

**Análisis de datos en la floricultura colombiana: monitoreo y reporte de plagas y enfermedades para una gestión eficiente y sostenible**

María Alejandra Ballen Ariza

Asesor

María Alejandra Varona Tabora

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI

Especialización en Ciencia de Datos y Analítica

2026

## Dedicatoria

Dedico esta monografía a mis madres en el cielo:

A doña Aminta Ballén Sierra, quien entregó todas sus fuerzas para cuidarme y acompañarme durante los años que Dios le permitió. Hoy celebraría este logro como nadie en el mundo, pues siempre fue y seguirá siendo mi inspiración y mi mayor ejemplo.

A Rosa Ariza, por motivarme y enseñarme a encontrar calma en medio del afán; por su apoyo incondicional, sincero y amoroso, y por ser una presencia activa en el crecimiento de mi hijo, impulsándome siempre a continuar estudiando.

A mi padre, Pedro López, por su guía, sus valores y por marcar un camino respetado y correcto por el cual andar. Espero hacerlo sentir profundamente orgulloso, así como me siento profundamente orgullosa de él, reconociendo con este logro el agradecimiento eterno que tengo por su amor, su guía y su apoyo, porque sin toda su ayuda esto no sería una realidad.

A mi hijo, Thomas Garzón, mi motor, mi fuerza y mi mayor orgullo. Su sonrisa y su mirada encantadora me recuerdan cada día que debo ser mejor para él; porque él es lo mejor de mi vida y merece lo mejor. Aspiro a enseñarle, con mi ejemplo, que estudiar abre caminos y que puede llegar tan lejos como sueño, lleno de conocimiento y de valores firmes.

## **Agradecimientos**

Agradezco profundamente a Dios por regalarme esta oportunidad y acompañar cada paso de mi camino.

A mi familia, por su apoyo emocional y su compañía constante durante mi formación académica.

Especialmente a mis padres e hijo por ser mi inspiración y ejemplo.

A mi gemela, Paola Ballén, compañera incondicional, cómplice y celebradora número 1 de mis logros; porque cada conquista es compartida gracias a su apoyo permanente.

A mi hermana Francly, por impulsarme siempre a crecer y estar siempre dispuesta a ayudarme siempre con su actitud positiva dispuesta a encontrar los recursos y contenidos que facilitaron este camino;

A mi hermano Hersnon, por cada conversación en la que celebró conmigo incluso los pequeños avances.

A mis sobrinas, Nana y Eli, por llenar mi vida de luz, diversión y alegría, A mi cuñado Tatán, por escuchar una y otra vez mi preparación para cada trabajo y brindarme siempre su asesoría.

A mi pareja, Alex, por su apoyo incondicional y sus valiosos consejos.

Extiendo especialmente mi gratitud a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, por brindarme un espacio de aprendizaje accesible, riguroso y transformador.

A mis docentes, por su dedicación, guía y calidad humana, que hicieron posible este logro.

## Resumen

Esta monografía analiza el impacto del análisis de datos en el monitoreo y manejo de plagas y enfermedades en la floricultura colombiana, con el propósito de comprender su aporte a una gestión fitosanitaria más eficiente y sostenible. El estudio se desarrolló mediante una revisión sistemática de literatura siguiendo las directrices de la metodología PRISMA 2020, lo que garantizó un proceso riguroso, transparente y reproducible en la selección y análisis de las fuentes. La búsqueda se realizó en bases de datos académicas, repositorios institucionales e informes sectoriales y normativos, aplicando criterios explícitos de inclusión y exclusión, lo que permitió seleccionar 18 estudios relevantes evaluados según su pertinencia temática, rigor metodológico y aplicabilidad al contexto de la floricultura colombiana. Los resultados evidencian que el sector floricultor colombiano se encuentra en una fase de transición en materia de monitoreo fitosanitario, donde coexisten métodos tradicionales con herramientas digitales emergentes. La literatura revisada demuestra que la incorporación de técnicas de análisis de datos, especialmente la analítica predictiva y el aprendizaje automático, contribuye a mejorar la detección temprana de plagas y enfermedades, optimizar el uso de agroquímicos, reducir costos operativos y fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia. No obstante, también se identifican limitaciones asociadas a la calidad y disponibilidad de los datos, la infraestructura tecnológica y la formación del talento humano, concluyendo que el análisis de datos constituye un eje estratégico para fortalecer la gestión fitosanitaria y la sostenibilidad de la floricultura colombiana cuando su implementación es sistemática y contextualizada.

***Palabras claves:*** Agricultura inteligente, análisis de datos, floricultura, gestión fitosanitaria, plagas, sostenibilidad.

## Abstract

This monograph analyzes the impact of data analysis on the monitoring and management of pests and diseases in the Colombian floriculture sector, aiming to understand its contribution to more efficient and sustainable phytosanitary management. The study was conducted through a systematic literature review following the PRISMA 2020 guidelines, ensuring a rigorous, transparent, and reproducible process for the selection and analysis of sources. The search was carried out in academic databases, institutional repositories, and sectoral and regulatory reports using explicit inclusion and exclusion criteria, resulting in the selection of 18 relevant studies evaluated according to thematic relevance, methodological rigor, and applicability to the Colombian floriculture context. The results indicate that the Colombian floriculture sector is undergoing a transitional phase in phytosanitary monitoring, where traditional practices coexist with emerging digital tools. The reviewed literature shows that the integration of data analysis techniques, particularly predictive analytics and machine learning, improves early detection of pests and diseases, optimizes pesticide use, reduces operational costs, and strengthens evidencebased decision-making. However, challenges related to data quality and availability, technological infrastructure, and human resource training persist, confirming that data analysis represents a strategic axis for strengthening phytosanitary management and sustainability in Colombian floriculture when implemented systematically and contextually.

**Keywords:** Data analysis, floriculture, smart agriculture, plant health management, pests, sustainability.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	10
Descripción y Planteamiento del Problema .....	12
Descripción del Problema .....	12
Planteamiento del Problema.....	12
Sistematización del Problema .....	13
Justificación .....	14
Objetivos.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
Marco de Referencia .....	16
Estado del Arte .....	16
Marco Contextual.....	16
Marco Teórico .....	17
Marco Conceptual .....	17
Marco Normativo .....	18
Metodología .....	20
Tipo y Enfoque de Estudio.....	20
Método Revisión Sistemática de Literatura .....	20
Fuentes de Información y Estrategias de Búsqueda.....	20
Criterios de Inclusión .....	21
Criterios de Exclusión.....	22
Procedimiento de Análisis de la Información .....	22

Diagrama de Flujo PRISMA y Proceso de Selección de Estudios.....	22
Resultados .....	29
Aportes Relacionados con el Estado Actual del Monitoreo Fitosanitario .....	29
Aportes Sobre Enfoques y Técnicas de Análisis de Datos.....	32
Aportes Sobre Beneficios, Limitaciones y Desafíos del Uso de Modelos Predictivos.....	37
Síntesis Integradora de los Aportes y Resultados .....	41
Conclusión .....	48
Recomendaciones .....	49
Referencias Bibliográficas .....	50

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Diagrama de Flujo PRISMA del Proceso de Selección de Estudios</i> .....	23
--	----

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Resumen del Proceso de Selección de Estudios Según Metodología PRISMA</i> .....	24
<b>Tabla 2</b> <i>Matriz de Evaluación de los Estudios Seleccionados en la Revisión Sistemática</i> .....	25
<b>Tabla 3</b> <i>Síntesis de los Aportes de los Estudios Seleccionados en la Revisión Sistemática</i> .....	42
<b>Tabla 4</b> <i>Síntesis de Técnicas de Analítica de Datos Identificadas en la Literatura</i> .....	47

## Introducción

La floricultura se ha consolidado como una de las actividades agrícolas más importantes de Colombia, posicionando al país como el segundo exportador mundial de flores y generando un aporte significativo al PIB agropecuario, al empleo rural y a las divisas del país (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023; Asocolflores, 2022). La mayor parte de la producción se concentra en la Sabana de Bogotá y el Oriente antioqueño, donde las condiciones agroclimáticas favorecen el cultivo intensivo de flores de exportación.

Sin embargo, la sostenibilidad y competitividad del sector se ven amenazadas por la presencia recurrente de plagas y enfermedades que afectan la productividad, la calidad y el cumplimiento de exigentes estándares fitosanitarios internacionales (FAO, 2022; Pérez & Gómez, 2021). Tradicionalmente, la gestión fitosanitaria ha dependido de inspecciones manuales y aplicaciones calendarizadas de agroquímicos, lo que conduce con frecuencia a decisiones reactivas, sobreuso de insumos, mayores costos y posibles impactos ambientales y en la salud de los trabajadores.

En este contexto, la agricultura inteligente y el análisis de datos emergen como alternativas estratégicas para transformar la manera en que se monitorean y manejan los riesgos fitosanitarios. El uso de sensores, plataformas de gestión de datos y modelos predictivos basados en aprendizaje automático permite pasar de un enfoque meramente descriptivo a esquemas preventivos y predictivos, con potencial para optimizar el uso de agroquímicos, anticipar brotes y favorecer prácticas más sostenibles (FAO, 2022; López & Martínez, 2020; Rodríguez, 2022).

Esta monografía presenta una revisión sistemática de literatura sobre el impacto del análisis de datos en el monitoreo y manejo de plagas y enfermedades en la floricultura colombiana, y su contribución a la sostenibilidad del sector. Para ello, se adopta la metodología

PRISMA 2020, una guía ampliamente utilizada para la elaboración de revisiones sistemáticas (Page et al., 2021), adaptada al contexto de la ciencia de datos aplicada a la agricultura, con el fin de recopilar, seleccionar y sintetizar información académica, institucional y técnica relevante.

Los resultados obtenidos permiten describir el estado actual de los sistemas de monitoreo, identificar las principales técnicas de análisis de datos aplicadas al control fitosanitario y analizar los beneficios, limitaciones y desafíos del uso de modelos predictivos y aprendizaje automático en la floricultura colombiana, articulando estos hallazgos con los objetivos planteados.

## **Descripción y Planteamiento del Problema**

### **Descripción del Problema**

La floricultura colombiana, pese a su reconocimiento internacional, enfrenta desafíos persistentes en el manejo de plagas y enfermedades. La alta densidad de cultivos, la diversidad de especies ornamentales y las condiciones ambientales favorecen la aparición y dispersión de patógenos. Esto obliga a realizar monitoreos constantes y aplicar tratamientos fitosanitarios frecuentes, lo que incrementa los costos de producción y puede generar impactos negativos en el ambiente y la salud de los trabajadores (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023; FAO, 2022).

Los métodos tradicionales de monitoreo se basan en recorridos de campo y registros manuales realizados por personal técnico. Estos procedimientos, aunque necesarios, presentan limitaciones en términos de cobertura, precisión, oportunidad y capacidad predictiva. La ausencia de mecanismos sistemáticos de análisis de datos limita la posibilidad de anticipar brotes, optimizar las intervenciones y reducir el uso de agroquímicos.

### **Planteamiento del Problema**

Aunque la agricultura de precisión, el Big Data y el aprendizaje automático han demostrado su efectividad en otros sistemas agrícolas, su adopción en la floricultura colombiana aún es incipiente. Existen brechas en el uso de herramientas analíticas que integren información ambiental, climática, edáfica y biológica para apoyar el monitoreo y manejo fitosanitario.

En este contexto, surge la necesidad de revisar de manera sistemática la literatura disponible para comprender: ¿Cómo se está utilizando el análisis de datos en el monitoreo y manejo de plagas y enfermedades en floricultura?, ¿Qué técnicas y herramientas analíticas se han aplicado? Y ¿Cuáles son los beneficios, limitaciones y desafíos de su implementación?

## **Sistematización del Problema**

A partir del planteamiento anterior, se formulan las siguientes preguntas específicas:

¿Cuál es el estado actual de la floricultura colombiana en relación con los sistemas de monitoreo de plagas y enfermedades?

¿Qué enfoques y técnicas de análisis de datos se han utilizado en la agricultura inteligente para la detección de plagas aplicables a la floricultura?

¿Cuáles son los beneficios, limitaciones y desafíos asociados al uso de modelos predictivos y aprendizaje automático en la gestión fitosanitaria del sector floricultor colombiano?

## Justificación

El sector floricultor colombiano es estratégico para la economía nacional, pero su sostenibilidad depende en gran medida de la capacidad de manejar eficazmente los riesgos fitosanitarios. La persistencia en el uso de métodos convencionales, basados principalmente en la experiencia empírica y el uso intensivo de agroquímicos, resulta insuficiente frente a la complejidad de los sistemas de producción actuales y a las exigencias de los mercados internacionales.

La ciencia de datos ofrece un marco metodológico y tecnológico que permite aprovechar mejor la información generada en campo (registros de muestreos, aplicaciones de insumos, datos climáticos, entre otros), para transformarla en conocimiento útil para la toma de decisiones. No obstante, la literatura evidencia una brecha entre el potencial de estas tecnologías y su aplicación efectiva en la floricultura colombiana (FAO, 2022; Parra Méndez, Santos Méndez, & Pineda Romero, 2021).

Esta monografía se justifica en la necesidad de:

Sistematizar el conocimiento existente sobre el uso del análisis de datos y el aprendizaje automático en la gestión fitosanitaria.

Identificar los avances, oportunidades y limitaciones para su implementación en la floricultura.

Aportar una reflexión académica que oriente futuras investigaciones y la adopción de estrategias de agricultura inteligente en el sector.

El trabajo contribuye tanto al ámbito académico, al consolidar un marco conceptual y teórico sobre el uso de analítica de datos en agricultura, como al sector productivo, al ofrecer una visión crítica de los desafíos y posibilidades de innovación sostenible en floricultura.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar el impacto del análisis de datos en el monitoreo y manejo de plagas y enfermedades en la floricultura colombiana, con el fin de comprender su aporte a una gestión agrícola más eficiente y sostenible.

### **Objetivos Específicos**

Describir el estado actual de la floricultura colombiana en relación con los sistemas de monitoreo de plagas y enfermedades.

Identificar los enfoques y técnicas de análisis de datos utilizadas en la agricultura inteligente para la detección de plagas aplicables al sector floricultor.

Analizar los beneficios, limitaciones y desafíos asociados al uso de modelos predictivos y aprendizaje automático en la gestión fitosanitaria de la floricultura colombiana.

## **Marco de Referencia**

### **Estado del Arte**

Diversos estudios han abordado la aplicación de análisis de datos y modelos predictivos en el sector agropecuario. Pérez y Gómez (2021) documentan aplicaciones en el contexto colombiano, destacando el uso de modelos estadísticos y de aprendizaje automático para predecir rendimientos, plagas y enfermedades en cultivos comerciales. La FAO (2022) señala que la agricultura digital y de precisión se apoya en sensores, plataformas de gestión de datos y modelos analíticos que permiten una toma de decisiones más informada.

En la literatura internacional se encuentran trabajos que aplican técnicas de visión computacional, redes neuronales y modelos de clasificación para el reconocimiento de síntomas de enfermedades y plagas en cultivos ornamentales y agrícolas en general. Sin embargo, la evidencia específica para floricultura colombiana es menos abundante y se concentra en reportes técnicos, experiencias empresariales y documentos institucionales.

Informes del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2023) y de la Asociación Colombiana de Exportadores de Flores –Asocolflores– (2022) resaltan iniciativas de modernización tecnológica en algunos cultivos, pero también reconocen la necesidad de fortalecer la gestión de información, la infraestructura digital y la capacitación del talento humano.

### **Marco Contextual**

Colombia es el segundo exportador mundial de flores, con una superficie cultivada superior a las 8.000 hectáreas, localizadas principalmente en la Sabana de Bogotá y el Oriente antioqueño (Ministerio de Agricultura, 2023). La floricultura genera miles de empleos directos e indirectos y aporta significativamente al PIB agropecuario.

Este contexto productivo implica altos estándares de calidad y sanidad impuestos por los mercados de destino, lo que exige sistemas de monitoreo fitosanitario robustos y eficientes. Al mismo tiempo, el sector se enfrenta a presiones ambientales y sociales que demandan prácticas más sostenibles, incluida la reducción del uso de agroquímicos y la adopción de tecnologías limpias.

### **Marco Teórico**

El análisis de datos en agricultura se enmarca en la agricultura inteligente o de precisión, que integra sensores, sistemas de información geográfica, modelamiento estadístico y algoritmos de aprendizaje automático para optimizar la toma de decisiones (FAO, 2022). Desde la perspectiva de la analítica de datos, se reconocen tres niveles principales:

Analítica descriptiva: resume qué ha ocurrido mediante estadísticas y visualizaciones.

Analítica predictiva: anticipa lo que podría ocurrir mediante modelos estadísticos y de machine learning.

Analítica prescriptiva: sugiere acciones óptimas basadas en modelos de optimización y simulación.

En el ámbito fitosanitario, los modelos predictivos permiten relacionar variables climáticas, edáficas, fenológicas y biológicas con la aparición y dispersión de plagas y enfermedades. Técnicas como la regresión logística, los bosques aleatorios y las redes neuronales artificiales se utilizan para clasificar estados de riesgo o predecir niveles de infestación

(Rodríguez, 2022).

### **Marco Conceptual**

Algunos conceptos clave para esta monografía son:

Floricultura: actividad agrícola dedicada a la producción de flores y follajes ornamentales con fines comerciales, principalmente para exportación.

Gestión fitosanitaria: conjunto de acciones orientadas a prevenir, monitorear y controlar plagas y enfermedades que afectan los cultivos.

Análisis de datos: proceso de recopilación, limpieza, transformación, modelamiento e interpretación de datos para generar conocimiento útil.

Agricultura inteligente/de precisión: enfoque de manejo de cultivos que utiliza información georreferenciada, sensores y modelamiento para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad.

Aprendizaje automático (machine learning): rama de la inteligencia artificial que desarrolla modelos capaces de aprender patrones a partir de datos sin ser programados explícitamente.

Modelos predictivos: modelos estadísticos o de machine learning que estiman la probabilidad de ocurrencia de un evento futuro (por ejemplo, un brote de plaga).

### **Marco Normativo**

En Colombia, la gestión fitosanitaria en floricultura se rige por la normatividad emitida por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y otras entidades sectoriales. Estas normas establecen requerimientos para el manejo de plagas cuarentenarias, uso responsable de agroquímicos, registros de aplicaciones, inocuidad y certificaciones para exportación.

En el caso específico de la floricultura de exportación, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) ha establecido requisitos y medidas fitosanitarias para los lugares de producción y empresas exportadoras de flores y follajes, mediante resoluciones y manuales técnicos orientados

al manejo de plagas cuarentenarias y a la trazabilidad de la producción (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2018; ICA, 2024). Estas disposiciones normativas refuerzan la importancia de contar con sistemas de monitoreo y registro robustos, que pueden potenciarse con el uso de herramientas de análisis de datos.

## **Metodología**

### **Tipo y Enfoque de Estudio**

El estudio es de tipo documental y descriptivo, ya que se basa en la revisión y análisis de fuentes secundarias (artículos científicos, libros, informes técnicos e institucionales) relacionadas con el análisis de datos y la gestión fitosanitaria en floricultura.

El enfoque es cualitativo–cuantitativo descriptivo: cualitativo, porque se realiza interpretación de contenidos, y cuantitativo en la medida en que se identifican y sintetizan tendencias, enfoques y frecuencias reportadas en la literatura.

### **Método Revisión Sistemática de Literatura**

La revisión se diseñó y reportó siguiendo las directrices de la declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021), adaptándolas al contexto de la ciencia de datos aplicada a la agricultura, permitiendo:

Definir preguntas de investigación claras (vinculadas a los objetivos).

Establecer criterios explícitos de inclusión y exclusión de estudios.

Realizar una búsqueda estructurada en fuentes de información.

Seleccionar, evaluar y sintetizar los estudios relevantes.

### **Fuentes de Información y Estrategias de Búsqueda**

Bases de datos académicas: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Scielo, Redalyc.

Repositorios institucionales: Repositorio Institucional UNAD, universidades nacionales e internacionales.

Informes de organismos internacionales y nacionales: FAO, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Asocolflores.

Revistas técnicas y especializadas: por ejemplo, Revista Agronegocios y otras relacionadas con agricultura y tecnología.

Se emplearon combinaciones de palabras clave en español e inglés, como: “floricultura”, “plagas y enfermedades”, “gestión fitosanitaria”, “análisis de datos”, “agricultura de precisión”, “machine learning”, “predictive models”, “ornamental crops”, “Colombia”.

### **Criterios de Inclusión**

La selección de la literatura se orientó por las siguientes preguntas guía:

- a) ¿El estudio aborda el uso de análisis de datos, agricultura de precisión, modelos predictivos o aprendizaje automático?
- b) ¿El estudio se relaciona con el monitoreo, detección o manejo de plagas y enfermedades en cultivos agrícolas, preferentemente florícolas u ornamentales?
- c) ¿El contexto geográfico o tecnológico del estudio resulta pertinente para su posible aplicación en la floricultura colombiana?

Con base en estas preguntas, se aplicaron los siguientes criterios de inclusión:

- a) Publicaciones entre 2010 y 2025.
- b) Artículos científicos, libros, capítulos de libro, informes técnicos e institucionales con metodología explícita.
- c) Estudios que vinculen la gestión fitosanitaria con herramientas de análisis de datos, agricultura de precisión o modelos de aprendizaje automático.
- d) Documentos relacionados con floricultura u otros cultivos agrícolas cuyos enfoques analíticos sean transferibles a la floricultura.

### **Criterios de Exclusión**

Estudios que no abordan aspectos fitosanitarios ni técnicas de análisis de datos, publicaciones duplicadas o sin acceso al texto completo y documentos de opinión o notas de divulgación sin respaldo metodológico o técnico.

### **Procedimiento de Análisis de la Información**

Lectura inicial de títulos y resúmenes para verificar la pertinencia con las preguntas de investigación.

Lectura detallada de los documentos seleccionados, identificando: tipo de cultivo, tipo de plaga o enfermedad, técnica de análisis de datos utilizada, resultados principales y contexto (Colombia/otros países).

Organización de la información en una matriz en Excel o herramienta similar, clasificando los estudios según los objetivos específicos.

1. Análisis temático y descriptivo, agrupando hallazgos en categorías:
2. Estado de los sistemas de monitoreo.
3. Técnicas de análisis de datos y modelos predictivos.
4. Beneficios y desafíos de su implementación.
5. Síntesis de resultados en forma de narrativas, tablas y posibles figuras, que

relacionen los hallazgos con el problema de investigación.

### **Diagrama de Flujo PRISMA y Proceso de Selección de Estudios**

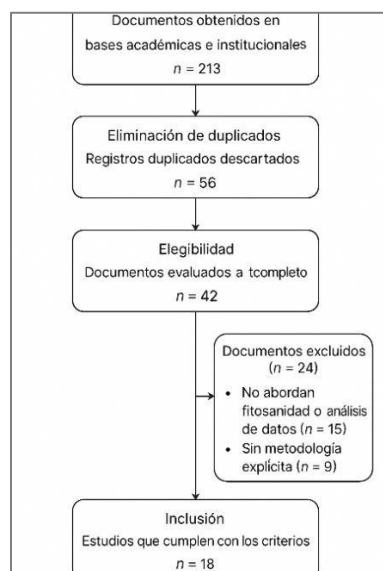
El proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de estudios se representó mediante un diagrama de flujo PRISMA. En la fase de identificación se obtuvieron 213 registros en bases de datos académicas e institucionales. Tras la eliminación de duplicados, se conservaron 157 documentos para el cribado inicial de títulos y resúmenes.

En la etapa de elegibilidad, 42 documentos fueron revisados a texto completo aplicando los criterios de inclusión y exclusión definidos. Finalmente, 18 estudios cumplieron con todos los criterios metodológicos y de contenido, por lo que fueron incluidos en la síntesis cualitativa de resultados.

Este proceso se sintetiza en el diagrama PRISMA (Figura 1) y en la Tabla 1, que presentan el flujo de selección y los principales motivos de exclusión.

### Figura 1

*Diagrama de Flujo PRISMA del Proceso de Selección de Estudios*



Además del diagrama de flujo, el proceso de selección se registró en una matriz de referencia que resume las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión, junto con los criterios aplicados.

**Tabla 1***Resumen del Proceso de Selección de Estudios Según Metodología PRISMA*

Etapa PRISMA	Descripción del proceso	Número de documentos
Identificación	Documentos obtenidos en bases académicas e institucionales	213
Eliminación de duplicados	Registros duplicados descartados	56
Cribado	Revisión de títulos y resúmenes	157
Elegibilidad	Documentos evaluados a texto completo	42
Inclusión final	Estudios que cumplen con los criterios	18

Los estudios incluidos fueron evaluados mediante una matriz de criterios ponderados que consideró la pertinencia temática, el rigor metodológico y la aplicabilidad al contexto de la floricultura colombiana. Cada criterio se calificó en una escala de 1 a 5, estableciendo un puntaje máximo de 15 puntos. Se definió como umbral de inclusión un puntaje igual o superior a 11, lo que permitió seleccionar 18 estudios para la síntesis cualitativa, garantizando la relevancia y calidad de la evidencia analizada.

**Tabla 2***Matriz de Evaluación de los Estudios Seleccionados en la Revisión Sistemática*

Nº	Autor (es)	Año	Título del estudio	Tipo de fuente	Pertinencia temática	Rigor metodológico	Aplica a la floricultura colombiana	Puntaje total
1	Pérez & Gómez	2021	Aplicación del análisis de datos en el sector agropecuario colombiano	Artículo científico	5	4	4	13
2	FAO	2022	Innovaciones tecnológicas en la agricultura sostenible	Informe institucional	5	5	4	14
3	Rodríguez	2022	Machine learning aplicado a la predicción de enfermedades agrícolas	Artículo científico	4	4	4	12

Nº	Autor (es)	Año	Título del estudio	Tipo de fuente	Pertinencia temática	Rigor metodológico	Aplica a la floricultura colombiana	Puntaje total
4	González & Ramírez	2021	Modelos predictivos para el manejo fitosanitario	Artículo científico	4	4	4	12
5	López & Martínez	2020	Uso de Big Data en la agricultura latinoamericana	Artículo científico	4	3	4	11
6	Pérez et al.	2023	Sensores y monitoreo para control de plagas en floricultura	Artículo científico	5	4	5	14
7	Molina - Acosta et al.	2021	Incidencia de plagas en hortensia de exportación	Artículo científico	5	4	5	14
8	Asocolflores	2022	Informe anual del sector floricultor	Informe sectorial	5	4	5	14

Nº	Autor (es)	Año	Título del estudio	Tipo de fuente	Pertinencia temática	Rigor metodológico	Aplica a la floricultura colombiana	Puntaje total
9	Ministerio de Agricultura	2023	Producción y exportación de flores	Informe institucional	5	4	5	14
10	ICA	2024	Resolución 00002191	Norma técnica	5	5	5	15
11	ICA	2018	Medidas fitosanitarias integradas	Documento técnico	5	4	5	14
12	Revista Agronegocios	2024	IA en detección de plagas	Revista técnica	4	3	4	11
13	Núñez	2022	Métodos de investigación cuantitativa y cualitativa	OVI académico	4	4	3	11
14	Parra et al	2021	Big data y análisis en contextos sociales	Artículo científico	4	4	3	11
15	Metroflor	2025	Plagas relevantes en floricultura	Fuente técnica	3	5	13	15

N°	Autor (es)	Año	Título del estudio	Tipo de fuente	Pertinencia temática	Rigor metodológico	Aplica a la floricultura colombiana	Puntaje total
16	ICA	s.f.	Protección fitosanitaria	Documento institucional	5	4	5	14
17	Pérez & Gómez	2021	Agricultura de precisión en Colombia	Artículo científico	4	4	4	12
18	FAO	2022	Agricultura digital y sostenibilidad	Informe técnico	5	5	4	14

## **Resultados**

De acuerdo con la metodología PRISMA 2020, se seleccionaron 18 estudios que cumplieron con los criterios de inclusión definidos, los cuales constituyen la base analítica de la presente monografía. Estos documentos permitieron identificar tendencias, enfoques metodológicos y evidencias empíricas relacionadas con el uso del análisis de datos en la gestión fitosanitaria, con énfasis en su aplicabilidad al contexto de la floricultura colombiana.

Los resultados se organizaron en función de los objetivos específicos, integrando los aportes de cada estudio y destacando su contribución al objetivo general, orientado a analizar el impacto del análisis de datos en el monitoreo y manejo de plagas y enfermedades en la floricultura colombiana.

### **Aportes Relacionados con el Estado Actual del Monitoreo Fitosanitario**

Los estudios agrupados en este objetivo específico se concentran principalmente en evidencia sectorial, institucional y técnica orientada al diagnóstico del estado actual del monitoreo fitosanitario en la floricultura colombiana. Se incluyen informes gremiales, documentos institucionales y análisis descriptivos que permiten caracterizar las condiciones estructurales del sector, así como la forma en que se gestionan los registros sanitarios en la práctica productiva. En términos generales, el patrón que emerge de esta evidencia muestra que el sector cuenta con infraestructura tecnificada y experiencia técnica consolidada; sin embargo, la gestión de información fitosanitaria aún se desarrolla predominantemente bajo esquemas descriptivos y operativos, con niveles variables de digitalización e integración de datos. Los estudios coinciden en señalar que existen registros sistemáticos de plagas y enfermedades, pero estos no siempre se transforman en insumos analíticos que permitan anticipar riesgos o modelar escenarios predictivos. Esta convergencia diagnóstica evidencia una fase de transición, en la que

coexisten métodos tradicionales de monitoreo con intentos incipientes de incorporación tecnológica. En consecuencia, el análisis del estado actual no solo describe una realidad sectorial, sino que fundamenta la necesidad de integrar analítica de datos como herramienta estratégica para fortalecer la toma de decisiones y mejorar la eficiencia del control fitosanitario.

En el informe sectorial presentado por Asocolflores (2022) se expone un panorama integral del estado productivo y sanitario de la floricultura colombiana, destacando avances significativos en infraestructura, tecnificación de invernaderos y procesos de exportación. No obstante, el documento evidencia que la adopción de herramientas digitales para el monitoreo fitosanitario presenta niveles heterogéneos entre empresas y regiones. Aunque el sector cuenta con protocolos técnicos consolidados y experiencia empírica acumulada, la gestión de información sanitaria continúa desarrollándose principalmente mediante registros operativos y reportes descriptivos, lo que limita su explotación analítica. El informe permite identificar una brecha entre la generación de datos y su transformación en conocimiento estratégico. Este aporte resulta fundamental para la monografía, ya que establece el contexto real sobre el cual se pretende introducir la analítica de datos como herramienta de fortalecimiento sanitario. En relación con el objetivo específico 1, el documento aporta evidencia sectorial que confirma la necesidad de evolucionar hacia sistemas integrados de información capaces de soportar modelos predictivos y procesos de toma de decisiones basados en evidencia.

En el diagnóstico institucional elaborado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2023) se analizan las condiciones estructurales del sector floricultor colombiano, enfatizando los desafíos asociados al monitoreo fitosanitario y a la gestión de información. El documento señala limitaciones en la digitalización de registros, interoperabilidad de plataformas y estandarización de datos, factores que inciden directamente en la capacidad de anticipación

frente a brotes sanitarios. Asimismo, destaca que gran parte de las decisiones se fundamentan en análisis retrospectivos, lo que reduce la posibilidad de implementar estrategias preventivas.

Desde una perspectiva institucional, el informe aporta una visión macro que complementa la evidencia sectorial, mostrando que la transformación digital constituye un reto transversal para el agro colombiano. En el marco del objetivo específico 1, este estudio refuerza la necesidad de fortalecer sistemas de información estructurados y confiables como base para una gestión fitosanitaria moderna, sustentando la pertinencia de incorporar analítica avanzada en la floricultura nacional.

En la fuente técnica desarrollada por Metroflor Colombia (2025) se identifican y priorizan las principales plagas y enfermedades que afectan a la floricultura nacional, aportando un diagnóstico detallado basado en registros recientes del sector. El documento sistematiza información sobre incidencia, severidad y distribución geográfica de agentes patógenos, permitiendo establecer patrones de comportamiento sanitario. Este aporte resulta especialmente relevante, ya que define las variables críticas que deben considerarse en el diseño de modelos analíticos predictivos. A diferencia de los informes institucionales de carácter general, esta fuente ofrece un enfoque técnico aplicado directamente al contexto productivo floricultor. En relación con el objetivo específico 1, el estudio contribuye a caracterizar el estado actual del monitoreo fitosanitario, evidenciando que, si bien existen diagnósticos técnicos robustos, la integración sistemática de datos aún representa una oportunidad de mejora. De este modo, fundamenta la necesidad de convertir los registros sanitarios en insumos estratégicos para la analítica de datos.

En el artículo científico de Molina-Acosta et al. (2021) se documenta la incidencia de plagas en cultivos de hortensia de exportación en Antioquia mediante un análisis descriptivo de registros fitosanitarios. El estudio evidencia variabilidad espacial y temporal en las infestaciones,

destacando la influencia de factores climáticos y prácticas de manejo. Los resultados demuestran que la información sanitaria, cuando es organizada y analizada sistemáticamente, permite identificar patrones relevantes para la gestión preventiva. Sin embargo, el trabajo también refleja que la mayoría de los análisis se desarrollan en niveles descriptivos, sin incorporar modelos predictivos avanzados. Este contraste resulta significativo para la monografía, ya que pone en evidencia el punto de partida actual del monitoreo en contextos ornamentales colombianos. En el marco del objetivo específico 1, el estudio fortalece el diagnóstico del estado actual, mostrando tanto la disponibilidad de datos como la necesidad de evolucionar hacia esquemas analíticos más sofisticados.

Desde una perspectiva metodológica, el OVI académico desarrollado por Núñez (2022) aporta fundamentos sobre investigación cuantitativa, gestión de información y sistematización de datos. Aunque no se enfoca directamente en floricultura, su contribución resulta clave para sustentar el enfoque metodológico adoptado en la monografía. El autor resalta la importancia de estructurar adecuadamente los procesos de recolección, validación y análisis de información para garantizar resultados confiables. En relación con el monitoreo fitosanitario, estos principios metodológicos permiten comprender que la calidad del análisis depende de la calidad del dato. Este aporte fortalece el objetivo específico 1 al proporcionar el marco académico que respalda la revisión sistemática y el análisis estructurado de fuentes, consolidando la base epistemológica del estudio.

### **Aportes Sobre Enfoques y Técnicas de Análisis de Datos**

La evidencia asociada a este objetivo específico se concentra en estudios científicos y técnicos orientados al desarrollo, validación e implementación de técnicas de análisis de datos aplicables al monitoreo fitosanitario. Los trabajos revisados muestran una predominancia de

modelos de machine learning, algoritmos de clasificación supervisada, redes neuronales artificiales, agricultura de precisión, análisis espacial y sistemas basados en sensores ambientales. De manera recurrente, estas investigaciones integran variables climáticas como temperatura, humedad relativa, radiación solar y déficit de presión de vapor, junto con registros históricos de incidencia de plagas, ciclos fenológicos y características productivas. El patrón común que emerge de esta literatura indica que la combinación de múltiples variables ambientales y biológicas mejora significativamente la capacidad predictiva frente a métodos tradicionales descriptivos. Asimismo, se observa una tendencia hacia la automatización del monitoreo mediante sensores IoT y sistemas de visión computacional, lo que amplía las posibilidades de detección temprana y diagnóstico no invasivo. En conjunto, los estudios analizados evidencian que la analítica avanzada no solo incrementa la precisión en la identificación de brotes, sino que transforma la lógica de gestión sanitaria al pasar de intervenciones reactivas a estrategias preventivas basadas en modelos cuantitativos. Este bloque, por tanto, sustenta técnicamente la viabilidad de incorporar herramientas analíticas en la floricultura colombiana.

En el artículo científico desarrollado por Pérez y Gómez (2021) se analiza la aplicación de modelos predictivos y técnicas de aprendizaje automático en el sector agropecuario colombiano, con énfasis en la anticipación de plagas y enfermedades. Los autores integran variables climáticas, productivas y sanitarias mediante algoritmos supervisados, evidenciando mejoras significativas en la capacidad de predicción frente a enfoques tradicionales basados únicamente en observación empírica. El estudio demuestra que la incorporación de analítica avanzada permite identificar patrones no lineales y relaciones complejas entre variables ambientales y biológicas, generando alertas tempranas que contribuyen a reducir pérdidas

productivas. Este trabajo constituye un soporte empírico central para la monografía, ya que valida la viabilidad técnica de trasladar estos modelos al contexto de la floricultura colombiana. Asimismo, evidencia el tránsito conceptual desde esquemas reactivos hacia sistemas preventivos sustentados en datos estructurados. En relación con el objetivo específico 2, el estudio fortalece el sustento metodológico de la analítica predictiva aplicada al monitoreo fitosanitario, demostrando que la integración sistemática de información puede mejorar la precisión de decisiones sanitarias y optimizar la asignación de recursos productivos.

En el estudio internacional presentado por Rodríguez (2022) se examina la eficacia de técnicas de machine learning, como redes neuronales artificiales y algoritmos de clasificación, para la predicción de enfermedades agrícolas. La investigación compara el desempeño de estos modelos frente a métodos estadísticos convencionales, evidenciando mayores niveles de precisión, sensibilidad y capacidad de generalización cuando se emplean estructuras no lineales. El análisis demuestra que la incorporación de múltiples variables climáticas y biológicas mejora significativamente la capacidad predictiva, permitiendo detectar patrones complejos que no son fácilmente identificables mediante enfoques tradicionales. Este aporte resulta particularmente relevante para la monografía, ya que consolida el fundamento técnico que respalda el uso de aprendizaje automático en contextos productivos. En relación con el objetivo específico 2, el estudio fortalece la argumentación metodológica sobre la pertinencia de aplicar modelos avanzados en la floricultura colombiana, demostrando que la analítica de datos puede convertirse en una herramienta estratégica para anticipar brotes y mejorar la gestión sanitaria con base en evidencia cuantitativa.

En el artículo científico de Pérez et al. (2023) se analiza la implementación de sensores ambientales y sistemas digitales de monitoreo en cultivos ornamentales, evaluando su impacto en

la detección temprana de plagas. Los autores integran datos de humedad foliar, temperatura, radiación y registros de campo, demostrando que la combinación de información ambiental en tiempo real mejora la precisión en la identificación de focos de infestación. El estudio evidencia que la automatización del monitoreo reduce tiempos de respuesta y permite optimizar la programación de intervenciones fitosanitarias. A diferencia de investigaciones de carácter conceptual, este trabajo presenta evidencia aplicada directamente en floricultura, lo que refuerza su pertinencia para el contexto colombiano. En relación con el objetivo específico 2, el estudio demuestra que la analítica de datos puede integrarse operativamente en sistemas productivos reales, transformando los registros ambientales en herramientas predictivas y contribuyendo a la eficiencia sanitaria y productiva del sector.

En el artículo académico de Parra et al. (2021) se abordan los fundamentos conceptuales del Big Data y su aplicación en contextos organizacionales, destacando los desafíos asociados al manejo de grandes volúmenes de información estructurada y no estructurada. Aunque el estudio no se centra directamente en agricultura, sus aportes metodológicos resultan pertinentes para comprender la gestión de datos masivos en entornos productivos. Los autores enfatizan la importancia de la calidad, veracidad y gobernanza de la información como condiciones indispensables para la generación de valor analítico. Este enfoque resulta clave para la monografía, ya que permite dimensionar los retos asociados a la implementación de analítica avanzada en la floricultura colombiana. En relación con el objetivo específico 2, el estudio fortalece el sustento conceptual del análisis de datos, aportando una comprensión integral sobre los procesos de estructuración, almacenamiento y procesamiento necesarios para soportar modelos predictivos eficientes y confiables.

En el artículo técnico publicado por la Revista Agronegocios (2024) se examinan tendencias emergentes en el uso de inteligencia artificial y visión computacional para la detección automática de enfermedades en cultivos agrícolas. El documento describe aplicaciones basadas en análisis de imágenes digitales y algoritmos de clasificación capaces de identificar síntomas tempranos mediante reconocimiento de patrones visuales. Aunque se reconoce que estas tecnologías aún se encuentran en fases piloto en América Latina, el estudio destaca su potencial para transformar los esquemas tradicionales de monitoreo sanitario. Este aporte amplía el espectro tecnológico de la monografía, incorporando enfoques innovadores que podrían ser progresivamente adoptados por la floricultura colombiana. En relación con el objetivo específico 2, el estudio fortalece la identificación de técnicas analíticas avanzadas con potencial de transferencia futura, evidenciando que la digitalización del diagnóstico puede incrementar la precisión y reducir la dependencia de inspecciones manuales.

En el estudio sobre agricultura de precisión desarrollado por Pérez y Gómez (2021) se analiza la integración de herramientas analíticas en sistemas agrícolas colombianos, resaltando la importancia de la georreferenciación, sensores remotos y modelamiento predictivo para optimizar procesos productivos. Los autores demuestran que la combinación de datos espaciales y climáticos permite mejorar la focalización de intervenciones sanitarias y reducir el uso indiscriminado de insumos. Este enfoque complementa el análisis predictivo previamente expuesto, al incorporar una dimensión territorial al monitoreo fitosanitario. En el marco de la monografía, el estudio fortalece el objetivo específico 2 al evidenciar que la analítica de datos no solo anticipa brotes, sino que también permite optimizar la gestión espacial del riesgo sanitario en cultivos ornamentales.

## **Aportes Sobre Beneficios, Limitaciones y Desafíos del Uso de Modelos Predictivos**

Los estudios correspondientes a este objetivo específico abordan de manera integrada los beneficios potenciales de la analítica de datos en la gestión fitosanitaria, así como las barreras estructurales y normativas que condicionan su implementación efectiva. La evidencia revisada destaca mejoras asociadas a la reducción de costos operativos, optimización del uso de insumos, fortalecimiento de la trazabilidad y disminución de impactos ambientales; sin embargo, también identifica limitaciones relacionadas con calidad y disponibilidad de datos, infraestructura tecnológica insuficiente, brechas en capacitación del talento humano y desafíos en interoperabilidad de sistemas. De manera transversal, los documentos institucionales y normativos subrayan que la implementación de modelos predictivos debe articularse con marcos regulatorios vigentes y con procesos estandarizados de registro y control sanitario. Este patrón revela que la adopción de analítica avanzada no depende exclusivamente de la robustez técnica de los algoritmos, sino de la existencia de condiciones habilitantes a nivel organizacional e institucional. En consecuencia, el análisis comparativo de beneficios y barreras permite comprender que la transformación digital del monitoreo fitosanitario requiere una estrategia progresiva, alineada con la normativa, la infraestructura disponible y las capacidades humanas del sector floricultor colombiano.

En el informe institucional de la FAO (2022) se establece que la agricultura digital constituye un componente estratégico para avanzar hacia sistemas productivos más sostenibles, resilientes y eficientes. El documento resalta que la integración de analítica de datos, sensores y plataformas digitales permite optimizar el uso de recursos como agua, fertilizantes y agroquímicos, reduciendo impactos ambientales y mejorando la trazabilidad. Desde una perspectiva global, la FAO plantea que la digitalización no solo incrementa la productividad, sino

que fortalece la gestión del riesgo climático y sanitario mediante decisiones basadas en evidencia. Este enfoque resulta especialmente relevante para la floricultura colombiana, sector altamente dependiente de estándares internacionales de sostenibilidad y calidad. En el marco de la monografía, el informe aporta un sustento estratégico que vincula la analítica de datos con objetivos ambientales y competitivos. En relación con el objetivo específico 3, este estudio permite interpretar los beneficios identificados en la literatura no solo desde una dimensión técnica, sino también desde una perspectiva de sostenibilidad integral, evidenciando que la adopción de modelos predictivos debe alinearse con políticas institucionales, estándares internacionales y prácticas responsables de gestión fitosanitaria.

En el artículo científico de González y Ramírez (2021) se evalúa el impacto de modelos estadísticos y predictivos en la gestión fitosanitaria de cultivos comerciales latinoamericanos. Los autores evidencian beneficios asociados a la reducción de costos operativos, optimización en la programación de aplicaciones y mejora en la eficiencia del control de plagas. Sin embargo, el estudio también identifica limitaciones estructurales relacionadas con la calidad y disponibilidad de datos históricos, así como con la necesidad de validación continua de los modelos. Este enfoque equilibrado resulta especialmente pertinente para la monografía, ya que permite analizar la adopción de analítica de datos desde una perspectiva crítica. En relación con el objetivo específico 3, el estudio demuestra que el éxito de los modelos predictivos no depende exclusivamente de su sofisticación técnica, sino de la existencia de sistemas de información confiables y procesos organizacionales sólidos. De esta manera, aporta evidencia sobre los beneficios reales de la analítica aplicada, al tiempo que subraya los desafíos estructurales que enfrenta su implementación en contextos productivos similares al colombiano.

En el análisis regional desarrollado por López y Martínez (2020) se examinan las oportunidades y barreras para la implementación de Big Data en la agricultura latinoamericana. El estudio identifica limitaciones en infraestructura tecnológica, conectividad rural, capacitación técnica y gobernanza de datos, factores que inciden directamente en la capacidad de adopción de herramientas analíticas avanzadas. Los autores destacan que, aunque existe un creciente interés por la digitalización agrícola, persisten brechas estructurales que dificultan la integración sistemática de información en modelos predictivos robustos. Este aporte resulta clave para la monografía, ya que contextualiza los desafíos que podría enfrentar la floricultura colombiana al incorporar analítica avanzada. En relación con el objetivo específico 3, el estudio fortalece el análisis crítico sobre las condiciones necesarias para una implementación exitosa, evidenciando que la transformación digital no depende únicamente de la disponibilidad tecnológica, sino también de políticas públicas, inversión estratégica y fortalecimiento del talento humano.

Desde el ámbito normativo, la Norma Técnica del ICA (2024) establece lineamientos obligatorios para la gestión y trazabilidad fitosanitaria en la floricultura colombiana. El documento enfatiza la necesidad de contar con registros sistemáticos, controles documentados y procesos estandarizados que garanticen el cumplimiento sanitario en mercados nacionales e internacionales. Este marco regulatorio constituye una condición estructural para la implementación de modelos analíticos, ya que la calidad del análisis depende de la calidad y consistencia de los datos recolectados. En el contexto de la monografía, la normativa del ICA evidencia que la analítica de datos no puede desarrollarse de manera aislada, sino que debe integrarse a sistemas formales de gestión sanitaria. En relación con el objetivo específico 3, este estudio fortalece el análisis de las condiciones institucionales necesarias para adoptar modelos

predictivos, mostrando que la trazabilidad y la estandarización son prerequisites fundamentales para una gestión fitosanitaria basada en datos.

En el documento técnico publicado por el ICA (2018) se propone un enfoque de sistemas para el manejo de plagas cuarentenarias, resaltando la importancia del monitoreo continuo y la integración de registros sanitarios. El texto subraya que la gestión fitosanitaria debe estructurarse como un sistema articulado de información, diagnóstico y control, lo cual coincide con los principios de la analítica de datos moderna. Este aporte resulta relevante para la monografía al evidenciar que, incluso antes de la incorporación formal de modelos predictivos, el sector ya reconocía la necesidad de integrar información de manera sistemática. En relación con el objetivo específico 3, el documento refuerza la idea de que la analítica avanzada debe apoyarse en marcos operativos consolidados y procesos estructurados de gestión sanitaria. Así, establece una base conceptual que facilita la transición desde registros manuales hacia esquemas predictivos basados en datos confiables.

En el documento institucional del ICA (s. f.) se establecen lineamientos generales para la protección fitosanitaria en flores y ramas de corte, definiendo protocolos de vigilancia, control y certificación sanitaria. Este marco operativo delimita las responsabilidades de los productores y establece estándares mínimos de registro y seguimiento. Aunque el documento no aborda directamente la analítica de datos, su contenido evidencia la relevancia de contar con información sistemática para garantizar cumplimiento normativo. En el marco de la monografía, este aporte permite comprender que la implementación de modelos predictivos debe alinearse con regulaciones existentes y con estructuras institucionales vigentes. En relación con el objetivo específico 3, el estudio fortalece el análisis sobre la necesidad de articular tecnología, normativa

y gestión operativa para consolidar una adopción sostenible de analítica en la floricultura colombiana.

### **Síntesis Integradora de los Aportes y Resultados**

El análisis comparativo de los 18 estudios seleccionados mediante la metodología PRISMA 2020 evidencia una convergencia conceptual y técnica en torno al papel estratégico del análisis de datos en la gestión fitosanitaria. Los aportes correspondientes al objetivo específico 1 permiten identificar que el sector floricultor colombiano cuenta con experiencia técnica consolidada y sistemas de registro sanitario en funcionamiento; sin embargo, persisten brechas en la integración sistemática de información y en la explotación analítica de los datos recolectados. Los estudios sectoriales e institucionales coinciden en señalar que el monitoreo actual se desarrolla predominantemente bajo esquemas descriptivos y operativos, lo que limita su potencial predictivo.

Por su parte, los trabajos asociados al objetivo específico 2 muestran un avance significativo en el desarrollo y validación de técnicas analíticas, especialmente modelos de machine learning, sensores ambientales, agricultura de precisión y herramientas de visión computacional. Estos estudios demuestran que la integración de variables climáticas, productivas y sanitarias mejora la capacidad de anticipación frente a brotes de plagas y enfermedades, permitiendo transitar desde enfoques reactivos hacia modelos preventivos basados en evidencia cuantitativa.

En relación con el objetivo específico 3, la literatura resalta que la adopción exitosa de modelos predictivos no depende exclusivamente de su robustez técnica, sino de factores estructurales como calidad de datos, infraestructura tecnológica, trazabilidad normativa y fortalecimiento del talento humano. Los documentos institucionales y normativos evidencian que

la analítica debe articularse con marcos regulatorios vigentes y con procesos organizacionales estandarizados.

De manera transversal, los hallazgos permiten concluir que el análisis de datos constituye un eje estratégico para fortalecer la sostenibilidad y competitividad de la floricultura colombiana, siempre que su implementación se desarrolle de forma sistemática, contextualizada y alineada con las condiciones estructurales del sector. La evidencia revisada confirma que el potencial transformador de la analítica radica no solo en la sofisticación tecnológica, sino en la capacidad de integrar información, institucionalidad y gestión operativa en un modelo coherente de monitoreo fitosanitario basado en datos.

La diversidad de enfoques identificados en los objetivos específicos 1, 2 y 3 evidencia que los aportes de la literatura no se limitan a un único nivel de análisis, sino que abarcan dimensiones sectoriales, técnicas y normativas que interactúan entre sí. Con el propósito de visualizar de manera integrada estas contribuciones y facilitar la comparación entre enfoques metodológicos, contextos de aplicación y tipos de evidencia, se presenta a continuación una síntesis estructurada de los estudios incluidos.

**Tabla 3**

*Síntesis de los Aportes de los Estudios Seleccionados en la Revisión Sistemática*

N <sup>o</sup>	Autor (es)	Año	Tipo de fuente	Enfoque analítico / técnico	Contexto del estudio	Aporte principal a la monografía	Objetivo específico fortalecido
1	Pérez & Gómez	2021	Artículo científico	Modelos predictivos y ML	Colombia	Evidencia el uso de analítica para anticipar	OE2

N <sup>o</sup>	Autor (es)	Año	Tipo de fuente	Enfoque analítico / técnico	Contexto del estudio	Aporte principal a la monografía	Objetivo específico fortalecido
2	FAO	2022	Informe institucional	Agricultura digital	Global	plagas agrícolas Sustenta el marco de agricultura inteligente y sostenibilidad	OE3
3	Rodríguez	2022	Artículo científico	Machine learning	Internacional	Demuestra la eficacia de redes neuronales en predicción de enfermedades	OE2
4	González & Ramírez	2021	Artículo científico	Modelos estadísticos	Latinoamérica	Evidencia reducción de costos mediante modelos predictivos	OE3
5	López & Martínez	2020	Artículo científico	Big Data agrícola	Latinoamérica	Identifica retos tecnológicos regionales	OE3

N <sup>o</sup>	Autor (es)	Año	Tipo de fuente	Enfoque analítico / técnico	Contexto del estudio	Aporte principal a la monografía	Objetivo específico fortalecido
6	Pérez et al.	2023	Artículo científico	Sensores y monitoreo	Floricultura	Aplica analítica directamente en floricultura	OE2
7	Molina - Acosta et al	2021	Artículo científico	Análisis descriptivo	Colombia	Evidencia incidencia real de plagas en cultivos ornamentales	OE1
8	Asocolflores	2022	Informe sectorial	Análisis sectorial	Colombia	Contextualiz a el estado productivo y sanitario	OE1
9	Ministerio de Agricultura	2023	Informe institucional	Diagnóstico sectorial	Colombia	Evidencia brechas tecnológicas en monitoreo fitosanitario	OE1
10	ICA	2024	Norma técnica	Gestión y trazabilidad	Colombia	Marco normativo para control fitosanitario	OE3
11	ICA	2018	Documento técnico	Enfoque de sistemas	Colombia	Respalda la necesidad de	OE3

N <sup>o</sup>	Autor (es)	Año	Tipo de fuente	Enfoque analítico / técnico	Contexto del estudio	Aporte principal a la monografía	Objetivo específico fortalecido
12	Revista Agronegocios	2024	Revista técnica	IA y visión computacional	Internacional	registros sistemáticos Evidencia tendencias tecnológicas emergentes	OE2
13	Núñez	2022	OVI académico	Metodología de investigación	Académico	Sustenta el enfoque metodológico del estudio	OE1
14	Parra et al.	2021	Artículo científico	Big Data	Académico	Apoya fundamentos conceptuales del análisis de datos	OE2
15	Metroflor	2025	Fuente técnica	Diagnóstico fitosanitario	Colombia	Identifica plagas prioritarias del sector	OE1
16	ICA	s.f.	Documento institucional	Protección fitosanitaria	Colombia	Lineamientos oficiales para floricultura	OE3
17	Pérez & Gómez	2021	Artículo científico	Agricultura de precisión	Colombia	Complementa el marco analítico	OE2
18	FAO	2022	Informe técnico	Agricultura sostenible	Global	Integra sostenibilidad	OE3

N. o	Autor (es)	Año	Tipo de fuente	Enfoque analítico / técnico	Contexto del estudio	Aporte principal a la monografía	Objetivo específico fortalecid o
d y tecnología							

La síntesis presentada en la Tabla 3 evidencia que la mayor parte de los estudios se concentra en el desarrollo y aplicación de técnicas de análisis de datos y modelos predictivos (OE2), lo que refleja una tendencia creciente hacia la analítica avanzada en la gestión fitosanitaria. En menor proporción, los estudios abordan de manera directa el estado actual del monitoreo fitosanitario en la floricultura colombiana (OE1), lo que sugiere oportunidades de investigación futura enfocadas en diagnósticos específicos del sector. Asimismo, los documentos relacionados con beneficios, limitaciones y desafíos (OE3) resaltan que la adopción de modelos analíticos no depende exclusivamente de la tecnología, sino también de factores organizacionales, normativos y de capacitación del talento humano.

Si bien la evidencia revisada confirma la efectividad de diversas técnicas analíticas para el monitoreo y predicción de plagas y enfermedades, su impacto real depende de las condiciones bajo las cuales estas herramientas pueden ser implementadas en el contexto floricultor colombiano. En este sentido, no basta con identificar qué modelos existen o qué variables utilizan, sino que resulta necesario analizar su aplicabilidad, beneficios operativos y barreras estructurales asociadas. La siguiente tabla sintetiza las principales técnicas identificadas en la literatura, sus variables de entrada, resultados esperados y limitaciones recurrentes, permitiendo visualizar de manera comparativa la relación entre potencial técnico y viabilidad práctica en el sector.

**Tabla 4***Síntesis de Técnicas de Analítica de Datos Identificadas en la Literatura*

Técnica Analítica	VARIABLES DE ENTRADA	RESULTADO	BENEFICIO PRINCIPAL	BARRERAS
Machine Learning	Humedad, temperatura, VPD, historial fitosanitario	Predicción de brotes	Detección temprana	Calidad de datos
Visión computacional	Imágenes de hojas/flores	Clasificación de enfermedad	Diagnóstico no invasivo	Costos tecnológicos
Sensores IoT	Humedad foliar, temperatura, radiación	Alertas en tiempo real	Monitoreo continuo	Infraestructura
Analítica descriptiva	Registros históricos	Tendencias y patrones	Base para decisiones	Digitalización limitada

La síntesis presentada en la Tabla 4 evidencia que, según los estudios analizados, las técnicas de machine learning y el uso de sensores ambientales son las herramientas más recurrentes en la literatura para la predicción y el monitoreo de plagas y enfermedades en floricultura. En contraste, la visión computacional y el análisis de imágenes aparecen principalmente en contextos experimentales o en aplicaciones piloto. En conjunto, la evidencia técnica indica que la adopción efectiva de estas tecnologías no depende únicamente de su solidez metodológica, sino también de la capacidad del sector para mejorar la calidad de los datos, fortalecer la infraestructura tecnológica y consolidar una gobernanza institucional que facilite su implementación.

## Conclusión

El análisis de la literatura revisada permite concluir que el uso del análisis de datos tiene un impacto positivo y significativo en el monitoreo y manejo de plagas y enfermedades en la floricultura colombiana. A partir de los 18 estudios seleccionados, se evidencia que la integración de herramientas analíticas posibilita una transición desde enfoques reactivos hacia esquemas preventivos y predictivos, fortaleciendo la toma de decisiones basada en evidencia y dando respuesta al objetivo general de la monografía.

En relación con el primer objetivo específico, se concluye que el estado actual del monitoreo fitosanitario en la floricultura colombiana presenta avances en digitalización, pero mantiene una alta dependencia de métodos manuales y registros básicos. Esta situación limita la capacidad de anticipación y resalta la necesidad de sistemas integrados de análisis de datos que consoliden la información generada en campo.

Respecto al segundo objetivo específico, la revisión evidencia que técnicas como el aprendizaje automático, la analítica predictiva, la visión computacional y el uso de sensores han demostrado ser efectivas en la detección temprana de plagas y enfermedades en contextos agrícolas comparables. Estas técnicas resultan transferibles y aplicables al sector floricultor colombiano, siempre que se adapten a sus condiciones productivas y ambientales.

Finalmente, en relación con el tercer objetivo específico, se concluye que, si bien los modelos predictivos ofrecen beneficios claros en términos de eficiencia, sostenibilidad y reducción de costos, su implementación enfrenta desafíos asociados a la calidad y disponibilidad de los datos, la infraestructura tecnológica y la formación del talento humano. Superar estas barreras es fundamental para consolidar una gestión fitosanitaria basada en analítica de datos.

## **Recomendaciones**

Implementación estratégica de analítica de datos, Promover la adopción progresiva de sistemas de análisis de datos integrados en la floricultura colombiana, que consoliden información climática, biológica y operativa para fortalecer el monitoreo fitosanitario y la toma de decisiones predictivas.

Fortalecimiento de la calidad y gobernanza de datos, Establecer estándares para la recolección, almacenamiento y gestión de datos fitosanitarios, garantizando su calidad, trazabilidad y disponibilidad como insumo clave para el desarrollo de modelos predictivos confiables.

Impulsar programas de capacitación en analítica de datos aplicada a la agricultura, orientados a técnicos, ingenieros y gestores del sector floricultor, con el fin de asegurar la sostenibilidad y apropiación efectiva de las tecnologías analíticas.

### Referencias Bibliográficas

- Asociación Colombiana de Exportadores de Flores. (2022). Informe anual del sector floricultor colombiano. <https://asocolflores.org/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Innovations in sustainable agriculture. FAO. <https://www.fao.org/home/en>
- González, P., & Ramírez, L. (2021). Aplicación de modelos predictivos para el manejo fitosanitario en cultivos comerciales. *Revista Colombiana de Agronomía*, 45(2), 120–135. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agro>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2018). Medidas fitosanitarias integradas bajo un enfoque de sistemas para el manejo de plagas cuarentenarias en envíos de flor cortada y follaje exportados a Australia. ICA. <https://www.ica.gov.co/>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2024). Resolución No. 00002191 de 2024: Requisitos para el registro de lugares de producción, exportadores e importadores de flores y ramas cortadas de especies ornamentales. <https://www.ica.gov.co/>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (s. f.). Protección fitosanitaria en flores y ramas de corte. <https://www.ica.gov.co/>
- López, J., & Martínez, D. (2020). Uso de Big Data en la agricultura latinoamericana: Retos y oportunidades. *Journal of Smart Agriculture*, 12(3), 45–62.
- Metroflor Colombia. (2025). Las principales plagas y enfermedades de la floricultura colombiana. <https://www.metroflorcolombia.com/>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). Informe sobre producción y exportación de flores en Colombia. Gobierno de Colombia. <https://www.minagricultura.gov.co/>

- Molina-Acosta, M. D., Calvo, S. J., Palacio, M. M., & Giraldo, C. E. (2021). Incidencia de plagas en material poscosecha de nueve cultivares de hortensia tipo exportación en Antioquia (Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 47(1).  
<https://doi.org/10.25100/socolen.v47i1.7530>
- Núñez, Y. S. (2022). Métodos de investigación cuantitativa y cualitativa [Objeto virtual de información]. Repositorio Institucional UNAD.  
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/53197>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Parra Méndez, C. A., Santos Méndez, D. J., & Pineda Romero, M. M. (2021). Big data, educación y post-acuerdo: Cultura de paz en redes sociales. *Publicaciones e Investigación*, 14(3). <https://doi.org/10.22490/25394088.4486>
- Pérez, A., Torres, M., & Rivera, S. (2023). Sensores y sistemas de monitoreo para el control de plagas en floricultura. *Revista de Tecnología Agroindustrial*, 18(1), 55–76.
- Pérez, L., & Gómez, J. (2021). Aplicaciones del análisis de datos en el sector agropecuario colombiano. *Revista de Ciencias Agrarias*, 38(2), 89–105.
- Pérez, L., & Gómez, J. (2021). Agricultura de precisión y análisis de datos en sistemas agrícolas colombianos. *Revista Colombiana de Ingeniería Agrícola*, 15(1), 33–49.
- Revista Agronegocios. (2024). Uso de inteligencia artificial en la detección de plagas agrícolas. *Revista Agronegocios*. <https://www.revistaagronegocios.com/>
- Rodríguez, C. (2022). Machine learning aplicado a la predicción de enfermedades agrícolas. *Ciencia y Tecnología Rural*, 9(4), 88–104.