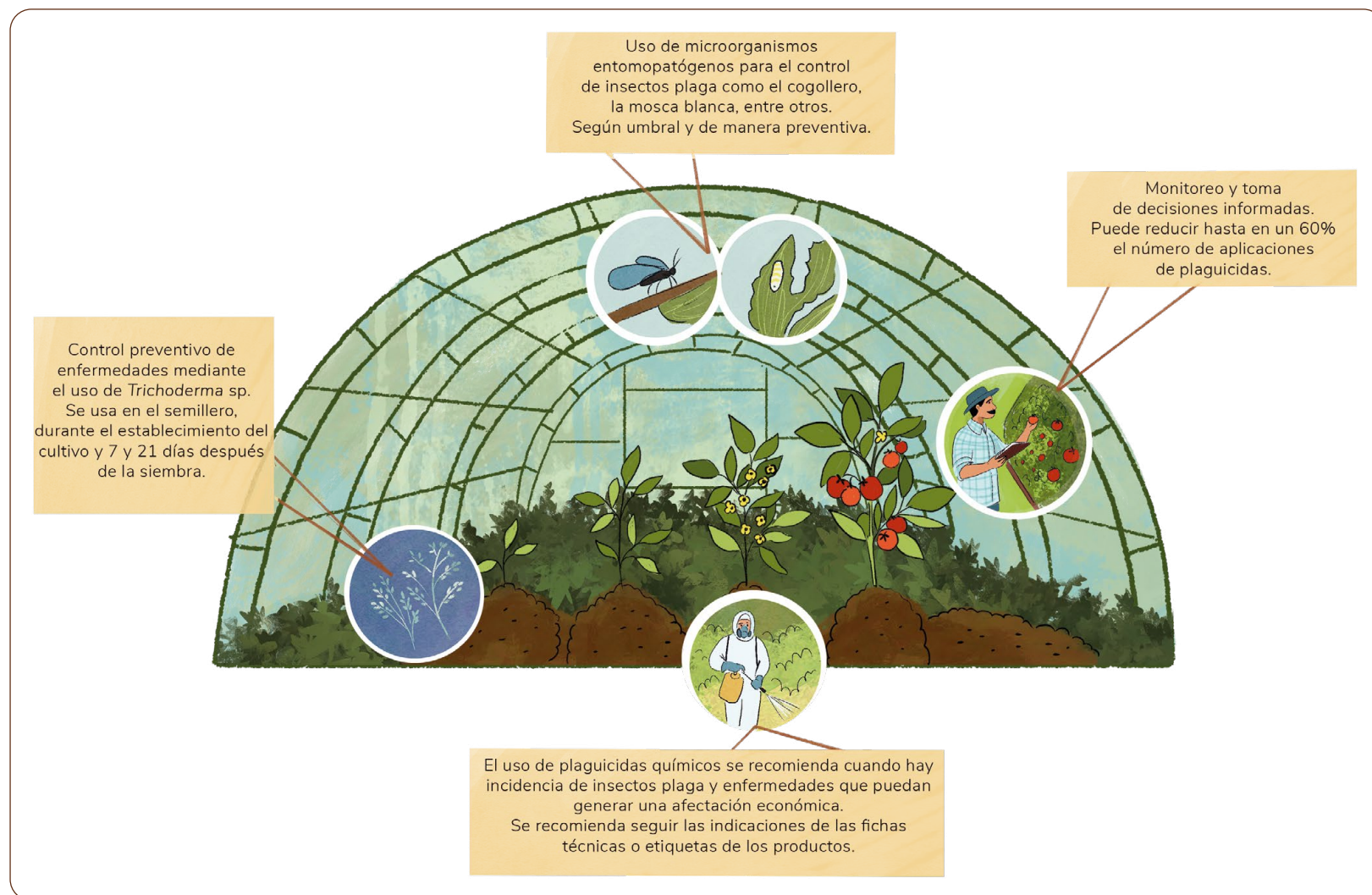
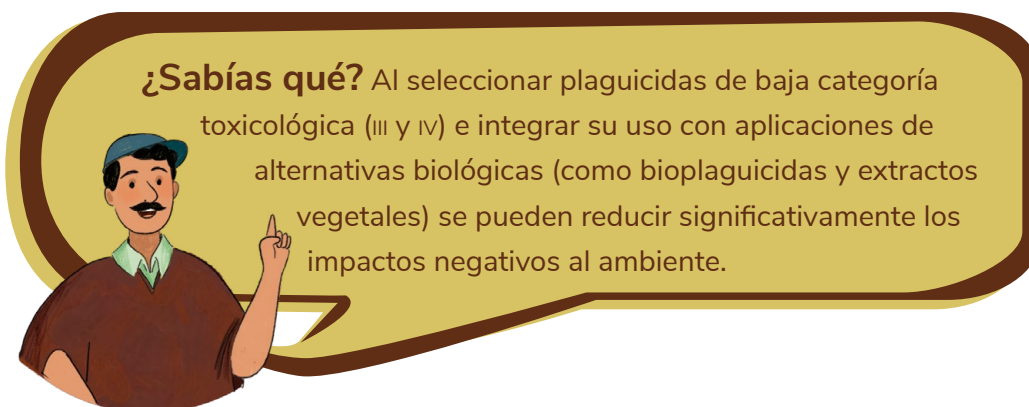


Figura 16. Ejemplo de la inclusión de microorganismos en programa MIP para el cultivo de tomate bajo cubierta.

Fuente: Elaboración propia





¿Sabías qué? Al seleccionar plaguicidas de baja categoría toxicológica (III y IV) e integrar su uso con aplicaciones de alternativas biológicas (como bioplaguicidas y extractos vegetales) se pueden reducir significativamente los impactos negativos al ambiente.

Si bien **el control biológico mediante microorganismos ofrece ventajas** en términos de sostenibilidad y menor impacto ambiental, **también presenta algunas desventajas**, las cuales exponemos a continuación:

- **Su efectividad puede ser influenciada por factores ambientales**, como la temperatura, la humedad o la luz, lo que puede reducir su capacidad para controlar plagas de manera constante. Por ello, es necesario contar con formulaciones que garanticen la efectividad y que cuenten con registro ICA que asegure estas condiciones.
- **Alta variabilidad en la respuesta de los cultivos al control biológico**, lo que puede requerir un monitoreo constante y ajustes en las estrategias de aplicación.
- **Los costos de producción y formulación pueden ser más altos** en comparación con los plaguicidas químicos convencionales, por lo que se requiere de políticas que promuevan su uso; por ejemplo, pagos por protección ambiental.





Dato clave

Estos aspectos representan retos que deben ser superados a través de la investigación científica aplicada a las necesidades reales del agroecosistema y la incorporación de un enfoque de trabajo con los productores, que evidencie los innumerables beneficios del uso de microorganismos en sus sistemas productivos descritos a lo largo de esta cartilla.

¿Sabías qué? Al rotar plaguicidas de diferentes grupos químicos y con distintos modos de acción, evitas que las plagas y los patógenos que causan enfermedades desarrollen resistencia a estos. Esta estrategia es clave para mantener la efectividad de los productos y promover un manejo integrado de plagas que sea más eficiente y sostenible.





Referencias

- Andrade-Hoyos, P., Rivera-Jiménez, M., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H., Martínez-Salgado, S., & Romero-Arenas, O. (2023). Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spp. en la agricultura: una perspectiva en el campo mexicano. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(4), 366-377. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
- Aragón, S. M., & Beltrán-Acosta, C. (2018). Capítulo 19. Los hongos endófitos en el control biológico de fitopatógenos e insectos plaga. En A. M. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: aplicaciones y perspectivas* (Vol. 2, pp. 850-877). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34157>
- Arias Rodríguez, L. A. (2020). *Evaluación agroecológica del uso y destino ambiental de plaguicidas en sistemas de producción de tomate de Boyacá y Santander en Colombia* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/6a71ff86-3e1d-4e25-9d13-4df87ef5b850/content>
- Badii, M., & Garza-Almanza, V. (2007). Resistencia en insectos, plantas y microorganismos. *Cultura Científica y Tecnológica*, 4(18), 9-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7116152>
- Badii, M., Garza-Almanza, V., & Landeros, J. (2015). Plaguicidas: efecto de los plaguicidas en la fauna silvestre. *Cultura Científica y Tecnológica*, 15, 22-44. <https://revistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/510>

- Blanco, M., Montes, F., Borrero-Echeverry, F., Solano-Blanco, A., Gómez, C., Zuluaga, P., Rivera-Trujillo, H., & Rincón, D. (2022). A participative system methodology to model pest dynamics in an agricultural setting. *Kybernetes*, 52(9), 3550-3565. <https://doi.org/10.1108/K-08-2021-0663>
- Bondareva, L., & Fedorova, N. (2021). Pesticides: Behavior in agricultural soil and plants. *Molecules*, 26(17). <https://doi.org/10.3390/molecules26175370>
- Cámara Procultivos ANDI. (2021). *Agricultura sostenible: modelo Manejo Agronómico Disruptivo*. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI). <https://www.andi.com.co/Uploads/AgriculturaSostenible%20MAD.pdf>
- Cancillería Colombia. (s. f.). *Asuntos ambientales. Desertificación*. <https://www.cancilleria.gov.co/internacional/politica/ambiental/desertificacion>
- Cotes, A. M. (2018). *El concepto de control biológico y sus premisas fundamentales*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34057>
- Eilenberg, J., Hajek, A., & Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46, 387-400. <https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>
- Espinel, C., Torres, L., Villamizar, L., Zuluaga, M. V., Bustillo, A., & Cotes, A. M. (2018). Hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos plaga. En A. M. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros* (Vol. 1, pp. 334-367). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7402537>
- Gómez-Valderrama, J., Cuartas-Otálora, P., León-Martínez, G., & Quiroga-Cubides, G. (2021). *Bioplaguicida Erytec®: Alternativa biológica para el control del gusano cachón *Erinnyis ello* en los cultivos de caucho y yuca*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7404975>
- Henao, A., & Gómez, L. E. (2020). Plaguicidas prohibidos y en vigilancia en el mundo y su estado en Colombia. *Revista Semillas*, 75/76, 37-42. <https://semillas.org.co/apc-aa-files/353467686e6667686b6c676668f16c6c/10-plaguicidas-prohibidos-y-en-vigilancia-en-el-mundo-y-su-estado-en-colombia.pdf>



- Hulot, J., & Hiller, N. (2021). Exploring the benefits of biocontrol for sustainable agriculture: A literature review on biocontrol in light of the European Green Deal. Institute for European Environmental Policy. <https://ieep.eu/publications/exploring-the-benefits-of-biocontrol-for-sustainable-agriculture>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). Resolución 068370. “Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de productor, productor por contrato, envasador, importador y departamentos técnicos de ensayos de eficacia agronómica de Bioinsumos para uso agrícola; así como los requisitos para el registro de Bioinsumos para uso agrícola”. <https://www.ica.gov.co/getattachment/Areas/Agricola/Servicios/Fertilizantes-y-Bio-insumos-Agricolas/Resolucion-068370-del-27-de-mayo-de-2020.pdf.aspx?lang=es-CO>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2021). Resolución 092101. “Por medio de la cual se suspende temporalmente el registro de los productos formulados que contengan como ingrediente activo Fipronil y que dentro de los usos aprobados estén los cultivos de aguacate, café, cítricos y/o pasifloras”. <https://www.ica.gov.co/getattachment/6a3ce116-697d-413b-a07c-b5e478363a84/2021R92101.aspx>
- Kalyabina, V., Esimbekova, E., Kopylova, K., & Kratasyuk, V. (2021). Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health – a review. *Toxicology Reports*, 8, 1179-1192. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.06.004>
- Leska, A., Nowak, A., Nowak, I., & Górczyńska, A. (2021). Effects of insecticides and microbiological contaminants on *Apis mellifera* health. *Molecules*, 26(16), 1-25. <https://doi.org/10.3390/molecules26165080>
- Litwin, A., Nowak, M., & Różalska, S. (2020). Entomopathogenic fungi: unconventional applications. *Environmental Science and Bio/Technology*, 19(1), 23-42. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09525-1>
- Monge, L. A. (1986). Manejo Racional de Insecticidas. Resistencia y rotación. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Moreno-Velandia, C., Izquierdo-García, L., Zapata-Narváez, Y., Beltrán-Acosta, C., & Zuluaga-Mogollón, M. (2020). Tricotec® WG biofungicida: Recomendaciones de uso y patógenos blanco. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403787>



- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Organización Mundial de la Salud. (1997). Definiciones para los fines del Codex Alimentarius. Definiciones de los términos del análisis de riesgos relativos a la inocuidad de los alimentos. En *Comisión del Codex Alimentarius: Manual de procedimiento*. <https://www.fao.org/4/w5975s/w5975s08.htm#definiciones%20de%20los%20t%C3%A9rminos%20del%20an%C3%A1lisis%20de%20riesgos%20relativos%20a%20>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *Clasificación recomendada por la oms de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019*. [WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, 2019 edition]. Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/337246/9789240016057-spa.pdf?sequence=1>
- Ravishankara, A., Daniel, J., & Portmann, R. (2009). Nitrous Oxide (N₂O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st Century. *Science*, 326(5949), 123-125. <https://doi.org/10.1126/science.1176985>
- Raya-Díaz S. (2018). *Los hongos entomopatógenos endófitos mejoran la nutrición férrica y el crecimiento vegetal* [Tesis doctoral]. Universidad de Córdoba, España UCOPress. <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/15987>
- Rodríguez, E. M. (2015, octubre 15). *Agroquímicos en Argentina: ¿dónde estamos? ¿hacia dónde vamos?* [Ponencia] Presentación del Informe Ambiental Anual de la FARN, Mar del Plata, Argentina. <http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/2396>
- Secretaría de la CIPF. (2022). *Guía de condición de plagas: Comprensión los principales requisitos para la determinación de la condición de una plaga*. Roma, FAO en nombre de la Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. <https://doi.org/10.4060/cb6103es>
- Sarkar, S., Dias-Bernardes, J., Keeley, J., Möhring, N., & Jansen, K. (2021). *The use of pesticides in developing countries and their impact on health and the right to food*. European Parliament. <https://doi.org/10.2861/28995>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2023). *Resultados Evaluaciones agropecuarias 2023*. https://upra.gov.co/es-co/Evas_Documentos/Resultados%20Evaluaciones%20Agropecuarias%202023.pdf



- Varela-Martínez, D., Fuentes-Molina, N., & Riaño-Herrera, D. (2022). A historical review of the use of pesticides in Colombian agriculture. *Preprints*, 2022040277. <https://doi.org/10.20944/preprints202204.0277.v2>
- Villamizar, L., Espinel, C., Varón, E., Jiménez, N., Zuluaga, M., Grijalba, É., Santos, A., Cruz, M., Uribe, L., Aragón, S., Rivera, H., Cotes, A., López, A., & Gómez, M. (2012). *Uso de Lecanicillium lecanii para el control de la mosca blanca Bemisia tabaci en algodón y berenjena*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.libro.2012.1>
- Villamizar, L., Cuartas, P., Gómez, J., Barrera, G., Espinel, C., & Lopez-Ferber, M. (2018). Virus entomopatógenos en el control biológico de insectos. En A. M. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros*. (Vol. 1, pp. 368-409). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7402537>
- World Bank Open Data. (2022). *Agricultural land (% of land area)*. <https://data.worldbank.org/indicator/ag.Lnd.agri.zs?amp%3Bstart=2008&end=2021&start=1961>
- Worldometer. (2022). *Pesticide use by country*. <https://www.worldometers.info/food-agriculture/pesticides-by-country/>
- Wu, H., Chen, S., Ding, J., Tian, W., Wang, T., Shen, L., Li, Y., Liu, Z., & Li, J. (2022). New finding of *Trichoderma asperellum* in decreasing soil N₂O emission. *Chemical And Biological Technologies in Agriculture*, 9(77). <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00338-8>
- Zapata, Y., & Beltrán-Acosta, C. (2019). Evaluation of proposed integrated diseases management strategies in blackberry cultivation according to its sustainability. *Revista Brasileira de Fruticultura* 41(5): e-499. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019499>
- Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003>



*Estrategias basadas en microorganismos
para el control de plagas se terminó de imprimir
en diciembre de 2025, en los talleres de DGP Editores.*



Esta cartilla es una invitación a conocer el importante papel que tienen los microorganismos en la agricultura. A través de ejemplos sencillos, se muestra cómo pueden ayudar a reducir plagas y enfermedades, cuidar los cultivos, mejorar el crecimiento de las plantas, proteger el suelo y reducir el impacto del cambio climático. Además, se explican estrategias que ayudan a disminuir el uso de productos químicos y a mantener el equilibrio con el medioambiente.

Más que un texto técnico, AGROSAVIA, en su misión de contribuir a la producción agrícola sostenible, presenta esta cartilla que busca despertar la curiosidad por aprender nuevas formas de producir más amigables con la naturaleza y con la salud del planeta.



correo: bac@agrosavia.co
teléfono: (+57) 601 914 4677

Distribución gratuita
Prohibida su venta

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Centro de Investigación Tibaitatá.
Km 14 vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca.
Código postal 250047, Colombia.

Línea de atención al cliente: (+57) 601 914 4677
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co