

Perspectivas científicas del agro

Serie de documentos de trabajo

Vigilancia Científica de estrategias de control y manejo de plagas cuarentenarias ausentes (PCA) en Colombia

Alexis Morales Castañeda





Serie de documentos de trabajo

Perspectivas científicas del agro

Vigilancia Científica de estrategias de control y manejo de plagas cuarentenarias ausentes (PCA) en Colombia

Autor

Alexis Morales Castañeda

Mosquera, Diciembre 2025

La elaboración de este documento se deriva de las acciones de monitoreo y seguimiento de información científica, desarrollados por el Departamento de Inteligencia Científica y Tecnológica de la Dirección de Investigación y Desarrollo de Agrosavia.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Sede Central. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, Cundinamarca. Código postal 250047, Colombia.

Citación sugerida: Morales-Castañeda, A. (2025). *Vigilancia Científica de estrategias de control y manejo de plagas cuarentenarias ausentes (PCA) en Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

DOI: 10.21930/agrosavia.vigilanciainvestigativa.2025.5

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

<http://www.agrosavia.co>



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

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, y declaran, 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.

Tabla de Contenido

Introducción	6
Indicadores de actividad bibliométrica	7
Dinámica de publicaciones	7
Autores destacados	9
Referentes en investigación con relacionamiento de países e instituciones	11
Red de colaboración de países.....	13
Tendencias de investigación en línea de tiempo	16
Principales plagas estudiadas	17
Estrategias relevantes de control de plagas	23
Estrategias de control de plagas que utilizan IA	26
1. Modelado y Predicción de Poblaciones (Forecasting)	26
2. Monitoreo y Detección Automatizada (Visión por Computadora).....	27
3. Aplicaciones de la IA en la Biología de Plagas	28
4. Diseño y Optimización Molecular de Controles.....	28
5. Evaluación de Estrategias de Manejo	29
Mapa temático de tendencias.....	30
Dendrograma de tópicos temáticos	34
Clúster 1 – Biocontrol microbiano y entomopatógenos en lepidópteros	34
Clúster 2 – Manejo integrado y control de dípteros invasores de frutos	36
Clúster 3 – Dinámica poblacional y rasgos de historia de vida en chinches de cultivos básicos.....	37
Clúster 4 – Insecticidas, resistencia y aproximaciones moleculares en insectos y nematodos	38
Clúster 5 – Manejo de plagas y uso combinado de insecticidas y control biológico bajo cambio climático	40
Principales tendencias de investigación y perspectivas	41
Convergencia entre biocontrol clásico y herramientas moleculares	42
Crecimiento de programas integrados para plagas invasoras y cuarentenarias	42
Incorporación progresiva de plagas forestales y cambio climático en la agenda central	42
Reforzar y diversificar la posición en la red de colaboración	43

Lista de Figuras

Figura 1. Dinámica de publicaciones 2020-2024.....	7
Figura 2. Principales autores según publicaciones de Scopus 2020-2024.....	11
Figura 3. Principales países según producción bibliográfica	12
Figura 4. Red internacional de colaboración	13
Figura 5. Red de Coocurrencia de palabras clave de insectos plaga.....	18
Figura 6. Mapa temático principales tendencias de investigación	33
Figura 7. Dendrograma de tópicos temáticos	34
Figura 8. Clúster 1 – Biocontrol microbiano y entomopatógenos en lepidópteros	35
Figura 9. Clúster 2 – Manejo integrado y control de dípteros invasores de frutos	37
Figura 10. Clúster 3 – Dinámica poblacional y rasgos de historia de vida en chinches de cultivos básicos	38
Figura 11. Clúster 4 – Insecticidas, resistencia y aproximaciones moleculares en insectos y nematodos	40
Figura 12. Clúster 5 – Manejo de plagas y uso combinado de insecticidas y control biológico bajo cambio climático	41

Lista de Tablas

Tabla 1. Publicaciones científicas relevantes con afiliación colaborativa de Colombia	19
Tabla 2. Publicaciones relevantes en la cuales ha participado colaborativamente Colombia	21

Autor

Alexis Morales Castañeda

Orcid: [0000-0003-1246-6513](https://orcid.org/0000-0003-1246-6513)

Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, con experiencia en vigilancia científica y tecnológica, inteligencia competitiva, análisis de redes de investigación, información de propiedad intelectual y redacción de patentes. Su trabajo se ha enfocado en el análisis de información bibliográfica y procesamiento con software de análisis bibliométrico con el fin de contribuir al análisis de tendencias en investigación, desarrollo e innovación para el sector agropecuario.

Introducción

Las Plagas Cuarentenarias Ausentes (PCA) en Colombia corresponden a organismos (Artrópodo, Fungi, Chromista, maleza, Nemátodo, Procariota, Protozoa, Virus, Viroide) que pueden causar daño en sistemas productivos agropecuarios y forestales y que, aunque no están presentes o están muy limitadas en Colombia, representan una amenaza económica y ambiental significativa para los cultivos y recursos forestales.

Estas plagas generan pérdidas económicas considerables y obligan a la implementación de rigurosas medidas fitosanitarias, y severas restricciones en la importación para países que deben mantener su estatus de libre de plagas, protegiendo así la producción nacional y las exportaciones.

La amenaza de introducción de PCA al país configura un desafío significativo debido a la creciente amenaza de plagas invasoras y cuarentenarias que comprometen la seguridad alimentaria, la calidad de los cultivos y el comercio internacional. Factores como la intensificación del comercio global, el cambio climático y la expansión de los hábitats favorables, pueden facilitar de forma negativa la dispersión y el establecimiento de especies altamente destructivas.

En el presente análisis se identifican y analizan las principales tendencias de investigación a nivel mundial vinculadas con el tema de estrategias de control y manejo de insectos plaga identificados como PCA en Colombia. El análisis comprende información de dinámica de publicaciones, autores, instituciones y fuentes de consultas más destacadas y otros referentes de investigación, así como los tópicos de investigación más relevantes. Para la elaboración de mapa temático de tendencias y el dendrograma de tópicos se utilizó como herramienta el software libre con interfaz web Bibliometrix® (Aria & Cuccurullo, 2017), el cual permite generar indicadores cuantitativos y la identificación de tendencias relevantes. Con relación a la identificación de clústeres con tópicos de investigación afines se utilizó software libre VOSviewer® (van Eck & Waltman, 2010), herramienta que a través de cálculos algorítmicos permite analizar la coocurrencia de palabras claves visualizada en una red representada en un gráfico de nodos y líneas de relacionamiento. Esta información servirá como insumo de información para la potencial formulación de planes de manejo y

estrategias de control de estas plagas en el supuesto de un posible ingreso al país de las mismas.

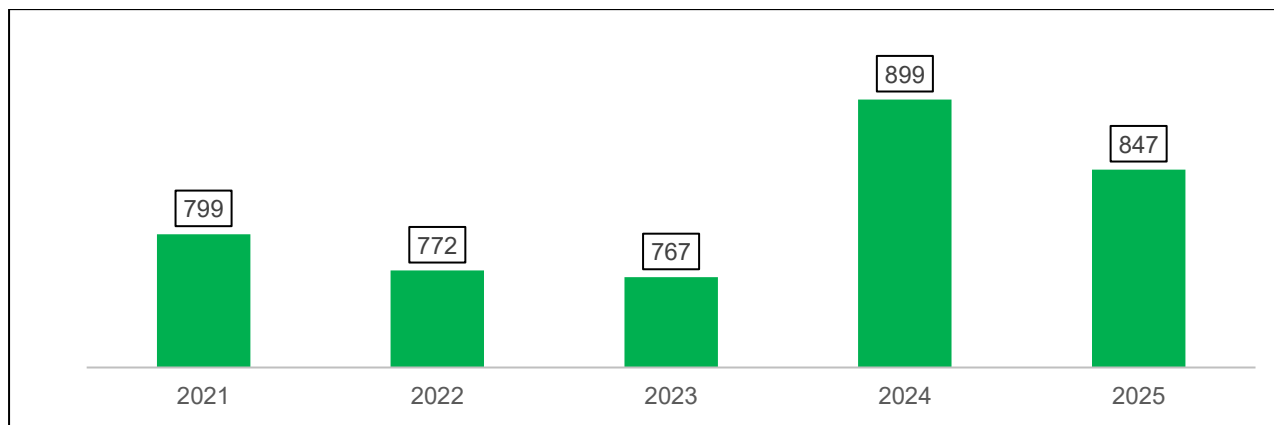
Indicadores de actividad bibliométrica

Para el análisis del tema de estrategias de control y manejo de plagas cuarentenarias ausentes (PCA) en Colombia, se descargaron 4.096 registros de publicaciones científicas de la base de datos Scopus® para el periodo 2021-2025 utilizando una ecuación de búsqueda (Ver Anexo 1) que incluía 326 nombres científicos de insectos y ácaros plaga registrados en la lista de PCA identificadas y publicadas oficialmente por la Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria del Instituto Colombiano Agropecuario en la resolución 3593 de 2015 actualizada en 2020. La ecuación fue complementada con las palabras clave “control” y “pest management” con el fin de identificar publicaciones relacionadas con estrategias de control y manejos de plagas.

Dinámica de publicaciones

En el periodo analizado, el conjunto de publicaciones experimentó un crecimiento promedio anual del 1,8% y un 8,8% acumulado pasando de 799 publicaciones en 2021 a 847 en 2025 aumentando en promedio 10 publicaciones por año y un promedio de 6,2 citaciones por publicación (Fig 1). Un total de 12.185 autores participaron en la generación de publicaciones con un promedio de 6 autores por publicación y 24.91% de participación de coautoría internacional.

Figura 1. Dinámica de publicaciones 2020-2024



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en diciembre de 2025. Software de procesamiento Excel®

El análisis del ciclo de vida de la producción científica sobre estrategias de manejo y control de plagas cuarentenarias en cultivos aún no presentes en Colombia, realizado mediante el modelo logístico implementado en Bibliometrix[®], muestra que este campo se encuentra en una fase de rápido crecimiento. El modelo estima una capacidad de saturación de aproximadamente 19.500 publicaciones y en el año 2025 se han registrado 4.090 documentos, lo que corresponde a cerca del 21 % del total esperado. A partir de 2024 se observa una desaceleración gradual del crecimiento, aunque las proyecciones indican que el volumen de conocimiento seguirá aumentando de forma importante durante la próxima década: hacia 2030 se habrían acumulado cerca de 13.700 publicaciones y para 2035 alrededor de 16.600, es decir, cerca del 85 % de la producción total estimada. Estos resultados sugieren que actualmente existe una ventana particularmente intensa de generación de evidencia científica a nivel mundial, lo que resulta estratégico para países como Colombia, en donde la incorporación y adaptación de estas estrategias de manejo y control es clave para fortalecer la preparación frente a la posible introducción de plagas cuarentenarias en cultivos de importancia agrícola.

Las publicaciones de mayor relevancia y con el mayor número de citas en el periodo analizado fueron

- “*Biological control of a phytosanitary pest (Thaumatotibia leucotreta): A case study*”, MOORE, Sean D., 2021; DOI 10.3390/ijerph18031198 (36 citas) en la cual se evalúa la eficacia de una estrategia de manejo integrada de esta plaga, conocida como falsa polilla de la manzana que afecta cultivos de cítricos en Sudáfrica y que perjudica gravemente su exportación hacia mercados internacionales con estrictas normas fitosanitarias que implican tolerancia cero de larvas vivas en los cargamentos. El objetivo de la estrategia tiene un enfoque biológico integral, mediante una combinación de parasitoides, depredadores, control microbiano, semioquímicos y la técnica de insectos estériles, en la cual los autores proponen un manejo que no solo garantiza la eficacia contra la plaga, sino que también mejora la seguridad ambiental y facilita el cumplimiento de las restricciones globales sobre residuos químicos en los alimentos.

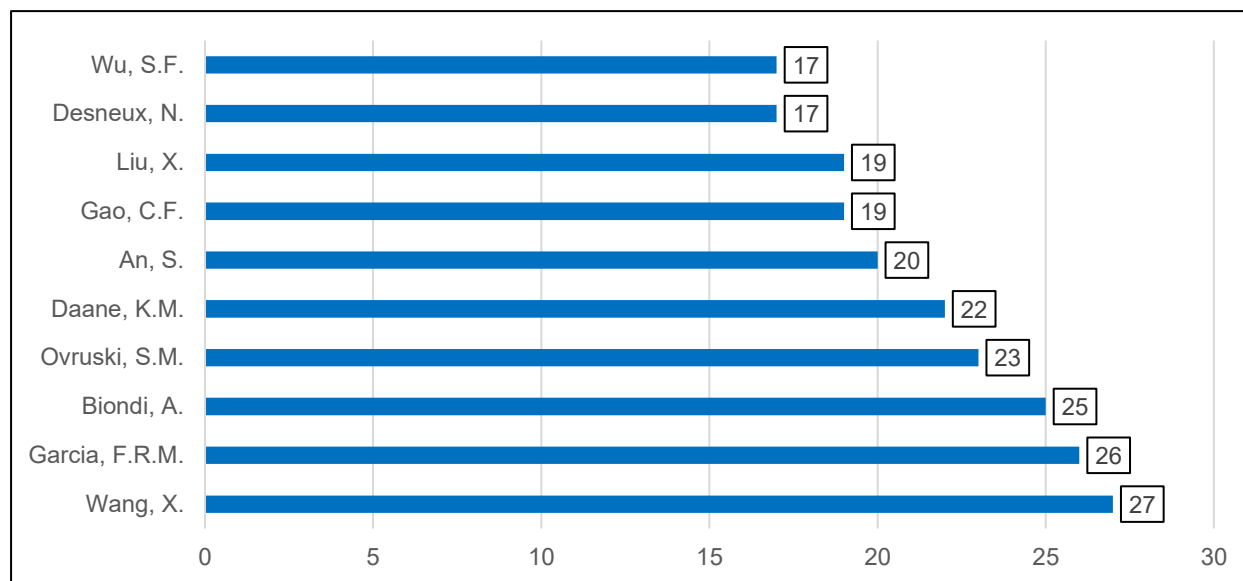
- “*Floating chitosan-alginate microspheres loaded with chlorantraniliprole effectively control Chilo suppressalis (Walker) and Sesamia inferens (Walker) in rice fields*”, Yang, L., et al., 2021; DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.147088 (31 citaciones). Este artículo describe el desarrollo de microesferas de hidrogel flotantes diseñadas para combatir dichas plagas específicas en arroz. Mediante el uso de materiales biodegradables, los investigadores lograron encapsular un pesticida para que se libere de forma gradual y controlada directamente en los tallos de las plantas. Este método innovador supera las deficiencias de los químicos tradicionales, los cuales suelen desperdiciarse por la deriva o la absorción del suelo, contaminando el ecosistema. Los resultados demostraron que esta tecnología no solo mejora la eficacia en el control de insectos, sino que también reduce drásticamente los residuos tóxicos en el terreno. Por lo tanto, el estudio propone una alternativa más sostenible y precisa para proteger la producción agrícola sin comprometer la salud ambiental.

Autores destacados

El autor Xingeng Wang quien trabaja para la USDA ARS *Beneficial Insects Introduction Research Unit* de Estados Unidos registra la mayor productividad científica con 27 documentos enfocados en diversas estrategias de control biológico para combatir a la mosca invasora *Drosophila suzukii*, una plaga que devasta cultivos de frutas a nivel mundial. También destacan investigaciones del papel de parasitoides especializados provenientes de Asia, como *Ganaspis kimorum* y *Leptopilina japonica*, evaluando su eficacia, métodos de cría masiva y protocolos de almacenamiento en frío, así como las interacciones ecológicas entre estas especies introducidas y los parasitoides nativos, así como su compatibilidad con bioinsecticidas dentro de programas de manejo integrado de plagas. Sus estudios proponen un marco sostenible que combina el control biológico clásico con herramientas tecnológicas para reducir la dependencia de pesticidas químicos. Como complemento, el autor ofrece guías metodológicas y bases de datos genéticas para fortalecer la investigación futura sobre estos enemigos naturales.

En segundo lugar, de importancia figura F. R.M Garcia, de la Universidad Federal de Pelotas con 26 artículos relacionados con estrategias avanzadas para el manejo de plagas agrícolas en el Cono Sur, centrándose especialmente en la mosca del mediterráneo y la *Drosophila* de alas manchadas. Sus estudios evalúan la efectividad del control biológico mediante el uso de parasitoides nativos y exóticos, así como la aplicación de nematodos entomopatógenos para reducir las poblaciones de insectos. Se analiza además la compatibilidad entre insecticidas químicos y agentes biológicos, junto con la implementación de la técnica del insecto estéril en diversas condiciones climáticas. Se destaca la importancia de comprender la ecología y distribución espacial de estas especies invasoras para proteger la producción de frutas en Argentina, Brasil y Uruguay. Finalmente, se proponen modelos de gestión integrada que combinan herramientas biotecnológicas con prácticas culturales sostenibles para mitigar el impacto económico en la región.

Como tercer autor destacado se encuentra el italiano Antonio Biondi de la Universidad de Catania con 25 publicaciones centradas en investigaciones sobre estrategias avanzadas de manejo integrado de plagas para combatir especies invasoras, principalmente la mosca *Drosophila suzukii* y el escarabajo *Xylosandrus compactus*, donde se evalúa el uso de control biológico mediante avispas parasitoides como *Ganaspis kimorum*, examinando su eficacia, métodos de cría masiva y compatibilidad con insecticidas convencionales y biorracionales. Asimismo, explora el potencial de agentes innovadores como fungicidas microbianos, aceites esenciales encapsulados con nanotecnología y depredadores naturales para reducir el impacto económico en los cultivos. Su enfoque principal reside en identificar soluciones sostenibles y selectivas que minimicen los daños a organismos no objetivo y al medio ambiente.

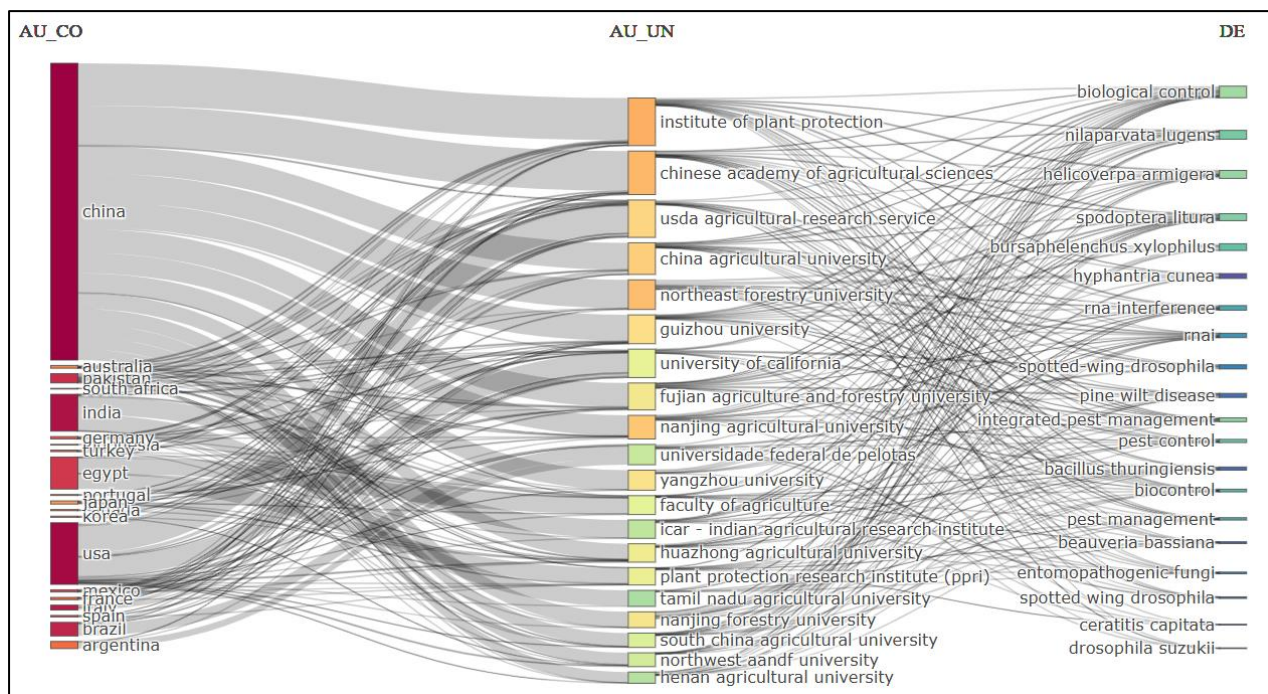
Figura 2. Principales autores según publicaciones de Scopus 2020-2024

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en diciembre de 2025. Software de procesamiento Excel®

Referentes en investigación con relacionamiento de países e instituciones

Analizando el relacionamiento entre países, instituciones y palabras clave utilizadas por autores, se puede evidenciar que el país más sobresaliente es China que a través del Institute of Plant Protection y Chinese Academy of Agricultural Sciences concentrando sus investigaciones en explorar diversas estrategias avanzadas para el manejo integrado de plagas agrícolas, centrándose especialmente en especies destructivas como *Spodoptera litura*, *Helicoverpa armigera* y el pulgón del arroz. Los estudios examinan los mecanismos moleculares de resistencia a los insecticidas químicos, proponiendo el uso de tecnología de ARN de interferencia (RNAi) y cultivos transgénicos con toxinas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) como alternativas eficaces. Otro foco temático de las investigaciones de estas instituciones aborda la importancia del control biológico, evaluando la eficiencia de depredadores naturales, avispas parasitoides y hongos entomopatógenos para reducir las poblaciones de insectos de forma sostenible. La ecología química también es un eje central, analizando cómo las feromonas de feromonas y los volátiles de las plantas pueden ser utilizados para el monitoreo y la manipulación del comportamiento de las plagas.

Figura 3. Principales países según producción bibliográfica



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información Recuperada en diciembre de 2025. Software de procesamiento Bibliometrix®

Como segundo país relevante se encuentra Estados Unidos, con instituciones relevantes como el USDA y la Universidad de California, enfoca sus esfuerzos en la resistencia a insecticidas y métodos de manejo biológico. Sus investigaciones analizan cómo especies devastadoras, como la mosca del ala manchada (*Drosophila suzukii*) y el escarabajo de la patata, desarrollan mecanismos genéticos para evadir toxinas y biopesticidas de ARN de interferencia. Por otro lado, se han realizado propuestas de soluciones innovadoras que incluyen el uso de avispas parasitoides, hongos entomopatógenos y nanotecnología para mejorar la entrega de compuestos activos. Asimismo, se evalúan tácticas de comportamiento como los sistemas de atracción y muerte, repelentes químicos y la técnica del insecto estéril.

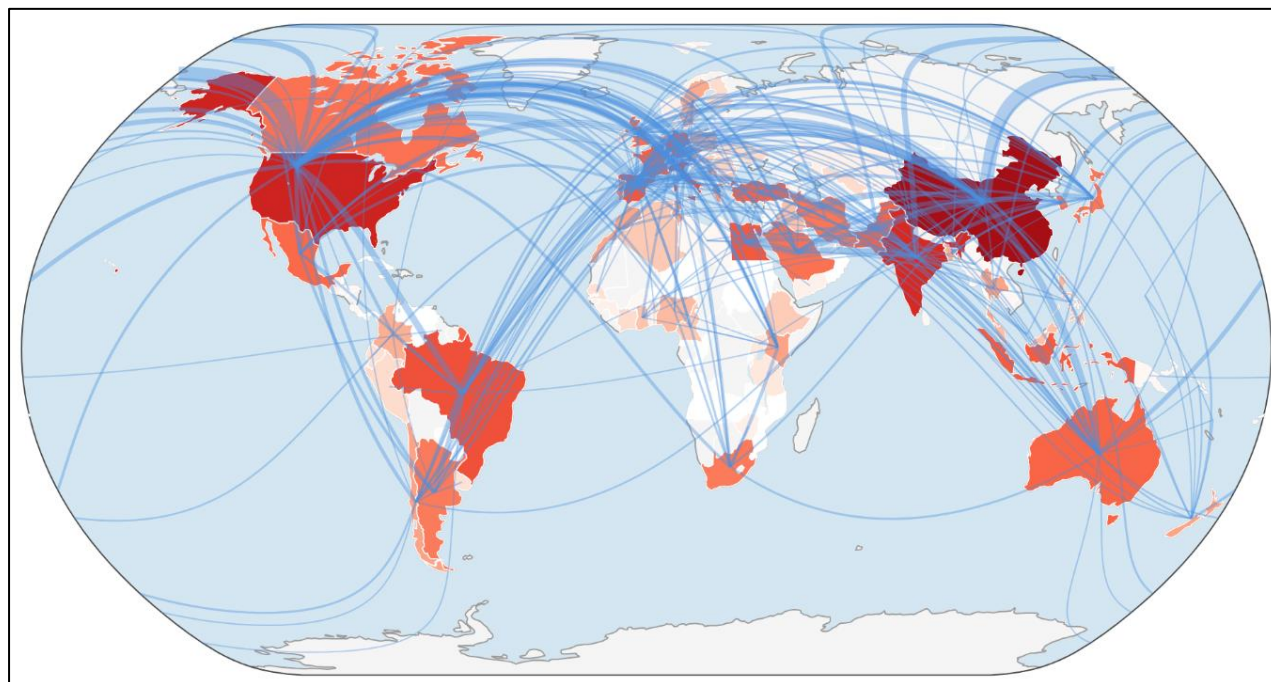
Otro país líder importante es India, con instituciones destacadas como el ICAR (Indian Agricultural Research Institute) y la Tamil Nadu Agricultural University que han centrado sus estudios en la evaluación de la eficacia de biopesticidas botánicos, como aceites esenciales y extractos de plantas, junto con el uso de nanotecnología aplicada mediante nanopartículas de plata y sílice. Asimismo, se destacan estudios de agentes de control

biológico, incluyendo hongos entomopatógenos, bacterias endófitas y nemátodos, para combatir insectos plaga como *Spodoptera litura* y *Helicoverpa armigera*. Así mismo, se abordan temas como mecanismos de resistencia insecticida y el impacto de estos tratamientos en la fisiología nutricional y enzimática de las plagas.

Red de colaboración de países

La red internacional de colaboración entre países presenta una estructura claramente jerarquizada. Un pequeño grupo de naciones concentra la mayor parte de las coautorías y actúa como núcleo organizador del sistema. Estados Unidos destaca como principal hub, con 548 colaboraciones y vínculos con al menos 60 socios distintos. Le siguen China, Italia, Alemania, Francia, España, Arabia Saudita, India, Australia y Reino Unido, que acumulan entre 140 y 400 colaboraciones y se conectan con más de 35 países cada uno. Solo los cinco primeros concentran cerca de dos tercios de todas las colaboraciones, lo que evidencia una distribución muy desigual de oportunidades de interacción científica.

Figura 4. Red internacional de colaboración



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información Recuperada en diciembre de 2025. Software de procesamiento Bibliometrix®

Dentro de este marco jerárquico se observa, además, una red de relaciones bilaterales particularmente intensas que refuerzan el papel de los hubs. Destaca el eje China–Estados Unidos, que constituye el vínculo más fuerte de toda la red, así como las colaboraciones frecuentes entre China y Pakistán, Egipto y Arabia Saudita, Estados Unidos e Italia, Estados Unidos y Brasil, o China y Australia. En Europa se identifican también pares especialmente activos, como España–Portugal. Estos vínculos densos generan auténticos “corredores” de intercambio científico entre Norteamérica, Europa y Asia, a la vez que sostienen algunas conexiones Sur–Sur relevantes (por ejemplo, Brasil–Argentina o India–Arabia Saudita) que contribuyen a articular la periferia con el núcleo del sistema.

En este contexto, América Latina ocupa una posición intermedia: participa de forma visible en la red, pero con menor peso que los hubs del Norte global. La región suma alrededor del 16–17 % de las colaboraciones totales, con Brasil como principal país articulador (128 colaboraciones y 32 socios), seguido de México, Argentina, Chile y Colombia. Este último mantiene 37 colaboraciones y 18 socios, con vínculos destacados hacia Estados Unidos, Brasil, Italia y Australia, además de conexiones puntuales con otros países de la región y de Europa, Asia, África y Oceanía. En términos de estructura, Brasil funciona como hub regional que enlaza América Latina con los grandes centros de producción científica, mientras que países como México, Argentina, Chile y Colombia conforman un segundo anillo de integración, bien conectado con el núcleo global pero aún lejos de alcanzar la centralidad de los principales hubs internacionales.

América Latina tiene una presencia visible en la red internacional, aunque con un peso menor que los grandes hubs de Norteamérica, Europa y Asia. En conjunto, los países latinoamericanos concentran alrededor de una sexta parte de todas las colaboraciones identificadas, lo que indica una participación todavía periférica en comparación con las principales potencias científicas del campo. Dentro de la región, se destaca Brasil como un país que actúa como núcleo articulador, con el mayor número de colaboraciones y de socios, y que sirve como principal puente entre América Latina y los centros de investigación de Norteamérica, Europa y Asia.

En este contexto regional, Colombia se sitúa en un grupo intermedio-alto de actividad colaborativa. El país mantiene relaciones con casi una veintena de socios distintos y supera la treintena de colaboraciones en el periodo analizado, lo que evidencia una integración real en la red internacional. Sus vínculos son especialmente frecuentes con uno de los hubs globales de Norteamérica y con el principal socio regional, además de conexiones relevantes con países europeos y de Oceanía. Esta combinación de colaboraciones Norte-Sur y Sur-Sur sugiere que Colombia ocupa una posición de articulación entre la región y los nodos centrales del sistema, más que un rol puramente periférico.

Desde la perspectiva de la gestión de plagas cuarentenarias en cultivos no presentes en el país, este patrón de colaboración implica que Colombia ya cuenta con canales consolidados de cooperación con centros de alta producción científica, lo que facilita el acceso a metodologías, información y experiencias acumuladas en otros contextos. Al mismo tiempo, la concentración de colaboraciones en unos pocos socios refuerza la necesidad de diversificar y fortalecer alianzas dentro de la región latinoamericana y con otros países estratégicos, de manera que el país pueda ampliar su capacidad de respuesta y contribuir de forma más visible a la agenda global de investigación en manejo y control de plagas.

Con base exclusivamente en los registros de Scopus analizados, se pueden señalar al menos tres grandes franjas temáticas donde Colombia podría fortalecer su investigación y sus colaboraciones con el principal hub de países:

- ***Integración profunda de herramientas moleculares en el manejo de plagas cuarentenarias.***

Mientras que en las publicaciones de los hubs (sobre todo China, pero también Estados Unidos) son frecuentes las referencias a interferencia de ARN, transcriptómica, expresión génica, edición génica y resistencia a insecticidas, estas palabras clave no aparecen en las coautorías que incluyen a Colombia. Esto sugiere una oportunidad para articular la experiencia colombiana en biocontrol e invasiones con programas que incorporen biología molecular y genómica de plagas.

- ***Desarrollo de estrategias de manejo a gran escala para plagas cuarentenarias clave.***

Los hubs muestran una intensa producción en torno a programas integrales de manejo (incluidos enfoques de técnica del insecto estéril, monitoreo masivo y esquemas de manejo integrado para dípteros y lepidópteros de alto riesgo). En cambio, las colaboraciones con Colombia se concentran en estudios de casos, especies concretas y modelación para ciertos sistemas. Fortalecer líneas en programas de manejo a escala de paisaje y área amplia, integrando monitoreo, modelación, biocontrol y, cuando sea pertinente, tácticas autocidas, permitiría acercar aún más la agenda nacional a la de los hubs.

- ***Ampliación del espectro de plagas y sistemas estudiados dentro del enfoque cuarentenario.***

En los hubs, ciertas plagas y patosistemas (especialmente insectos de cultivos básicos y nematodos forestales de importancia global) son recurrentes; en las coautorías con Colombia, el foco está más en plagas invasoras de frutales, palmas, caracoles y algunos sistemas urbanos y forestales específicos. Sin abandonar estas fortalezas, el análisis indica que hay margen para diversificar hacia plagas y enfermedades que dominan la agenda global de cuarentena, aprovechando las colaboraciones ya existentes con Estados Unidos, Brasil, Italia, Australia y otros socios para incorporar nuevos modelos de plaga-cultivo y así posicionar mejor la investigación colombiana dentro de las dinámicas centrales de la red internacional.

Tendencias de investigación en línea de tiempo

Con ayuda de NotebookLM®, herramienta de inteligencia artificial para análisis de información, se identificaron las principales estrategias a nivel mundial relacionadas con control y manejo de las plagas más estudiadas y relevantes registradas en la lista de PCA identificadas por el ICA. Es así como dichas estrategias abarcan una amplia gama de enfoques, desde métodos químicos tradicionales hasta técnicas avanzadas de biotecnología, genética y manejo cultural. El periodo analizado muestra una evolución continua desde un fuerte énfasis inicial en el control biológico clásico hacia una combinación más explícita de estrategias de manejo, herramientas moleculares y análisis

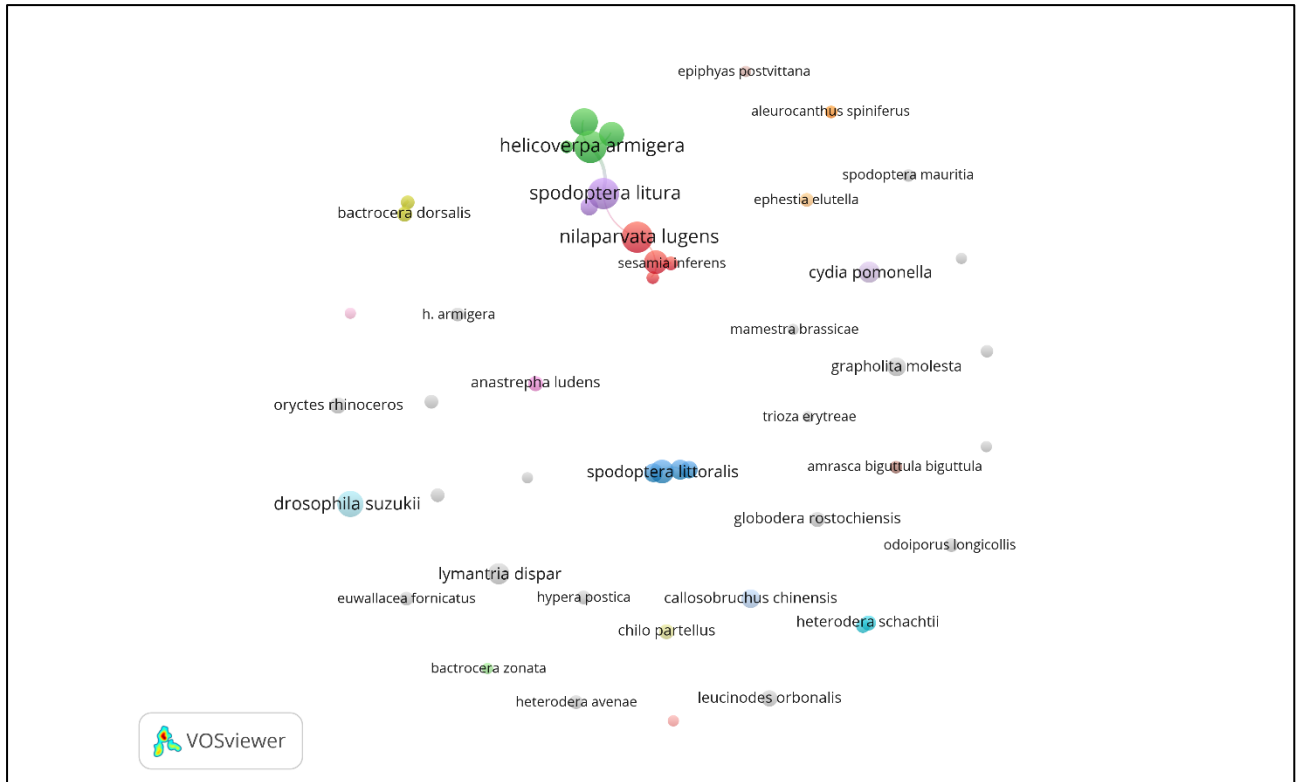
de riesgo, sin abandonar el foco en un conjunto relativamente estable de plagas de interés cuarentenario.

El año 2025 representa, dentro del conjunto analizado, el punto en el que la frecuencia de términos asociados tanto a manejo integrado como a RNA interference/dsRNA y resistencia alcanza sus valores más altos, mientras que 2024 concentra los máximos en nombres de plagas y en vocabulario de cuarentena y vigilancia. En el contexto de plagas cuarentenarias de cultivos aún no presentes en Colombia, esta tendencia resulta especialmente importante, ya que las estrategias de manejo y control propuestas en la literatura analizada no se orientan únicamente a la mitigación del daño una vez establecida la plaga, sino también a la prevención y detección temprana, componentes clave de los planes de preparación.

Principales plagas estudiadas

Del total de 326 plagas de cultivos de la lista de PCA del ICA, 227 (70%) son objeto de estudio en el conjunto de publicaciones identificadas en Scopus®. A través del software VOSviewer® se generó una red de coocurrencia de palabras teniendo como insumo los nombres científicos de las plagas estudiadas en los registros de publicaciones descargados de Scopus®. Como resultado, la red integra 32 insectos plaga diferentes (Fig 5), de los cuales se identifican y describen las diez plagas con más frecuencia en la tabla 1.

Figura 5. Red de Coocurrencia de palabras clave de insectos plaga



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en diciembre de 2024. Software de procesamiento Vosviewer®

Tabla 1. Plagas cuarentenarias más estudiadas y publicaciones científicas más citadas

Nombre científico plaga	Número de publicaciones	Publicaciones con más citaciones (top 3 número de citaciones)
<i>Helicoverpa armigera</i>	456	<ol style="list-style-type: none"> 1. A review on biological interactions and management of the cotton bollworm, <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera: Noctuidae) (2021) - 88 citaciones 2. New Frontiers in Pest Control: Chitosan Nanoparticles-Shielded dsRNA as an Effective Topical RNAi Spray for Gram Podborer Biocontrol (2021) - 87 citaciones 3. Overview of Pest Status, Potential Risk, and Management Considerations of <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera: Noctuidae) for U.S. Soybean Production (2021) - 59 citaciones
<i>Spodoptera litura</i>	386	<ol style="list-style-type: none"> 1. Smart controlled-release avermectin nanopesticides based on metal-organic frameworks with large pores for enhanced insecticidal efficacy (2023) - 67 citaciones 2. Insecticidal Terpenes From the Essential Oils of <i>Artemisia nakaii</i> and Their Inhibitory Effects on Acetylcholinesterase (2021) - 61 citaciones 3. Chitosan nanocarriers mediated dsRNA delivery in gene silencing for <i>Helicoverpa armigera</i> biocontrol (2023) - 48 citaciones
<i>Drosophila suzukii</i>	340	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Drosophila suzukii</i> (Diptera: Drosophilidae): A Decade of Research towards a Sustainable Integrated Pest Management Program (2021) - 205 citaciones 2. <i>Drosophila suzukii</i> Management in Latin America: Current Status and Perspectives (2022) - 62 citaciones 3. The insect pest control laboratory of the joint fao/iaea programme: Ten years (2010–2020) of research and development, achievements and challenges in support of the sterile insect technique (2021) - 56 citaciones
<i>Nilaparvata lugens</i>	328	<ol style="list-style-type: none"> 1. A tripartite rheostat controls self-regulated host plant resistance to insects (2023) - 84 citaciones 2. Current susceptibilities of brown planthopper <i>Nilaparvata lugens</i> to triflumezopyrim and other frequently used insecticides in China (2021) - 82 citaciones 3. Chromosomal-level genomes of three rice planthoppers provide new insights into sex chromosome evolution (2021) - 73 citaciones
<i>Bursaphelenchus xylophilus</i>	212	<ol style="list-style-type: none"> 1. The Fight against Plant-Parasitic Nematodes: Current Status of Bacterial and Fungal Biocontrol Agents (2022) - 87 citaciones 2. Pine wilt disease: A global threat to forestry (2024) - 76 citaciones 3. Phytochemicals as biopesticides against the pinewood nematode <i>bursaphelenchus xylophilus</i>: A review on essential oils and their volatiles (2021) - 44 citaciones
<i>Spodoptera littoralis</i>	129	<ol style="list-style-type: none"> 1. Polyphenolic extracts from pomegranate and watermelon wastes as substrate to fabricate sustainable silver nanoparticles with larvicidal effect against <i>Spodoptera littoralis</i>: Polyphenolic extracts from pomegranate and watermelon wastes (2021) - 126 citaciones 2. Silica nanoparticles as pesticide against insects of different feeding types and their non-target attraction of predators (2021) - 117 citaciones 3. Prolonged sublethal effects of essential oils from non-wood parts of nine conifers on key insect pests and vectors (2021) - 52 citaciones

<i>Chilo suppressalis</i>	114	<ol style="list-style-type: none"> 1. Long-term field evaluation and large-scale application of a <i>Metarhizium anisopliae</i> strain for controlling major rice pests (2021) - 54 citaciones 2. Design and Synthesis of a Water-Based Nanodelivery Pesticide System for Improved Efficacy and Safety (2024) - 43 citaciones 3. Hormesis effects of chlorantraniliprole on a key egg parasitoid used for management of rice lepidopterans (2022) - 37 citaciones
<i>Cydia pomonella</i>	110	<ol style="list-style-type: none"> 1. Insecticide resistance in the <i>Cydia pomonella</i> (L.): Global status, mechanisms, and research directions (2021) - 83 citaciones 2. Dispensers for pheromonal pest control (2023) - 31 citaciones 3. Exposure to lambda-cyhalothrin and abamectin drives sublethal and transgenerational effects on the development and reproduction of <i>Cydia pomonella</i> (2023) - 30 citaciones
<i>Hyphantria cunea</i>	104	<ol style="list-style-type: none"> 1. Potential range expansion and niche shift of the invasive <i>Hyphantria cunea</i> between native and invasive countries (2021) - 44 citaciones 2. RNAi Efficiency through dsRNA Injection Is Enhanced by Knockdown of dsRNA Nucleases in the Fall Webworm, <i>Hyphantria cunea</i> (Lepidoptera: Arctiidae) (2022) - 26 citaciones 3. Exogenous Gene Expression and Insect Resistance in Dual Bt Toxin <i>Populus × euramericana</i> 'Neva' Transgenic Plants (2021) - 24 citaciones
<i>Lymantria dispar</i>	82	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Lymantria dispar</i> (L.) (Lepidoptera: Erebidae): Current Status of Biology, Ecology, and Management in Europe with Notes from North America (2022) - 63 citaciones 2. Detoxification, antioxidant, and digestive enzyme activities and gene expression analysis of <i>Lymantria dispar</i> larvae under carvacrol (2021) - 41 citaciones 3. Circadian rhythms of insect pheromone titer, calling, emission, and response: a review (2021) - 32 citaciones

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en diciembre de 2025.

Del total de plagas identificadas en publicaciones, 10 son objeto de estudio de investigaciones en las cuales ha participado colaborativamente Colombia como filiación institucional (Tabla 2).

Tabla 2. Publicaciones relevantes en la cuales ha participado colaborativamente Colombia

Nombre de plaga	Publicaciones	Principales temáticas de investigación
<i>Rhynchophorus palmarum</i>	<p>1. Gutiérrez, Y., Alarcón, K. A., Ortiz, C., Santos-Holguín, J. M., García, J. L., Mejía, C., Amaya, C. V., & Uribe-Gutiérrez, L. (2024). Isolation and characterization of a native strain of the entomopathogenic fungus <i>Beauveria bassiana</i> for the control of the palm weevil <i>Dynamis borassi</i> (Coleoptera: Curculionidae) in the neotropics. <i>World Journal of Microbiology and Biotechnology</i>, 40(9), Article 260. https://doi.org/10.1007/s11274-024-04044-5</p> <p>2. Dalbon, V. A., Molina-Acevedo, J. P. M., Lisboa Ribeiro Júnior, K. A. L., da Silva, J. M. D., Ferro, M. M. D. M., Negrisoli Junior, A. S., Goulart, H. G., Sant'Ana, A. E. G., & Porcelli, F. (2024). Native Entomopathogenic Fungi Isolated from <i>Rhynchophorus palmarum</i> (Linnaeus, 1758) in Northeast Brazil. <i>Insects</i>, 15(3), Article 159. https://doi.org/10.3390/insects15030159</p> <p>3. Vega, J. G., Vargas, G., Chirinos-Torres, D. T., Díaz-Montilla, A. E., & Kondo, T. (2024). Review of Tachinids and Other Dipteran Parasitoids and Predators as Biological Control Agents in Colombia, Ecuador, and Peru; Revisión de los taquínidos y otros parasitoides y depredadores dípteros como agentes de control biológico en Colombia, Ecuador y Perú. <i>Ciencia Tecnología Agropecuaria</i>, 25(3), Article e3514. https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num3_art:3858</p> <p>4. Gutiérrez, Y., Santos-Holguín, J. M., Moncayo, V., & Guzmán, F. A. (2024). Spatiotemporal dynamics of a palm weevils' outbreak and susceptibility of peach palm (<i>Bactris gasipaes</i> Kunth) landraces in a germplasm bank in southwestern Colombia. <i>Annals of Applied Biology</i>, 184(1), 72–85. https://doi.org/10.1111/aab.12859</p> <p>5. Dalbon, V. A., Molina-Acevedo, J. P. M., Lisboa Ribeiro Júnior, K. A. L., Ribeiro, T. F. L., da Silva, J. M., Goulart, H. G., Sant'Ana, A. E. G., & Porcelli, F. (2021). Perspectives for synergic blends of attractive sources in south american palm weevil mass trapping: Waiting for the red palm weevil Brazil invasion. <i>Insects</i>, 12(9), Article 828. https://doi.org/10.3390/insects12090828</p>	<p>Control biológico con hongos entomopatógenos (<i>Beauveria bassiana</i>); evaluación de parasitoides y depredadores dípteros; dinámica poblacional y espacial en palma de chontaduro/coco; susceptibilidad de accesiones de germoplasma; monitoreo y trampeo masivo con feromonas y atrayentes dentro del manejo integrado.</p>
<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	<p>1. Vásquez, C. A. N., Wyckhuys, K. A. G., Pereira, E. J., & Elkahky, M. (2025). Functional traits in crop wild relatives of Neotropical origin: implications for herbivore resistance and biological control. <i>Entomologia Generalis</i>, 45(3), 587–607. https://doi.org/10.1127/entomologia/2025/2953</p>	<p>Rasgos funcionales de parientes silvestres de cultivos neotropicales; resistencia de plantas a herbívoros; antixenosis/antibiosis; metabolitos secundarios, tricomas e infocompuestos asociados al control biológico y al mejoramiento genético.</p>

<p><i>Cydia pomonella</i></p>	<p>1. Rincón-Rodríguez, D. F., Gutiérrez Illán, J., & Crowder, D. W. (2025). Assessing pest control treatments from phenology models and field data. <i>Pest Management Science</i>, 81(4), 1851–1859. https://doi.org/10.1002/ps.8585</p> <p>2. Rincón-Rodríguez, D. F., Esch, E. D., Gutiérrez Illán, J., Tesche, M., & Crowder, D. W. (2024). Predicting insect population dynamics by linking phenology models and monitoring data. <i>Ecological Modelling</i>, 493, Article 110763. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110763</p>	<p>Modelos fenológicos y de grados-día; monitoreo con trampas de feromonas; predicción de dinámica poblacional; sistemas de apoyo a la decisión para manejo integrado; evaluación de eficacia de tratamientos de control en campo.</p>
<p><i>Euwallacea fornicatus</i></p>	<p>1. Cruz, L. F., Cruz, J. C., Carrillo, D., Mtz-Enriquez, A. I., Lamelas, A., Ibarra-Juárez, L. A., & Pariona, N. (2021). In-vitro evaluation of copper nanoparticles as a potential control agent against the fungal symbionts of the invasive ambrosia beetle <i>Euwallacea fornicatus</i>. <i>Crop Protection</i>, 143, Article 105564. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105564</p>	<p>Complejo escarabajo ambrosial–hongos simbioses; alternativas de control contra simbioses fúngicos; evaluación in vitro de nanopartículas de cobre; manejo preventivo/sanitario en aguacate y especies leñosas.</p>
<p><i>Lobesia botrana</i></p>	<p>1. Aguirre-Zapata, E., Alvarez, H., Kulichevsky, L. E., Di Sciascio, F., & Amicarelli, A. N. (2023). Forecasting <i>Lobesia botrana</i> flight activity: A new semi-physical model. <i>Crop Protection</i>, 173, Article 106383. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106383</p> <p>2. Aguirre-Zapata, E., Morales, H., Dagatti, C. V., Di Sciascio, F., & Amicarelli, A. N. (2022). Semi physical growth model of <i>Lobesia botrana</i> under laboratory conditions for Argentina's Cuyo region. <i>Ecological Modelling</i>, 464, Article 109803. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109803</p>	<p>Modelación matemática y semifísica del desarrollo; pronóstico de actividad de vuelo; voltinismo y fenología; modelos de crecimiento bajo condiciones de laboratorio; sistemas de apoyo a la decisión para contención, erradicación y manejo en vid.</p>
<p><i>Lymantria dispar</i></p>	<p>1. Rodriguez-Saona, C., Polashock, J. J., Kyryczenko-Roth, V., Holdcraft, R., Jimenez-Gonzalez, G., De Moraes, C. M., & Mescher, M. C. (2021). Application of Plant Defense Elicitors Fails to Enhance Herbivore Resistance or Mitigate Phytoplasma Infection in Cranberries. <i>Frontiers in Plant Science</i>, 12, Article 700242. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.700242</p>	<p>Inducción de defensas vegetales; rutas de ácido salicílico y ácido jasmónico; interacción planta–fitoplasma–herbívoro; evaluación de elicitores comerciales y resistencia de arándano frente a herbívoros vectores y no vectores.</p>
<p><i>Drosophila suzukii</i></p>	<p>1. Toledo, P. F. S., da Cruz Araujo, S. H., Mantilla-Afanador, J. G., Silva, A. C. F., Paiva Machado, F. P., Rocha, L. M., & Oliveira, E. E. (2024). Potential of <i>Ocotea indecora</i> Essential Oil for Controlling <i>Drosophila suzukii</i>: Molecular Predictions for Toxicity and Selectivity to Beneficial Arthropods. <i>Neotropical Entomology</i>, 53(2), 189–199. https://doi.org/10.1007/s13744-023-01109-2</p> <p>2. Mantilla-Afanador, J. G., da Cruz Araujo, S. H. C., Teixeira, M. G., Lopes, D. T., Cerceau, C. I., Andrezza, F., Oliveira, D. C., Bernardi, D., de Souza Moura, W. S., Aguiar, R. W. S., Oliveira, A. C. S. S., Cardon, G. R., Alvarenga, E. S., & Oliveira, E. E. (2023). Novel Lactone-Based Insecticides and <i>Drosophila suzukii</i> Management: Synthesis, Potential Action Mechanisms and Selectivity for Non-Target Parasitoids. <i>Insects</i>, 14(8), Article 697. https://doi.org/10.3390/insects14080697</p>	<p>Alternativas biorracionales de control; aceites esenciales y lactonas insecticidas; toxicidad por contacto/ingestión; selectividad frente a artrópodos benéficos y parasitoides; predicción in silico de mecanismos de acción.</p>
<p><i>Sirex noctilio</i></p>	<p>1. Wyckhuys, K. A. G., Giron, E., Hyman, G., Barona, E., Castro-Llanos, F. A., Sheil, D., Yu, L., Du, Z., Hurley, B. P., Slippers, B., Germishuizen, I., Bojacá Aldana, C. R., Rubiano, M., Sathyapala, S., Verchot, L., & Zhang, W. (2025). Biological control protects carbon sequestration capacity of plantation forests. <i>Entomologia Generalis</i>, 45(2), 305–318. https://doi.org/10.1127/entomologia/2025/3015</p>	<p>Control biológico de plagas forestales invasoras; protección de la capacidad de secuestro de carbono en plantaciones; modelación de riesgo y servicios ecosistémicos; vínculo entre</p>

		sanidad forestal, invasiones biológicas y mitigación del cambio climático.
<i>Gonipterus scutellatus</i>	1. Mejía, C., Barrera-Cubillos, G., Pulgarín Díaz, J. A., & Espinel-Correal, C. (2024). The Eucalyptus snout beetle in Colombia: Selection and evaluation of entomopathogenic fungi as bioinsecticides against <i>Gonipterus platensis</i> . <i>Biological Control</i> , 188, Article 105407. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105407	Complejo de especies de gorgojos del eucalipto; identificación molecular; selección y evaluación de hongos entomopatógenos como bioinsecticidas; caracterización ecofisiológica de aislamientos; manejo biológico en plantaciones de <i>Eucalyptus</i> en Colombia.
<i>Oryctes rhinoceros</i>	1. Villamizar-Rivero, L. F., Barrera-Cubillos, G. P., Luange, A., Sagata, K., Gende, P., Chris, S., Tsatsia, H., Mudu, F., Weston, M., van Koten, C., Mansfield, S., Jackson, T. A., & Marshall, S. D. G. (2024). Characterization and screening of new <i>Metarhizium</i> isolates to control the coconut rhinoceros beetle in the Pacific islands. <i>Fungal Biology</i> , 128(7), 2127–2138. https://doi.org/10.1016/j.funbio.2024.08.009	Control biológico con aislamientos de <i>Metarhizium</i> ; caracterización molecular y pruebas de virulencia; manejo del escarabajo rinoceronte del coco/palma de aceite; evaluación de aislamientos en poblaciones larvales del Pacífico insular.

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información recuperada en diciembre de 2025.

Estrategias relevantes de control de plagas

A continuación, se presenta un listado detallado de las 20 estrategias más relevantes en cuanto a control de plagas, basadas en la frecuencia y la profundidad con la que se investigan en las distintas publicaciones analizadas:

1. Control Químico Tradicional (Insecticidas Sintéticos): Uso de compuestos sintéticos de amplio espectro (como la lambda-cihalotrina, el malatión o el clorpirifós) y selectivos (como el imidacloprid, el dinotefurán o las espinosinas como el spinosad y el spinetoram) para el control directo de plagas, a pesar del riesgo de desarrollo de resistencia.

2. Uso de Biopesticidas Botánicos (Extractos y Aceites Esenciales): Aplicación de extractos de plantas (como *Azadirachta indica* -neem-, *Ricinus communis*, o *Origanum vulgare*) y sus componentes activos (como timol, carvacrol, estragol o limoneno) por su actividad insecticida, ovicida, repelente o antialimentaria.

3. Control Biológico Aumentativo/Clásico (Uso de Parasitoides): Liberación masiva o introducción de parasitoides (como avispas *Trichogramma* spp. o *Diachasmimorpha*

longicaudata) para parasitar huevos o larvas de plagas, como el gusano bellotero o la mosca de la fruta.

4. Control Biológico con Hongos Entomopatógenos (EPF): Aplicación de hongos como *Beauveria bassiana* o *Metarhizium anisopliae* para infectar y matar plagas, a menudo en forma de suspensiones de esporas o formulaciones endofíticas.

5. Control Biológico con Nematodos Entomopatógenos (NEM): Utilización de nematodos parasitoides (*Steinernema* spp. o *Heterorhabditis* spp.) para controlar estadios de plagas que viven en el suelo, como pupas o larvas.

6. Ingeniería Genética para Resistencia a Plagas (Cultivos Transgénicos): Desarrollo de cultivos genéticamente modificados (GM), principalmente de maíz, algodón y arroz, que expresan toxinas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) o proteínas insecticidas como Cry y Vip, o lectinas.

7. Técnica del Insecto Estéril (SIT): Esterilización masiva, generalmente por radiación (Rayos X o Gamma), y liberación de machos para reducir la reproducción de plagas como la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*) o la polilla de la uva.

8. Uso de ARN de Interferencia (RNAi) para Silenciamiento Genético: Aplicación de dsRNA para silenciar genes vitales (como v-ATPase, quitina sintasa, o genes del receptor de rianodina) de plagas, a menudo mediado por nanopartículas o expresión en plantas (HIGS).

9. Interrupción del Apareamiento (Mating Disruption - MD): Dispersión de feromonas sexuales sintéticas en el campo para desorientar a los machos y evitar la cópula, utilizada contra polillas como *Cydia pomonella* o *Lobesia botrana*.

10. Técnicas de Atraer y Matar (Attract-and-Kill - A&K): Combinación de atrayentes (feromonas, caimomas, cebos alimenticios, levaduras) con insecticidas o agentes biológicos en trampas o aplicaciones localizadas.

11. Manejo Cultural/Agronómico Avanzado: Implementación de prácticas como el manejo de la cubierta vegetal, labranza, uso de mulches plásticos (para modificar el

microclima) o la gestión del agua (inundación continua) para reducir las poblaciones de plagas.

12. Uso de Nanopartículas (Nanoagroquímicos): Desarrollo de sistemas de entrega nanoestructurados (a menudo utilizando plata, sílice o polímeros como quitosano) para encapsular y estabilizar insecticidas o dsRNA, mejorando la eficacia y reduciendo la dosis de aplicación.

13. Modelado y Predicción de Fenología: Uso de modelos matemáticos (basados en grados-día, MaxEnt o inteligencia artificial) para pronosticar el momento óptimo de aparición o dispersión de plagas, informando las decisiones de control.

14. Control Físico/Exclusión (Redes y Barreras): Uso de redes de exclusión (mallas, redcillas) para prevenir físicamente la infestación de plagas voladoras en el campo.

15. Manejo de la Resistencia a Insecticidas (IRM): Estrategias para retrasar o revertir la resistencia a químicos o toxinas Bt, incluyendo la rotación de modos de acción, el uso de sinergistas (como PBO) o el uso de refugios.

16. Uso de Semioquímicos (Repelentes/Deterrentes): Aplicación de compuestos químicos que modifican el comportamiento de la plaga, como repelentes para evitar la oviposición (ej. feromonas interespecíficas o compuestos botánicos).

17. Terapia con Fitohormonas/Elicitores de Defensa: Tratamiento de plantas con hormonas (como ácido jasmónico o salicílico) o sus análogos para activar defensas naturales contra herbívoros.

18. Técnicas de Cuarentena y Post-Cosecha: Aplicación de tratamientos extremos como fumigación con gases (bromuro de metilo, fosfina, formiato de etilo), almacenamiento en frío/calor, o irradiación (dosis fitosanitarias) para eliminar infestaciones.

19. Manejo Integrado de Plagas (MIP) a Escala de Área (AW-IPM): Coordinación de múltiples tácticas de control (incluyendo SIT, control biológico y monitoreo) a nivel de paisaje o región para la supresión de plagas invasoras.

20. Técnicas de Detección e Identificación Rápida: Desarrollo de herramientas de software, modelado de IA, PCR en tiempo real, o kits de diagnóstico para identificar plagas o biotipos resistentes de manera rápida y precisa.

Estrategias de control de plagas que utilizan IA

Las estrategias, estudios e investigaciones de control de plagas que han utilizado herramientas basadas en Inteligencia Artificial (IA), aprendizaje automático (*Machine Learning*) o modelado avanzado, se centran en el monitoreo, el diagnóstico de infestaciones, la predicción de brotes y el diseño de nuevas moléculas y sistemas de control. De acuerdo con estos enfoques, se han identificado las siguientes tendencias relevantes en el tema:

1. Modelado y Predicción de Poblaciones (Forecasting)

Se han desarrollado modelos avanzados para predecir la dinámica de las poblaciones de plagas, lo cual es fundamental para el Manejo Integrado de Plagas (MIP):

- **Modelos de Redes Neuronales Artificiales** (RNA o ANN), como NNARX (Neural Network AutoRegressive with eXogenous inputs), para pronosticar las tendencias futuras de las poblaciones, incorporando parámetros meteorológicos como temperatura y lluvia. Los modelos ANN se han considerados más adecuados para la predicción efectiva que los modelos ARIMAX (Autoregressive Integrated Moving Average).
- **Técnicas de *machine learning*** para crear un modelo predictivo fenológico que utiliza datos meteorológicos (grados-día acumulados, humedad relativa y precipitación) para determinar el momento óptimo de aplicación de insecticidas.
- **Modelado Dinámico de Plagas** - Aplicaciones del modelo Deep Auto-Regressive (DeepAR) especialmente en cultivos de arroz y maíz, que utiliza el aprendizaje profundo, para el pronóstico dinámico de poblaciones de insectos plaga en función del clima y series temporales de plagas relacionadas, superando en precisión a los modelos de regresión lineal y GBDT.
- **Modelos de Dinámica de Sistemas y Distribución:** Se han desarrollado modelos matemáticos dinámicos para predecir y manejar brotes de poblaciones como el gusano cogollero (*Spodoptera exempta*) en África, utilizando arquetipos de dinámica

de sistemas (CLD, R, B) y la plataforma Vensim PLP 9.0. Se ha adaptado un modelo basado en individuos (*PESTonFARM*) para simular el comportamiento y el destino de la mosca del Mediterráneo (*Ceratitidis capitata*) en paisajes heterogéneos.

- **Modelos de Control Óptimo (OCM):** Se han desarrollado modelos matemáticos de dinámica para evaluar estrategias de control químico y cuarentena (erradicación de plantas infectadas), empleando el Principio Máximo de Pontryagin (PMP) y el método de barrido de avance y retroceso (FBSM).

2. Monitoreo y Detección Automatizada (Visión por Computadora)

La IA se utiliza para el reconocimiento rápido de plagas y la automatización de la inspección de trampas, a menudo integrando hardware y software de visión por computadora:

- **Detección e Identificación en Tiempo Real:** Se han desarrollado sistemas inteligentes de monitoreo para detectar e identificar lesiones de plagas y enfermedades utilizando modelos mejorados, como el YOLO-DPD (*You Only Look Once-Diseases and Pests Detection*). Igualmente, dicho modelo también presenta una versión mejorada propuesta para aplicación móvil con el fin de identificar y realizar conteo de plagas. La aplicación móvil está basada en una plataforma portátil con IoT y *deep learning* (modelo YOLOv8) para el monitoreo en tiempo real del contenido de trampas de feromonas (por ejemplo, conteo de moscas de la fruta y gusano bellotero), lo que permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre el control.
- **Clasificación Fina de Insectos:** Método computacional para la clasificación de grano fino de plagas microscópicas (ej., trips) utilizando aprendizaje profundo basado en la arquitectura Vision Transform (ViT)
- **Monitoreo con Cámaras y Sensores:** Se evaluó un prototipo de dispositivo optoelectrónico (ZooLog VARL) que utiliza una red neuronal artificial (RNA) para filtrar datos y detectar dinámicas de vuelo de polillas (*Agrotis segetum*, *Helicoverpa armigera*, *Grapholita molesta*), con una precisión superior al 60%.

Se desarrolló un sistema autónomo de vigilancia de trampas para el gorgojo del rinoceronte del coco (*Oryctes rhinoceros*) que utiliza sensores electrónicos, GPS

(GNSS) y un sistema en la nube para el monitoreo en tiempo real, lo que ayuda a identificar patrones de comportamiento de la plaga.

- **Detección de Daños Forestales:** Se propuso la identificación automática de árboles infectados por el nematodo de la marchitez del pino (*Bursaphelenchus xylophilus*) mediante una red neuronal convolucional aplicada a imágenes de teledetección (precisión del 99.4%). Además, se utilizaron modelos de Random Forest (RF) para analizar imágenes satelitales y evaluar el daño causado por la avispa sierra (*Sirex noctilio*).

3. Aplicaciones de la IA en la Biología de Plagas

- **Identificación No Invasiva de Etapas de Desarrollo (Técnica del Insecto Estéril - TIE):** Se implementaron técnicas de *Machine Learning* (basadas en Redes Neuronales como Inception v1) para clasificar la edad fisiológica de las pupas de moscas de la fruta (*Anastrepha ludens* y *Ceratitis capitata*) a partir de imágenes del color de sus ojos. Esto es crucial para determinar el momento óptimo de la irradiación en la TIE. También se utilizó una red neuronal convolucional con imágenes de infrarrojo cercano (NIR) para determinar la edad fisiológica de las pupas de *A. ludens* de forma no destructiva.
- **Clasificación de Especies por Imágenes:** Se utilizaron Redes Neuronales Artificiales (RNA) y procesamiento de imágenes para distinguir especies de nematodos quísticos de la patata (*Globodera spp.*, *Heterodera schachtii*) con una precisión de hasta el 89.67%.

4. Diseño y Optimización Molecular de Controles

La IA y el modelado computacional se emplean para diseñar controles a nivel genético y molecular, y para optimizar su entrega:

- **Diseño de Insecticidas y Antialimentarios:** Se realizó un estudio de acoplamiento *in silico* (docking) para evaluar la interacción de triterpenoides (extractos de neem) con el receptor de ecdisona de plagas lepidópteras (*Helicoverpa armigera* y *Plutella xylostella*). Esto predijo que ciertos triterpenoides podrían actuar como agonistas o antagonistas de la ecdisona.

- **Detección de Objetivos para RNAi:** Se realizó un análisis genómico a gran escala (*Genome-Wide Association Studies* - GWAS) utilizando un Modelo Lineal Mixto para identificar loci asociados con la resistencia del maíz al taladrador europeo (*Ostrinia nubilalis*).
- **Nanoportadores y Sistemas de Liberación Inteligente:** Se utiliza el conocimiento molecular para diseñar sistemas de entrega, como nanopartículas, que respondan a condiciones específicas del insecto o del ambiente, como la formulación de:
 - Nanopartículas que utilizan funcionalización de puntos cuánticos de carbono (CQDs) para optimizar el suministro de dsRNA al barrenador del arroz (*Nilaparvata lugens*) a través del sistema vascular de la planta.
 - Nanoportadores que liberan insecticidas (*lambda-cyhalothrin*) junto con dsRNA dirigidos a genes de resistencia (*NICYP6ER1*, *NICarE1*) en *Nilaparvata lugens* y *Cydia pomonella*, basándose en una estrategia de "orientación genética" (gene-targeting).
 - Se utilizaron estudios de acoplamiento molecular para identificar compuestos atractivos para *Conogethes punctiferalis* que se unen fuertemente a proteínas olfativas (GOBP1).
- **Análisis de Mecanismos de Resistencia:** Se utiliza la IA para investigar cómo las plagas desarrollan resistencia. Por ejemplo, el uso de predicciones estructurales (como AlphaFold) y análisis toxigenómicos para comparar la divergencia de enzimas de desintoxicación (CYP450) en diferentes especies de saltamontes.

5. Evaluación de Estrategias de Manejo

- **Modelado Espacial de Plagas y Enemigos Naturales:** Se empleó el análisis espacial por índices de distancia (SADIE) y modelos negativos binomiales para determinar si la distribución de artrópodos en los cultivos de soja (*Glycine max*) estaba asociada a factores como NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) y altura de la planta. Estos modelos se utilizan para refinar la implementación del manejo de plagas por sitio específico.
- **Análisis de la Tolerancia a la Resistencia:** Se utilizaron modelos para evaluar la evolución de la resistencia al piretroide lambda-cihalotrina en *Ceratitis capitata* y

simular escenarios de manejo de resistencia, destacando la importancia del costo de aptitud y la herencia para ajustar los resultados experimentales.

- **Modelos de Distribución de Especies (MaxEnt):** Se utilizan modelos MaxEnt, a menudo junto con GIS, para predecir la distribución actual y futura de plagas forestales o agrícolas, como *Lymantria dispar*, *Hyphantria cunea*, *Ostrinia furnacalis* y *Ostrinia nubilalis*, ayudando en la gestión de la cuarentena.

Mapa temático de tendencias

El mapa temático permite identificar la estructura conceptual del campo a partir de las co-ocurrencias de palabras clave. En el **cuadrante de temas motores** (alta centralidad y alta densidad) se localizan clústeres temáticos que presentan un alto grado de desarrollo interno y, al mismo tiempo, una fuerte conexión con el resto de los temas. Esto indica que constituyen el núcleo conceptual del campo en el periodo analizado.

Aquí convergen trabajos que combinan estrategias de control y manejo en programas complejos, orientados a plagas de alta importancia económica y cuarentenaria, especialmente en sistemas intensivos y de alto valor. Allí se articulan programas de manejo integrado, esquemas de liberación y uso masivo de agentes de control, y estrategias avanzadas de monitoreo y evaluación, aunque mantiene rasgos de especialización (se aplica con fuerza a ciertos sistemas productivos y grupos de plagas).

El clúster asociado a este cuadrante representa un tema muy consolidado en torno al manejo de plagas invasoras asociadas a frutales y otros sistemas de alto valor, donde el control biológico y las estrategias integradas juegan un papel central, donde se destacan estudios que combinan enemigos naturales, liberaciones masivas, tácticas autocidas basadas en la reducción de la capacidad reproductiva de las plagas y sistemas intensivos de monitoreo. Es un clúster densamente desarrollado, con una estructura interna muy rica y con conexiones claras hacia conceptos de invasión biológica, cuarentena y manejo a escala de paisaje.

Este clúster combina investigaciones sobre plagas invasoras de gran impacto económico y asociación con estrategias avanzadas de control, convirtiendo este tema en un referente clave para pensar en planes de preparación y contingencia. Sin embargo, su posición de nicho dentro de la red indica que, aunque está muy desarrollado, mantiene cierta especialización: sus enfoques se aplican a sistemas concretos y no siempre se trasladan de manera automática a otros cultivos o tipos de plagas.

En el **cuadrante de temas básicos o transversales** se agrupan dos clústeres temáticos que, aunque distintos entre sí, comparten una característica central: son altamente relevantes y conectivas, pero aún están en proceso de estructuración interna. El primero agrupa estudios orientados al control de insectos defoliadores y taladores mediante agentes biológicos “clásicos”: hongos entomopatógenos, bacterias formadoras de toxinas, nematodos entomopatógenos y extractos o compuestos de origen vegetal. Los trabajos aquí reunidos se centran en evaluar parámetros como mortalidad, virulencia, dosis-respuesta y, en algunos casos, compatibilidad con sistemas de producción más sostenibles. La segunda familia enfatiza la resistencia y el uso de herramientas moleculares en plagas de cultivos básicos, integrando estudios de desempeño biológico con análisis a nivel genético y fisiológico. Este clúster representa la “columna vertebral” del enfoque de control biológico aplicado a plagas de alto impacto económico. Es el espacio donde se consolidan productos, se validan cepas, se comparan agentes biológicos y se generan los insumos técnicos que después pueden integrarse en estrategias más amplias. Su posición en el mapa sugiere que el biocontrol microbiano sigue siendo un componente central del manejo de plagas, especialmente en contextos donde se busca reducir la dependencia de insecticidas de síntesis. No obstante, la relativa menor densidad frente a otros temas indica que aún hay margen para integrar mejor estos estudios con aspectos de resistencia, dinámica poblacional y evaluación de impacto a largo plazo, de manera que el biocontrol no se quede solo en la fase de ensayo, sino que se consolide como parte de programas de manejo verdaderamente integrados.

El segundo clúster agrupa trabajos dedicados principalmente a plagas polífagas muy importantes en cultivos extensivos (fibra, granos y leguminosas), abordada desde la perspectiva de la eficacia de distintos productos de control. El núcleo conceptual está en la comparación de ingredientes activos, formulaciones biológicas y alternativas de origen

vegetal, analizando tanto efectos letales como impactos subletales sobre la plaga y, en algunos casos, sobre el rendimiento del cultivo. Al mismo tiempo, este clúster se caracteriza por integrar de manera muy marcada herramientas de biología molecular y genómica: análisis de expresión génica, enfoques basados en silenciamiento de genes, estudios transcriptómicos y, en algunos casos, estrategias de edición dirigida. La combinación de componentes moleculares, ensayos biológicos y métricas de desempeño poblacional sitúa a este tema como un espacio donde convergen la ecología de plagas, la toxicología y la genómica funcional, lo que lo convierte en un referente obligado para el diseño de estrategias de manejo más finas y duraderas.

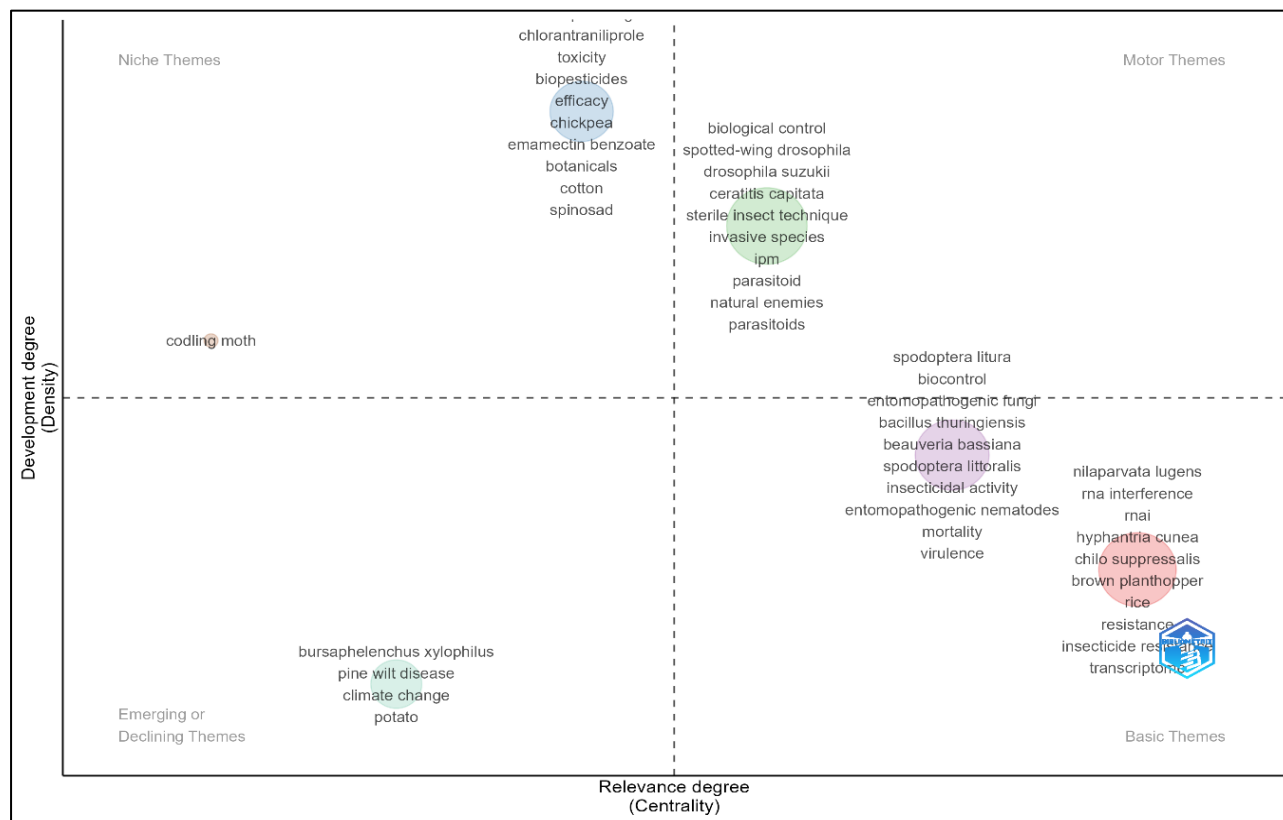
La densidad relativamente menor de este cuadrante, comparada con los temas motores o de nicho, sugiere que todavía hay un proceso de consolidación en marcha. En el caso del biocontrol clásico, el reto está en integrar mejor los resultados de ensayos y comparaciones de agentes con marcos más amplios de manejo integrado y con evaluaciones de impacto a largo plazo. En el caso de las innovaciones moleculares y la resistencia, el desafío es traducir el enorme volumen de conocimiento en estrategias de manejo aplicadas y reproducibles en distintos territorios. Este cuadrante representa, por tanto, el espacio donde se están construyendo los “cimientos profundos” del campo de estudio: conceptos, herramientas y evidencias que, bien articulados, pueden nutrir tanto a los temas motores ya consolidados como a futuras líneas emergentes.

En el **cuadrante de temas de nicho** (baja centralidad y alta densidad), corresponden a líneas de investigación altamente especializadas, con un campo de estudio muy desarrollado, pero poco conectado con el resto del mapa.

En este cuadrante se agrupan estudios de la eficacia de distintos productos de control de plagas polífagas, siendo el núcleo conceptual la comparación de ingredientes activos, formulaciones biológicas y alternativas de origen vegetal, analizando tanto efectos letales como impactos subletales sobre la plaga y, en algunos casos, sobre el rendimiento del cultivo. En términos de oportunidades, este tipo de trabajos podría ganar aún más impacto si se conectara mejor con enfoques de manejo integrado, con análisis de resistencia y con consideraciones sobre sostenibilidad ambiental y regulatoria.

Finalmente, en el **cuadrante de temas emergentes o declinantes** (baja centralidad y baja densidad), confluyen temas de estudios que presentan una escasa articulación con otros ámbitos temáticos y un desarrollo interno limitado, por lo que, en el periodo analizado, se sitúan en la periferia de la agenda de investigación. Su evolución futura requeriría un seguimiento adicional para distinguir si se consolidan como líneas emergentes o si corresponden a temas en retroceso. Este cuadrante reúne investigaciones sobre plagas asociadas a sistemas forestales, particularmente aquellas implicadas en enfermedades de árboles en interacción con factores climáticos. Las plagas forestales asociadas a cambios ambientales pueden representar riesgos significativos, pero su estudio parece avanzar en un carril parcialmente separado de las investigaciones sobre plagas agrícolas y frutales. Este clúster pone de relieve la necesidad de tender puentes entre la sanidad forestal y la sanidad agrícola, especialmente cuando se piensa en escenarios de cambio climático y expansión de rangos de distribución.

Figura 6. Mapa temático principales tendencias de investigación

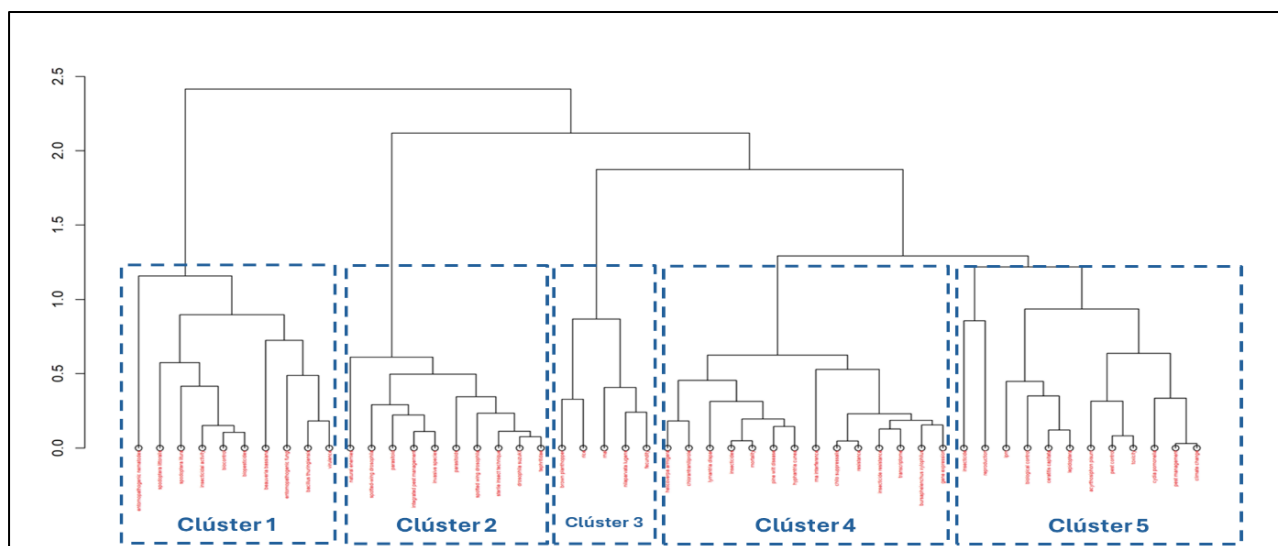


Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información Recuperada en diciembre de 2025. Software de procesamiento Bibliometrix®

Dendrograma de tópicos temáticos

El dendrograma de tópicos es una representación gráfica que utiliza algoritmos de clustering jerárquico para organizar la estructura intelectual de un campo de investigación y se basa en la co-ocurrencia de palabras clave (keywords) donde el software Bibliometrix® mide qué tan frecuente aparecen dos términos juntos en los mismos artículos y los agrupa en 'ramas' según su grado de similitud semántica (ver Figura 7).

Figura 7. Dendrograma de tópicos temáticos



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información Recuperada en diciembre de 2025. Software de procesamiento Bibliometrix®

En conjunto, el dendrograma ayuda a visualizar que el campo de estudio se organiza en módulos temáticos diferenciados. El análisis del agrupamiento jerárquico permite organizar la complejidad de la sanidad vegetal en cinco dimensiones científicas fundamentales:

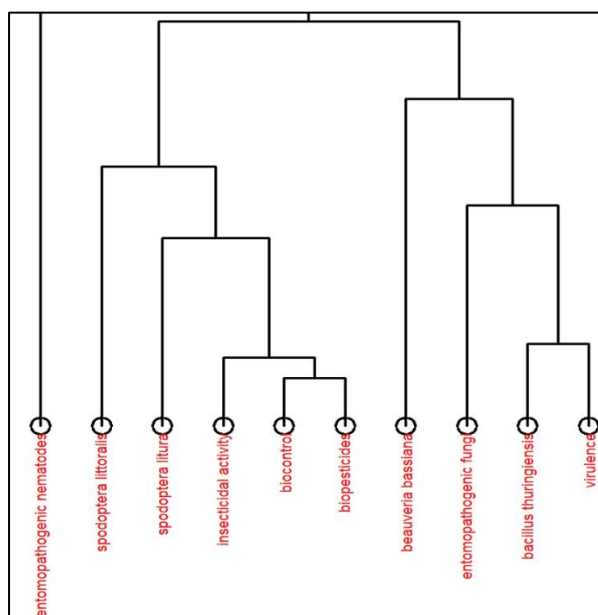
Clúster 1 – Biocontrol microbiano y entomopatógenos en lepidópteros

Este clúster agrupa términos asociados al uso de hongos y nematodos entomopatógenos, bacterias formadoras de toxinas y bioplaguicidas para el control de orugas de importancia agrícola. La proximidad entre las palabras clave indica que las publicaciones tienden a evaluar, de forma conjunta, la actividad insecticida de estos agentes, su virulencia y su

desempeño frente a distintas especies de lepidópteros plaga. El enfoque dominante es claramente experimental: ensayos de mortalidad, pruebas de patogenicidad, comparación de formulaciones y, en algunos casos, exploración de mezclas o estrategias que combinan diferentes agentes biológicos. En términos de manejo de plagas cuarentenarias, este clúster representa el núcleo del “biocontrol clásico”, que busca sustituir o complementar insecticidas de síntesis por productos biológicos más compatibles con la sostenibilidad ambiental.

Este clúster pone de relieve tanto la madurez como las limitaciones actuales de este enfoque. Por un lado, la densidad de vínculos muestra que existe un cuerpo robusto de evidencia sobre la eficacia de estos agentes frente a plagas claves; por otro, la concentración en unos pocos grupos taxonómicos sugiere que todavía hay un margen considerable para ampliar el repertorio de plagas y cultivos abordados. Además, el énfasis en indicadores como mortalidad o virulencia, aunque necesario, deja abiertos interrogantes sobre la integración de estos agentes en programas de manejo a escala de paisaje, su comportamiento bajo condiciones de campo variables y su interacción con otros componentes del sistema (por ejemplo, insecticidas de bajo impacto o prácticas culturales). Fortalecer estas dimensiones podría convertir a este clúster en un soporte aún más sólido para el diseño de estrategias de control biológico en plagas de importancia cuarentenaria.

Figura 8. Clúster 1 – Biocontrol microbiano y entomopatógenos en lepidópteros



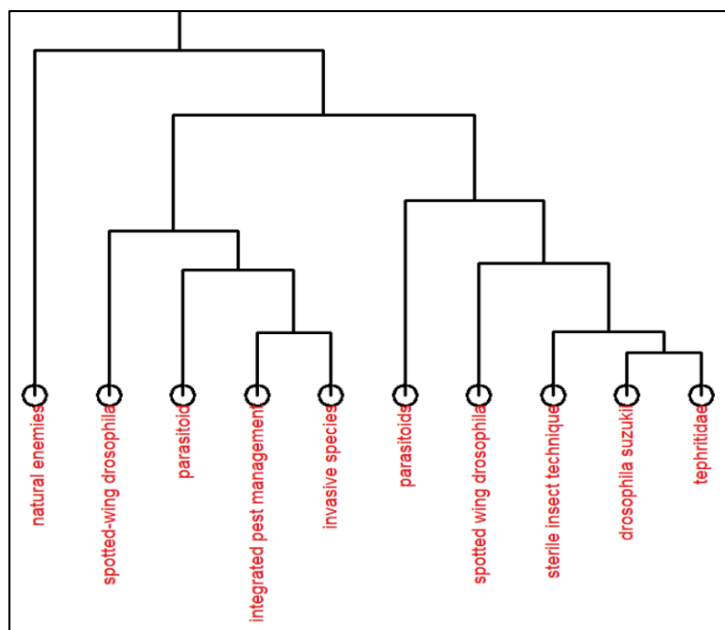
Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información Recuperada en diciembre de 2025. Software de procesamiento Bibliometrix®

Clúster 2 – Manejo integrado y control de dípteros invasores de frutos

En este clúster se agrupan términos que remiten al manejo de dípteros invasores, en particular moscas de la fruta y drosófilidos asociados a cultivos frutales. La cercanía entre conceptos relacionados con enemigos naturales, parasitoides, manejo integrado, especies invasoras y técnicas autocidas indica que las publicaciones no se limitan a describir la biología de estas plagas, sino que exploran programas complejos de manejo que combinan control biológico, liberaciones de insectos estériles y sistemas intensivos de monitoreo. El dendrograma sugiere que se trata de un subcampo cohesionado, donde la investigación se orienta a reducir poblaciones en paisajes agrícolas de alta vulnerabilidad y a mantener las cargas de plaga por debajo de umbrales económicos y cuarentenarios.

Este clúster ilustra la dimensión más programática y operativa del manejo de plagas cuarentenarias. Frente a especies con alta capacidad invasora y gran movilidad, la literatura apunta a soluciones que trascienden el nivel de parcela para extenderse a nivel de áreas más amplias, con coordinación entre productores, instituciones y servicios fitosanitarios. Sin embargo, la fuerte especialización en ciertos dípteros y sistemas frutales plantea desafíos en términos de transferencia: no todas las lecciones aprendidas pueden extrapolarse directamente a otros cultivos o grupos de plagas. Un reto futuro será traducir estos aprendizajes en principios generales de diseño de programas de manejo integrado para plagas invasoras, de manera que otros sistemas cuarentenarios puedan beneficiarse de la experiencia acumulada en este clúster.

Figura 9. Clúster 2 – Manejo integrado y control de dípteros invasores de frutos

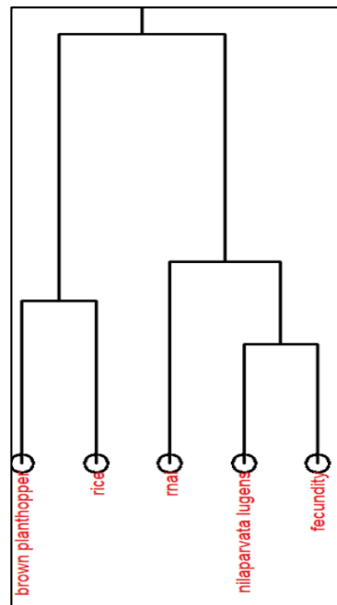


Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información Recuperada en diciembre de 2025. Software de procesamiento Bibliometrix®

Clúster 3 – Dinámica poblacional y rasgos de historia de vida en chinches de cultivos básicos

Este clúster está dominado por términos que vinculan una plaga hemíptera clave (*Nilaparvata lugens*) de cultivos básicos con su hospedero principal y con variables de historia de vida, como la fecundidad. Aquí las publicaciones combinan estudios sobre desempeño biológico de la plaga en el cultivo —incluyendo parámetros de reproducción y crecimiento poblacional— con análisis de su impacto económico y, en algunos casos, con elementos de manejo. En el contexto de plagas cuarentenarias, estos trabajos resultan fundamentales para estimar el riesgo de establecimiento y expansión de la plaga, así como para parametrizar modelos de crecimiento poblacional y de daño.

Figura 10. Clúster 3 – Dinámica poblacional y rasgos de historia de vida de chinches de cultivos básicos



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información Recuperada en diciembre de 2025. Software de procesamiento Bibliometrix®

Las publicaciones relacionadas aportan una base cuantitativa esencial para el diseño de medidas de manejo y para la evaluación de escenarios de invasión. Sin embargo, su relativa desconexión de los bloques temáticos centrados en biocontrol o en herramientas moleculares sugiere que todavía existe una brecha entre la generación de conocimiento demográfico y su integración en programas de manejo integrado más amplios. Una línea de trabajo prometedora consiste en vincular estos estudios de historia de vida con estrategias de control específicas (biológicas, químicas o moleculares), de manera que los parámetros estimados no solo describan la biología de la plaga, sino que informen directamente el diseño de intervenciones y la selección de ventanas temporales y espaciales de mayor eficacia para el manejo.

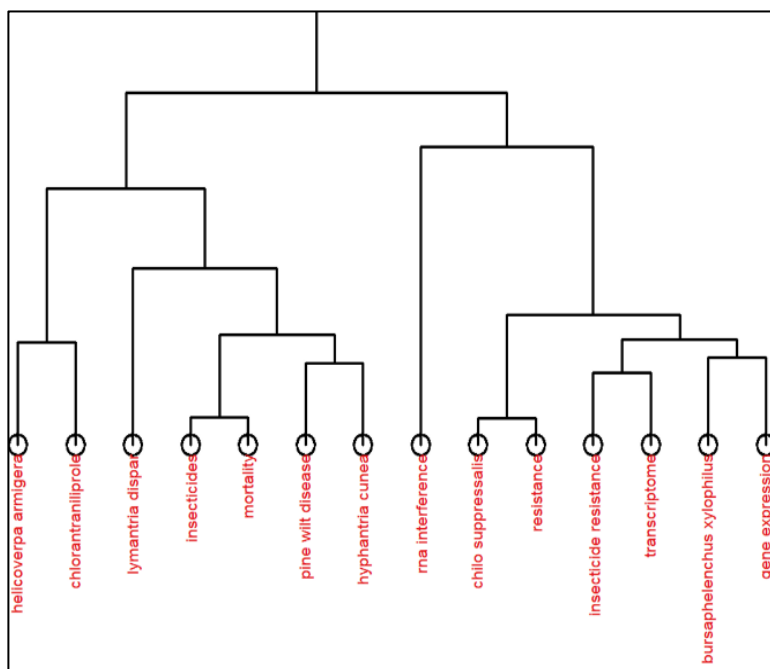
Clúster 4 – Insecticidas, resistencia y aproximaciones moleculares en insectos y nematodos

El cuarto clúster reúne un conjunto más heterogéneo de palabras clave que, sin embargo, se articulan alrededor de dos ejes principales: la evaluación de insecticidas en plagas de importancia agrícola y forestal, y el estudio de la resistencia y de los mecanismos moleculares subyacentes. La presencia simultánea de términos relacionados con distintos

grupos de insectos, la mortalidad causada por productos de síntesis y biológicos, enfermedades forestales asociadas a nematodos y conceptos de interferencia de ARN, expresión génica y transcriptómica indica que este clúster funciona como un “puente” entre la toxicología aplicada y la biología molecular de las plagas. El dendrograma sugiere que, aunque los sistemas estudiados son diversos, las aproximaciones convergen en la necesidad de comprender cómo responden estos organismos a las presiones de control y cómo se estructura la resistencia.

En términos de discusión, este clúster refleja la transición del campo desde una visión centrada en la eficacia inmediata de los productos hacia una preocupación más profunda por los procesos de adaptación de las plagas. La incorporación de herramientas moleculares —como el silenciamiento de genes y los análisis transcriptómicos— permite no solo detectar resistencia, sino también explorar sus bases mecánicas y proponer nuevos blancos de control. No obstante, la heterogeneidad de taxones y sistemas sugiere que aún falta consolidar marcos comparativos que permitan integrar los conocimientos dispersos en principios generales de manejo de resistencia. Avanzar en esa dirección sería clave para diseñar estrategias que reduzcan la probabilidad de aparición de resistencia en plagas cuarentenarias y prolonguen la vida útil de los productos y tácticas de control disponibles.

Figura 11. Clúster 4 – Insecticidas, resistencia y aproximaciones moleculares en insectos y nematodos



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información Recuperada en diciembre de 2025. Software de procesamiento Bibliometrix®

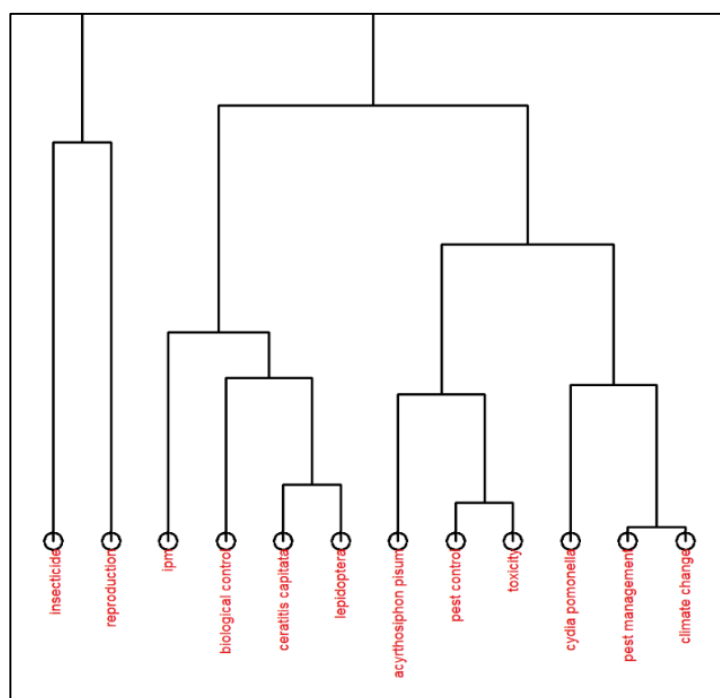
Clúster 5 – Manejo de plagas y uso combinado de insecticidas y control biológico bajo cambio climático

El último clúster agrupa términos de mayor nivel de abstracción, relacionados con el manejo de plagas en distintos sistemas (frutales, leñosos y herbáceos) donde convergen el uso de insecticidas, el control biológico, la gestión de la reproducción de las plagas y la evaluación de la toxicidad. La aparición conjunta de conceptos ligados a gestión de plagas, manejo integrado y cambio climático indica que las publicaciones en este grupo se preocupan tanto por la eficacia de las herramientas actuales como por su desempeño en escenarios ambientales cambiantes. Los estudios incluyen diferentes grupos de plagas (frutícolas, lepidópteros, áfidos), lo que sugiere un interés por identificar principios transversales de manejo más que soluciones específicas para un solo sistema.

En la discusión, este clúster puede interpretarse como el espacio donde se intenta articular una visión más holística de la sanidad de los agroecosistemas frente a plagas de relevancia económica y cuarentenaria. El énfasis en la combinación de insecticidas y control biológico, junto con consideraciones sobre reproducción, toxicidad y condiciones climáticas, apunta

a la búsqueda de estrategias de manejo que sean tanto eficaces como sostenibles y resilientes. Sin embargo, la diversidad de plagas y contextos manejados también implica el riesgo de dispersar los esfuerzos si no se logran extraer principios generales. Un camino prometedor es el desarrollo de marcos comparativos que permitan evaluar, de manera sistemática, cómo las distintas combinaciones de tácticas responden a escenarios de cambio climático y qué configuraciones ofrecen mayor robustez frente a la introducción y establecimiento de nuevas plagas cuarentenarias.

Figura 12. Clúster 5 – Manejo de plagas y uso combinado de insecticidas y control biológico bajo cambio climático



Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus®. Información Recuperada en diciembre de 2025. Software de procesamiento Bibliometrix®

Principales tendencias de investigación y perspectivas

Las tendencias de investigación muestran un campo en plena expansión, estructurado en varios núcleos temáticos robustos y dominado internacionalmente por unos pocos países. Colombia ya está insertada en esa dinámica, especialmente vía biocontrol, pero las tendencias apuntan a que, para ganar peso y relevancia en el manejo de plagas cuarentenarias, será clave avanzar hacia mayor integración temática (clásico + molecular + programas de gran escala) y mayor integración relacional (colaboraciones más profundas

y diversificadas con los hubs). A continuación, se detallan las principales tendencias identificadas a partir del análisis de los resúmenes de los documentos recuperados:

Convergencia entre biocontrol clásico y herramientas moleculares

Una tendencia clara en el conjunto de publicaciones científicas es la combinación de enfoques: los módulos de biocontrol y de biología molecular todavía están algo separados, pero el volumen de trabajos que exploran resistencia y mecanismos genéticos está creciendo rápido, previendo un aumento de estudios donde los agentes biológicos y las tácticas de manejo se diseñen explícitamente considerando información molecular y genómica de las plagas. Para Colombia y la región esto abre la puerta a alianzas que conecten su experiencia en biocontrol e invasiones con grupos de investigación fuertes en genómica y RNAi de los países referentes

Crecimiento de programas integrados para plagas invasoras y cuarentenarias

El tema motor del mapa temático apunta a una expansión de programas de manejo a gran escala, con fuerte componente de monitoreo, liberaciones controladas, combinaciones de tácticas y evaluación continua. En la medida en que el problema de las plagas invasoras y cuarentenarias se intensifique, es previsible que estos programas se vuelvan referencia obligada y se exporten como modelos a otros cultivos y regiones. Para Colombia, el reto no es solo sumar tácticas, sino consolidar programas integrales en alianza con los países con mayor experiencia operativa.

Incorporación progresiva de plagas forestales y cambio climático en la agenda central

Aunque hoy aparezcan en la periferia temática, las plagas forestales asociadas a cambios ambientales tienen un potencial evidente de volverse más centrales, especialmente bajo escenarios de expansión de rangos y nuevas rutas de introducción. Una tendencia razonable es que, con el tiempo, estos problemas se integren mejor con las estrategias de vigilancia y manejo cuarentenario ya consolidadas en la agricultura. Anticiparse a esa integración —por ejemplo, conectando grupos de sanidad forestal con redes de manejo de plagas agrícolas— es una oportunidad para países megadiversos como Colombia.

Reforzar y diversificar la posición en la red de colaboración

La estructura actual de la red de colaboración de países indica que el acceso a tecnologías de punta, datos y experiencia está muy mediado por la colaboración con los hubs. Una tendencia deseable es que países intermedios, como Colombia, pasen de ser solo usuarios de conocimiento a socios estratégicos que aportan casos de estudio, diversidad de sistemas y capacidades de implementación de estrategias de control en campo. Eso implica profundizar las colaboraciones ya existentes con los hubs en temas donde Colombia es fuerte (biocontrol, invasiones, modelación), pero también abrir nuevas líneas conjuntas en los temas donde hoy hay brechas (molecular, programas autocidas, plagas de cultivos básicos y forestales clave).

Bibliografía

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

Instituto Colombiano Agropecuario. 2020. Listado de Plagas reglamentadas en Colombia. Resolución 3593 de 2015. Actualización Resolución 00032 de 2020. Disponible en <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/epidemiologia-agricola/plagas-reglamentadas.aspx>

Anexo 1. Ecuación de búsqueda

("Aceria sheldoni" OR "Acrolepiopsis assectella" OR "Acyrtosiphon kondoi" OR "Acyrtosiphon pisum" OR "Adoretus sinicus" OR "Adoxophyes orana" OR "Agasphaerops nigra" OR "Agrilus sinuatus" OR "Agriotes obscurus" OR "Agrilus convolvuli" OR "Agrotis segetum" OR "Alcidodes dentipes" OR "Aleurocanthus spiniferus" OR "Aleurodicus destructor" OR "Amblypelta cocophaga" OR "Amblypelta lutescens" OR "Amblyptilia pica" OR "Amphicerus bicaudatus" OR "Amphimallon majalis" OR "Amrasca biguttula" OR "Anastrepha ludens" OR "Anastrepha suspensa" OR "Anguina agrostis" OR "Anguina tritici" OR "Anomis flava" OR "Antestiopsis intricata" OR "Antestiopsis orbitalis" OR "Anthonomus pyri" OR "Anthonomus signatus" OR "Anthonomus vestitus" OR "Aonidiella aurantii" OR "Apion soleatum" OR "Apogonia cribricollis" OR "Apsylla cistellata" OR "Artona catoxantha" OR "Aulacaspis tegalensis" OR "Aulacophora hilaris" OR "Bactrocera spp." OR "Earias spp." OR "Helopeltis spp." OR "Proeulia spp." OR "Rhagoletis spp." OR "Brevipalpus californicus" OR "Brevipalpus chilensis" OR "Brevipalpus lewisi" OR "Brontispa longissima" OR "Bruchus rufimanus" OR "Bryocoropsis laticollis" OR "Bursaphelenchus xylophilus" OR "Busseola fusca" OR "Cacoecimorpha pronubana" OR "Cacyreus marshalli" OR "Callosobruchus chinensis" OR "Capnodis tenebrionis" OR "Carpomya pardalina" OR "Carpophilus hemipterus" OR "Carpophilus humeralis" OR "Carpophilus mutilatus" OR "Carposina sasakii" OR "Catarata lepisma" OR "Caulophilus oryzae" OR "Ceratitis cosyra" OR "Ceratitis punctata" OR "Ceratitis quinaria" OR "Ceratitis rosa" OR "Ceroplastes destructor" OR "Ceroplastes rusci" OR "Chaetanaphothrips orchidii" OR "Chaetanaphothrips signipennis" OR "Chaetocnema confinis" OR "Characoma stictigrapta" OR "Chilo agamemnon" OR "Chilo auricilius" OR "Chilo infuscatellus" OR "Chilo orichalcociliellus" OR "Chilo partellus" OR "Chilo polychrysus" OR "Chilo sacchariphagus" OR "Chilo suppressalis" OR "Chromatomyia horticola" OR "Chrysodeixis chalcites" OR "Cicadulina mbila" OR "Cinara cronartii" OR "Cochliotia melolonthoides" OR "Coelaenomenodera elaeidis" OR "Colomerus vitis" OR "Conoderus rufangulus" OR "Conogethes punctiferalis" OR "Conopomorpha cramerella" OR "Conotrachelus aguacatae" OR "Conotrachelus denieri" OR "Conotrachelus nenuphar" OR "Conotrachelus perseae" OR "Contarinia maculipennis" OR "Contarinia tritici" OR "Crioceris asparagi" OR "Cryptoblabes gnidiella" OR "Cryptolestes pusillus" OR "Cydia nigricana" OR "Cydia pomonella" OR "Cydia splendana" OR "Cylas femoralis" OR "Cylas puncticollis" OR "Dacus (género)" OR "Delia coarctata" OR "Delia flavibasis" OR "Dendroctonus adjunctus" OR "Dendroctonus brevicomis" OR "Dendroctonus frontalis" OR "Dendroctonus ponderosae" OR "Desmia funeralis" OR "Diaprepes abbreviatus" OR "Diarthrotrips coffeae" OR "Diaspidiotus perniciosus" OR "Dielispa armigera" OR "Diparopsis tephragamma" OR "Diparopsis watersii" OR "Distantiella theobroma" OR "Ditylenchus angustus" OR "Ditylenchus destructor" OR "Drosicha stebbingii" OR "Drosophila suzukii" OR "Dysaphis tulipae" OR "Dysdercus andreae" OR "Dysdercus cingulatus" OR "Dysdercus fasciatus" OR "Dyspessa ulula" OR "Earias spp." OR "Eldana saccharina" OR "Empoasca vitis" OR "Ephestia elutella" OR "Epicaerus cognatus" OR "Epicampoptera andersoni" OR "Epicauta vittata" OR "Epichoristodes acerbella" OR "Epilachna similis" OR "Epiphyas postvittana" OR "Eulophonotus myrmeleon" OR "Eumerus strigatus" OR "Euphranta japonica" OR "Eupoecilia ambiguella" OR "Euproctis chrysorrhoea" OR "Euscapes postfasciatus" OR "Eutetranychus orientalis" OR "Eutinobothrus brasiliensis" OR "Eutinobothrus gossypii" OR "Euwallacea fornicatus" OR "Euzopherodes vapidella" OR "Exomala orientalis" OR "Exopholis hypoleuca" OR "Furcaspis oceanica" OR "Gangara thyrsis" OR "Globodera rostochiensis" OR "Glyptoscelis squamulata" OR "Gonipterus scutellatus" OR "Grapholita funebrana" OR "Grapholita molesta" OR "Grapholita prunivora" OR "Haritalodes derogata" OR "Helicoverpa armigera" OR "Helopeltis spp." OR "Hercinothrips bicinctus" OR "Hercinothrips femoralis" OR "Heterodera avenae" OR "Heterodera cajani" OR "Heterodera carotae" OR "Heterodera goettingiana" OR "Heterodera humuli" OR "Heterodera mani" OR "Heterodera oryzae" OR "Heterodera schachtii" OR "Heterodera zae" OR "Heteronychus consimilis" OR "Hippotion celerio" OR "Hirschmanniella spinicaudata" OR "Homona coffearia" OR "Hoplolaimus pararobustus" OR "Horcias nobilellus" OR "Hypena scabra" OR "Hypera brunniipennis" OR "Hypera postica" OR "Hypera zoilus" OR "Hyphantria cunea" OR "Icerya aegyptiaca" OR "Idioscopus clypealis" OR "Ips amitinus" OR "Ips calligraphus" OR "Ips confusus" OR "Ips grandicollis" OR "Ips lecontei" OR "Ips pini" OR "Ips plastographus" OR "Ips sexdentatus" OR "Korscheltellus lupulina" OR "Lampides boeticus" OR "Laodelphax striatellus" OR "Leguminivora ptychora" OR "Lema pectoralis" OR "Leptinotarsa decemlineata" OR "Leptocorisa acuta" OR "Leptocorisa oratorius" OR "Leucinodes orbonalis" OR "Leucoptera malifoliella" OR "Limothrips cerealium" OR "Liorhyssus hyalinus" OR "Liriomyza bryoniae" OR "Listronotus bonariensis" OR "Lixus juncii" OR "Lobesia botrana" OR "Lopholeucaspis japonica" OR "Lymantria dispar" OR "Macrosiphum lili" OR "Mallodon downesi" OR "Mamestra brassicae" OR "Mayetiola destructor" OR "Megastigmus spermotrophus" OR "Meloidogyne chitwoodi" OR "Meloidogyne mali" OR "Merodon equestris"

OR "Mussidia nigrivenella" OR "Myzus cerasi" OR "Nacobbus aberrans" OR "Nacoleia octasema" OR "Naupactus leucoloma" OR "Naupactus xanthographus" OR "Negeta chlorocrota" OR "Neolasioptera hibisci" OR "Neomaskellia bergii" OR "Nephotettix nigropictus" OR "Nephotettix virescens" OR "Nilaparvata lugens" OR "Odoiporus longicollis" OR "Omphisca anastomosalis" OR "Ootheca mutabilis" OR "Operophtera brumata" OR "Ophiomyia phaseoli" OR "Opisina arenosella" OR "Opogona sacchari" OR "Orgyia postica" OR "Orseolia oryzae" OR "Orseolia oryzivora" OR "Oryctes boas" OR "Oryctes monoceros" OR "Oryctes rhinoceros" OR "Ostrinia nubilalis" OR "Otiorrhynchus ovatus" OR "Oulema melanopus" OR "Oulema oryzae" OR "Papaipema nebris" OR "Paraponyx stagnalis" OR "Parasa lepida" OR "Paratrichodorus porosus" OR "Parnara guttatus" OR "Parthenolecanium persicae" OR "Pectinophora scutigera" OR "Phlyctinus callosus" OR "Phoracantha semipunctata" OR "Phyllophaga smithi" OR "Phytoptus avellanae" OR "Pieris brassicae" OR "Pimelephila ghesquieri" OR "Pissodes castaneus" OR "Pissodes nemorensis" OR "Pissodes radiatae" OR "Pissodes schwarzi" OR "Pissodes strobili" OR "Pissodes terminalis" OR "Planococcoides njalensis" OR "Planococcus kenyae" OR "Platynota stultana" OR "Plesispa reichei" OR "Popillia japonica" OR "Pratylenchus loosi" OR "Pratylenchus pratensis" OR "Prays citri" OR "Prays endocarpa" OR "Prays oleae" OR "Premnotrypes latithorax" OR "Premnotrypes sanfordi" OR "Premnotrypes solani" OR "Proeulia spp." OR "Promecotheca caeruleipennis" OR "Promecotheca cumingii" OR "Protomelittomma insulare" OR "Pseudacanthotermes militaris" OR "Pseudococcus cryptus" OR "Pseudococcus viburni" OR "Pseudothrips devastans" OR "Pseudothrips wayi" OR "Punctodera chalcoensis" OR "Punctodera punctata" OR "Recilia dorsalis" OR "Rhabdoscelus obscurus" OR "Rhagoletis spp." OR "Rhigopsidius tucumanus" OR "Rhipiphorothrips cruentatus" OR "Rhyacionia buoliana" OR "Rhyacionia frustrana" OR "Rhynchophorus phoenicis" OR "Sahlbergella singularis" OR "Scirpophaga incertulas" OR "Scirpophaga innotata" OR "Scirpophaga nivella" OR "Scirtothrips aurantii" OR "Scirtothrips mangiferae" OR "Scotinophara lurida" OR "Scutellonema brachyurus" OR "Sesamia calamistis" OR "Sesamia cretica" OR "Sesamia inferens" OR "Sirex noctilio" OR "Sitodiplosis mosellana" OR "Solenopsis interrupta" OR "Spodoptera exempta" OR "Spodoptera littoralis" OR "Spodoptera litura" OR "Spodoptera mauritia" OR "Steneotarsonemus laticeps" OR "Stenocoris apicalis" OR "Stephanitis typica" OR "Sternochetus frigidus" OR "Sternochetus mangiferae" OR "Tenebrio obscurus" OR "Tetranychus pacificus" OR "Thaumatotibia leucotreta" OR "Theretra oldenlandiae" OR "Thrips angusticeps" OR "Thrips imaginis" OR "Thrips nigropilosus" OR "Tipula paludosa" OR "Tiracola plagiata" OR "Tomicus piniperda" OR "Trioza erytrae" OR "Trogoderma Dejean" OR "Tylenchorhynchus brevilineatus" OR "Tylenchorhynchus elegans" OR "Unaspis yanonensis" OR "Xestia c-nigrum" OR "Xiphinema americanum" OR "Xiphinema diversicaudatum" OR "Xyleborus rubricollis" OR "Xylosandrus compactus" OR "Yponomeuta malinellus" OR "Zeuzera coffeae" OR "Anastrepha complejo" OR "Anastrepha grandis" OR "Anthonomus grandis" OR "Bursaphelenchus cocophilus" OR "Ceratitis capitata" OR "Heilipus lauri" OR "Heilipus trifasciatus" OR "Lissachatina fulica" OR "Maconellicoccus hirsutus" OR "Parabemisia myricae" OR "Rhynchophorus palmarum" OR "Stenoma catenifer" OR "Strategus aloeus" OR "Thrips palmi") AND (control OR "pest management")



AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria