

SUSTANCIAS NOCIVAS EN LA CADENA DEL AGUACATE HASS

Revisión sistemática de los riesgos de las sustancias nocivas y sus efectos en la seguridad y el medio ambiente durante el cultivo y la distribución de aguacate (*Persea americana* var. Hass)

Judy Lorena Buitrago Alba y Camila Andrea Romero Cáceres

Trabajo de Grado para Optar al título de Ingeniera Química

Modalidad Trabajo de Investigación

Directora

Bianeth García Barrios

Bióloga

Codirectora

Diana Paola Duarte Duarte

Doctora en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas
Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2025

SUSTANCIAS NOCIVAS EN LA CADENA DEL AGUACATE HASS

Dedicatoria

A Dios y a la Virgencita María, por ser mi refugio y mi guía en cada paso, por darme la fuerza en los momentos de duda y recordarme que nunca camino sola.

A mis papás adorados y a mi hermanito Sebitas, mi motor y mi mayor fortaleza. Gracias por su amor infinito, por sostenerme en mis altibajos, por sus enseñanzas y por hacer siempre hasta lo imposible para que yo estuviera bien. Sé que jamás podré retribuir todo el esfuerzo que hacen por mí, todo lo que me brindan y el amor con el que me acompañan en cada paso. Este logro es de ustedes, porque son y siempre serán mi hogar, mi ejemplo y mi mayor motivo para seguir soñando.

A mi tío César, con todo mi cariño y gratitud infinita, por ser ese apoyo incondicional. Gracias por confiar siempre en mí, por su cariño inmenso y por demostrarme que puedo alcanzar cualquier meta. Este logro también le pertenece, porque sin su respaldo y amor, este camino no habría sido posible.

A mi abuela, mi Loli querida, que, aunque no está físicamente, vive conmigo en cada recuerdo y en cada paso que doy. Estoy segura de que desde el cielo me acompaña orgullosa, sonriendo al verme cumplir este sueño. Gracias por cuidarme siempre, por ser mi guía y mi ángel eterno.

A Santiago, cuyo amor, paciencia y apoyo fueron esenciales en este proceso. Su apoyo me dio fuerzas en los momentos difíciles y su compañía hizo este camino más llevadero y feliz.

A Justin y Júpiter, mis adoradas mascotas, gracias por su compañía incondicional, por darme alegría en medio del cansancio y recordarme cada día lo valioso de las pequeñas cosas.

A todos y cada uno de los que han estado en mi vida en este proceso, gracias de corazón. Este logro es un reflejo de su amor, su apoyo y su fe en mí. Todo lo que haga, será siempre en honor a ustedes.

Camila Romero

A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en cada etapa de este camino, por iluminar mis decisiones y sostenerme en los momentos de duda.

A mis padres, Fabio Buitrago y Rosaura Alba, ya que juntos han sido el pilar fundamental que me sostuvo en cada paso de este camino. Tenerlos lejos fue la prueba más difícil por la que tuve que pasar, pero su apoyo nunca necesitó de cortas distancias; siempre fue lo suficientemente grande y fuerte para llegarme desde cualquier lugar. No hay esfuerzo que pueda pagar todo lo que han hecho por mí. Ustedes convirtieron mis sueños en los suyos y caminaron cada paso a mi lado, celebrando mis triunfos y levantándose en las caídas.

A mi hermano, Alejandro Buitrago, por ser la persona que con su alegría y ocurrencias podía volver mis días difíciles en motivos para sonreír. Eres la razón para siempre dar lo mejor de mí y querer que mis pasos marquen una huella que puedas seguir con orgullo. Te has convertido en mi compañero de vida, y en la prueba de que los lazos verdaderos no se construyen, simplemente nacen con nosotros.

A mi familia, porque este proceso no se tejió con un solo hilo. Cada uno de ustedes aportó su hebra única: su apoyo, su consejo y su amor incondicional, para formar la tela fuerte que me sostuvo siempre.

Este logro, es en realidad el fruto del amor incondicional, el sacrificio incansable y la fe inquebrantable en mí, de todos ustedes.

Lorena Buitrago

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Industrial de Santander, por brindar los recursos físicos, académicos y administrativos necesarios para la formación profesional y la culminación de este proyecto.

A nuestra codirectora Diana Duarte, nuestra directora Bianeth García, gracias por su acompañamiento durante todo el proceso de realización de este trabajo. Su guía experta y sus consejos precisos fueron determinantes para superar los desafíos presentes en esta investigación. Agradecemos la dedicación y el conocimiento que generosamente compartieron con nosotras, lo cual no solo enriqueció este trabajo, sino también nuestra formación profesional. Su liderazgo y compromiso con la excelencia académica hicieron posible la culminación exitosa de este proyecto.

Tabla de contenido

Introducción	11
1. Objetivos.....	13
1.1. Objetivo General.....	13
1.2. Objetivos Específicos.....	13
2. Estado del arte.....	14
3. Metodología.....	17
3.1. Fase 1: Aplicación de la metodología PRISMA.....	17
3.1.1. Búsqueda estructurada de la literatura.....	17
3.1.2. Selección y análisis de los artículos.....	18
3.1.3. Elaboración del análisis bibliométrico.....	19
3.2. Fase 2: Clasificación de los riesgos identificados.....	19
3.3. Fase 3: Construcción del diagrama de causa – efecto.....	20
3.4. Fase 4: Propuesta de estrategias de mitigación.....	20
4. Resultados.....	20
4.1. Resultados de la búsqueda y selección de artículos.....	20
4.2. Análisis bibliométrico.....	21
4.2.1. Análisis de las redes bibliométricas.....	21
4.3. Hallazgos de los riesgos encontrados en la literatura.....	23
4.3.1. Riesgos biológicos.....	23
4.3.2. Riesgos químicos.....	29
4.3.3. Riesgos ambientales.....	34
4.3.4. Riesgos económicos.....	37

SUSTANCIAS NOCIVAS EN LA CADENA DEL AGUACATE HASS

4.4. Desarrollo del diagrama de causa y efecto de los riesgos que afectan la sostenibilidad del cultivo y distribución del aguacate Hass.....	39
4.4.1. Causas relacionadas con la mano de obra.....	41
4.4.2. Causas relacionadas con los métodos	41
4.4.3. Causas relacionadas con el medio ambiente	41
4.4.4. Causas relacionadas con la medición.....	42
4.4.5. Causas relacionadas con la maquinaria.....	43
4.4.6. Causas relacionadas con los materiales	43
4.5. Estrategias de mitigación orientadas a reducir los riesgos abordados	44
5. Conclusiones	46
Referencias Bibliográficas	48
Apéndices.....	62

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Ecuaciones de búsqueda preliminar</i>	17
Tabla 2 <i>Criterios de selección</i>	18
Tabla 3 <i>Estrategias de control contra <i>Phytophthora cinnamomi</i></i>	24
Tabla 4 <i>Manejo integrado contra otros patógenos: resultados cuantitativos</i>	25
Tabla 5 <i>Parámetros cuantitativos y probabilidad de riesgo en plagas clave</i>	26
Tabla 6 <i>Estrategias de control contra <i>C. gloeosporioides</i> en poscosecha</i>	27
Tabla 7 <i>Riesgo bacteriano en poscosecha: <i>Salmonella spp.</i> y <i>Listeria monocytogenes</i></i> 29	
Tabla 8 <i>Concentraciones de metales pesados encontrados en el cultivo de aguacate</i> ... 30	
Tabla 9 <i>Límites Máximos de Residuos (LMR)</i>	31
Tabla 10 <i>Riesgos provenientes del uso de plaguicidas</i>	32
Tabla 11 <i>Evaluación de químicos para el control de patógenos</i>	33
Tabla 12 <i>Estrategias de mitigación orientadas a reducir los riesgos identificados</i>	45

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Diagrama de flujo metodología PRISMA</i>	21
Figura 2 <i>Red bibliométrica de palabras clave de 2020 a 2025</i>	22
Figura 3 <i>Diagrama de Causa y Efecto</i>	40

SUSTANCIAS NOCIVAS EN LA CADENA DEL AGUACATE HASS

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Ecuaciones y resultados de búsqueda en bases de datos.....</i>	62
Apéndice B <i>Artículos publicados por año relacionados con la presencia de sustancias nocivas en el cultivo y distribución de aguacate Hass</i>	62
Apéndice C <i>Porcentaje de publicaciones totales desde 2020-2025</i>	63

Resumen

Título: Revisión sistemática de los riesgos de las sustancias nocivas y sus efectos en la seguridad y el medio ambiente durante el cultivo y la distribución de aguacate (*Persea americana* var. Hass)*

Autoras: Judy Lorena Buitrago Alba y Camila Andrea Romero Cáceres**

Palabras clave: Aguacate Hass, Riesgos, Sustancias nocivas, Seguridad alimentaria, Medio ambiente, Mitigación.

Descripción:

El aguacate Hass se ha consolidado como un producto agrícola de gran importancia económica y social, pero su rápida expansión ha generado riesgos significativos para la seguridad alimentaria, el medio ambiente y la sostenibilidad del sector. Este trabajo tuvo como objetivo identificar y analizar los riesgos asociados a la presencia de sustancias nocivas en el cultivo y la distribución del aguacate (*Persea americana* var. Hass), mediante una revisión sistemática de literatura publicada entre 2020 y 2025. La metodología incluyó la búsqueda estructurada en bases de datos académicas, la aplicación del protocolo PRISMA y el análisis bibliométrico de 52 artículos seleccionados. A partir de esta evidencia, se identificaron riesgos biológicos, químicos, ambientales y económicos, para posteriormente elaborar un diagrama de causa-efecto (Ishikawa) bajo el modelo de las 6 M's, que permitió identificar las causas raíz de dichos riesgos. Los hallazgos mostraron la incidencia de patógenos, residuos de plaguicidas y metales pesados, contaminación hídrica y barreras comerciales asociadas al incumplimiento de normativas internacionales. Con base en ello, se propusieron estrategias de mitigación fundamentadas en evidencia científica, como el Manejo Integrado de Plagas, la sustitución de empaques plásticos por materiales biodegradables y la adopción de certificaciones ambientales. Este trabajo constituye un aporte teórico y práctico, al ofrecer un marco de acción que favorece la seguridad alimentaria, el equilibrio ambiental y la competitividad del aguacate Hass en los mercados internacionales.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Directora Bianeth García Barrios, Bióloga. Codirectora: Diana Paola Duarte Duarte, Doctora en Ingeniería Química.

Abstract

Title: Systematic Review of the Risks of Harmful Substances and Their Effects on Safety and the Environment during the Cultivation and Distribution of Avocado (*Persea americana* var. Hass)*

Authors: Judy Lorena Buitrago Alba y Camila Andrea Romero Cáceres**

Key Words: Hass avocado, Risks, Harmful substances, Food safety, Environment, Mitigation.

Description:

The Hass avocado has become consolidated as an agricultural product of great economic and social importance; however, its rapid expansion has generated significant risks to food safety, the environment, and the sustainability of the sector. The objective of this work was to identify and analyze the risks associated with the presence of harmful substances in the cultivation and distribution of avocado (*Persea americana* var. Hass), through a systematic review of literature published between 2020 and 2025. The methodology included a structured search in academic databases, the application of the PRISMA protocol, and a bibliometric analysis of 52 selected articles. Based on this evidence, biological, chemical, environmental, and economic risks were identified, followed by the development of a cause–effect diagram (Ishikawa) under the 6M’s model, which made it possible to determine the root causes of these risks. The findings highlighted the incidence of pathogens, pesticide and heavy metal residues, water contamination, and trade barriers associated with non-compliance with international regulations. Accordingly, mitigation strategies supported by scientific evidence were proposed, such as Integrated Pest Management, the substitution of plastic packaging with biodegradable materials, and the adoption of environmental certifications. This work constitutes both a theoretical and practical contribution, by providing a framework for action that promotes food safety, environmental balance, and the competitiveness of Hass avocado in international markets.

* Bachelor Thesis

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Directora Bianeth García Barrios, Bióloga. Codirectora: Diana Paola Duarte Duarte, Doctora en Ingeniería Química.

Introducción

El aguacate Hass ha emergido como un producto agrícola de gran relevancia en el mercado global, no solo por su valor nutricional y su creciente demanda, sino también por ser un pilar económico para diversas regiones productoras (Villamil, 2024). Sin embargo, este crecimiento ha expuesto a la cadena de producción y distribución a desafíos críticos que comprometen la seguridad alimentaria, la salud ambiental y la sostenibilidad del sector (Magallón-Andalón et al., 2024; Revista Semana, 2021).

Los antecedentes revelan problemáticas multifacéticas. En la fase agrícola, se documenta un uso intensivo y a veces no regulado de plaguicidas, cuyos residuos persisten en suelos y frutos, representando un riesgo toxicológico (Esparza-Jiménez et al., 2024; Merlo-Reyes et al., 2024a). Adicionalmente, estudios reportan la presencia de contaminantes de origen antropogénico como metales pesados e hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPAs) en suelos de cultivo y en la pulpa del fruto, lo que amplía el espectro de riesgo para la salud (Castañeda et al., 2025b, 2025c). Fitopatógenos como *Colletotrichum gloeosporioides* y plagas cuarentenarias como *Stenoma catenifer* y *Nipaecoccus viridis* suponen otra amenaza constante, que se combate con más agroquímicos o que causa el rechazo de lotes de exportación (Colín-Chávez et al., 2024; Health (PLH) et al., 2023; Velázquez-Martínez et al., 2023). En la etapa de distribución, investigaciones han detectado la contaminación microbiana de frutos, incluyendo patógenos como *Salmonella* y *Listeria monocytogenes*, un riesgo directo para la seguridad alimentaria del consumidor final (García-Frutos et al., 2020).

A pesar de esta evidencia dispersa, se ha visto una falta de visión integral y sistematizada de los múltiples riesgos que convergen en la cadena de valor del aguacate Hass. La literatura aborda los problemas de forma aislada, lo que dificulta la creación de estrategias eficientes para

mitigarlos. Esta dispersión del conocimiento tiene un impacto económico directo: los agricultores y exportadores se ven forzados a descartar lotes enteros (Colín-Chávez et al., 2024; K. N. González-Gutiérrez et al., 2021), enfrentan sanciones por incumplir estándares fitosanitarios internacionales (García-Frutos et al., 2020) e incurren en costos crecientes para controlar problemas de forma reactiva. A escala global, estos efectos se traducen en inestabilidad de la oferta, desconfianza de los consumidores y prácticas dañinas para los ecosistemas (Castañeda et al., 2025a).

Este trabajo se justifica por la urgente necesidad de superar esta visión fragmentada. Las pérdidas económicas por lotes rechazados, las sanciones comerciales y los costos asociados al control de plagas y enfermedades requieren una solución que los enfrente todos juntos. La evidencia de contaminación química y microbiológica señala un riesgo latente para la salud pública que debe ser gestionado de manera proactiva. Por lo tanto, este proyecto busca generar conocimiento consolidado que sirva como fundamento para la toma de decisiones, sistematizando la información dispersa sobre los riesgos y las soluciones existentes para proporcionar una evaluación unificada. Su relevancia práctica se evidencia en la propuesta de un conjunto de estrategias que benefician a productores, ayudándoles a optimizar procesos, reducir pérdidas y cumplir normativas. A nivel social, contribuye a la protección de la salud del consumidor, y a nivel ambiental, impulsa la adopción de prácticas sostenibles.

Por ello, el presente estudio tuvo como propósito identificar y analizar los riesgos y efectos que genera la presencia de sustancias nocivas en la seguridad y el medio ambiente derivados del cultivo y la distribución de aguacate (*Persea americana* var. Hass) mediante un análisis exhaustivo y crítico de la literatura.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Identificar y analizar los riesgos y efectos que genera la presencia de sustancias nocivas en la seguridad y el medio ambiente derivados del cultivo y la distribución de aguacate (*Persea americana* var. Hass) mediante una revisión sistemática de la literatura.

1.2. Objetivos Específicos

- Identificar los riesgos potenciales y los efectos asociados a la presencia de sustancias nocivas en el cultivo y la distribución del aguacate (*Persea americana* var. Hass) en relación con su impacto sobre la seguridad y el medio ambiente.
- Desarrollar un análisis de riesgos mediante la elaboración de un diagrama de causa y efecto que permita visualizar las posibles fuentes y consecuencias de la presencia de sustancias nocivas en el cultivo y distribución del aguacate.
- Proponer estrategias de mitigación y control orientadas a reducir los riesgos asociados a la presencia de sustancias nocivas en el cultivo y la distribución del aguacate Hass.

2. Estado del arte

El aguacate (*Persea americana* var. Hass) es uno de los productos agrícolas más relevantes para la economía colombiana, destacándose por su alta demanda en mercados internacionales (Villamil, 2024). Su cultivo ha crecido un 34% entre 2016 y 2020, convirtiéndose en una fuente importante de ingresos y empleo en zonas rurales del país (Areiza, 2022; Infobae, 2021). Sin embargo, este crecimiento, a menudo impulsado por prácticas agrícolas intensivas que dependen del uso de plaguicidas, fertilizantes sintéticos y otros agroquímicos, ha generado preocupaciones sobre la presencia de residuos de sustancias nocivas (Revista Semana, 2021). Se ha reportado que, aunque el aguacate generalmente presenta bajos niveles de contaminación, se han detectado residuos o compuestos no autorizados por encima de los límites máximos permitidos (Greco et al., 2023; Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, 2020).

En términos normativos, el comercio internacional del aguacate Hass está sujeto a estándares de calidad y seguridad alimentaria, como los establecidos por el *Codex Alimentarius* (*Acerca del Codex - Codex Alimentarius*, s. f.), que define los Límites Máximos de Residuos (LMR) permitidos de plaguicidas (FAO, s. f.). En Colombia, el ICA realiza el monitoreo y control de estos residuos directamente en los cultivos, a través de inspecciones, análisis de laboratorio y verificación del cumplimiento de buenas prácticas agrícolas (*Instituto Colombiano Agropecuario - ICA*, s. f.).

Por su parte, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) se encarga del control sanitario en las etapas de procesamiento, evaluando la inocuidad y condiciones higiénicas de los productos derivados del aguacate (INVIMA, s. f.). Este control conjunto busca asegurar que los productos cumplan con los requisitos exigidos por los países

importadores, como los LMR establecidos por la Unión Europea o Estados Unidos, lo que exige un seguimiento riguroso en toda la cadena productiva (FAO, s. f.).

Aunque en los últimos años se han implementado diversas acciones para mejorar el control de riesgos en la producción del aguacate Hass, estas aún se desarrollan de forma fragmentada y sin una visión sistémica que integre todos los eslabones de la cadena productiva y de distribución. Por ejemplo, se han realizado monitoreos de residuos por parte del ICA y se han aplicado herramientas analíticas en etapas específicas del proceso, como el control del transporte (Marmolejo Gómez, 2020) o la detección de moléculas no permitidas, realizada por Avolab del grupo Cartama (Rojo, 2024).

En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) ha realizado monitoreos sobre residuos de plaguicidas en el aguacate Hass. En su "Informe de resultados del plan de monitoreo de residuos de plaguicidas en aguacate 2020" se evidenció que algunos productos superaban los límites máximos permitidos, detectándose residuos por encima de dichos límites en el 4.7% de las muestras analizadas. Estos hallazgos generaron alertas sanitarias y ambientales debido al riesgo potencial de contaminación del suelo y de aguas subterráneas (Magallón-Andalón et al., 2024; Merlo-Reyes et al., 2024a). Entre las sustancias más detectadas se encontraron plaguicidas organofosforados como clorpirifos y dimetoato, carbamatos como metomilo, neonicotinoides como imidacloprid (Sarmiento-Sarmiento et al., 2023), y fungicidas triazoles como tebuconazol y propiconazol. Además, el uso extendido de herbicidas como el glifosato ha suscitado preocupación por sus posibles efectos adversos tanto para la salud humana como para el medio ambiente (Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, 2020).

Ante este panorama, el análisis de riesgos en la producción de alimentos ha evolucionado hacia metodologías estructuradas que permiten identificar y controlar peligros potenciales, con el

objetivo de garantizar la inocuidad y calidad de los productos agroalimentarios. Herramientas como el diagrama de causa y efecto se han consolidado como estrategias clave dentro de estos enfoques, facilitando la detección de fallas, el análisis de procesos y la mejora continua en las distintas etapas de la cadena productiva (García Martínez, 2024).

Este tipo de metodología ha sido aplicada en diferentes sectores agroindustriales. En la industria del chocolate, por ejemplo, se utilizó para analizar factores que afectan la inocuidad del producto, ayudando a identificar fuentes de contaminación (Arvanitoyannis & Savelides, 2006). En el cultivo de yuca, para alimentos derivados de este cultivo, se realizó un análisis de riesgos que permitió evaluar problemas en la producción y distribución, orientando estrategias para mejorar la eficiencia (Bertin Mikolo et al., 2024).

De igual manera, en el sector bananero se empleó para diagnosticar fallas operativas y de gestión, reafirmando su utilidad como herramienta de análisis integral en procesos productivos (Panchez et al., 2021). En la cadena de valor del aguacate Hass, Marmolejo Gómez (2020) aplicó esta herramienta para estudiar riesgos logísticos durante el transporte, evidenciando su pertinencia en la identificación de factores críticos que afectan la calidad y trazabilidad del producto (Marmolejo Gómez, 2020).

Frente a esta fragmentación, la identificación temprana de peligros resulta clave para anticipar eventos que puedan comprometer la calidad del producto, la salud del consumidor o el equilibrio ambiental (Benavides & Echeverri, 2014). En este contexto, el uso de herramientas como el diagrama de Ishikawa, combinado con estrategias de mitigación como la adopción de bioinsumos (Zambrano-Moreno et al., 2015), el monitoreo de residuos y la implementación de certificaciones internacionales (Rainforest Alliance, s. f.), permite fortalecer el control de peligros a lo largo de la cadena de valor del aguacate Hass (Drew, s. f.). Estos enfoques no solo permiten

diagnosticar y corregir fallas específicas, sino también promover mejoras continuas que favorezcan la sostenibilidad, trazabilidad e inocuidad del producto, tanto en los mercados nacionales como internacionales.

3. Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo de grado, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura siguiendo las directrices de la metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (*PRISMA statement*, s. f.). Para ello, se contemplaron las siguientes fases principales de desarrollo:

3.1. Fase 1: Aplicación de la metodología PRISMA

3.1.1. Búsqueda estructurada de la literatura

Inicialmente se realizó una búsqueda preliminar con las ecuaciones reportadas en la Tabla 1, dejando como resultado la ecuación final: ***Persea americana* OR Hass AND Avocado AND Risk**, aplicada posteriormente para la búsqueda en cuatro bases de datos académicas: ScienceDirect, Web of Science, Scopus y ACS Publications, con acceso por parte de la Universidad Industrial de Santander, con el objetivo de identificar artículos relevantes relacionados con riesgos químicos, biológicos, ambientales y económicos en la cadena de producción y distribución del aguacate *Persea americana* var. Hass. La descripción completa de los artículos encontrados para cada ecuación de búsqueda se detalla en el Apéndice A.

Tabla 1

Ecuaciones de búsqueda preliminar

Bases de datos	Ecuación de búsqueda
ScienceDirect	Avocado AND Hass
Web of Science	Persea americana OR avocado Hass

Bases de datos	Ecuación de búsqueda
Scopus ACS	Avocado AND Hass AND Risk Avocado AND Hass AND Risk OR Hazard

La búsqueda se acotó a documentos publicados entre enero de 2020 y abril de 2025, aplicando filtros específicos que incluyeron: artículos de revisión, artículos de investigación, capítulos de libro, reportes de caso y guías de práctica clínica, mientras que se excluyeron documentos de procedimiento, noticias, material editorial, resúmenes de reuniones, notas y fe de erratas; adicionalmente, se descartaron publicaciones en portugués, chino y alemán, considerándose únicamente recursos de acceso abierto.

3.1.2. Selección y análisis de los artículos

Los artículos encontrados en la etapa anterior se importaron en la herramienta Rayyan, para su posterior organización, filtrado y selección de los artículos. Con ayuda de esta herramienta, se realizó una depuración inicial para eliminar duplicados, identificados entre las bases de datos de Science Direct y Scopus, también se revisó el título y el resumen de cada artículo, teniendo en cuenta dos clasificaciones: “incluir” y “excluir” (Tabla 2).

Tabla 2

Criterios de selección

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Estudios enfocados en el aguacate Hass	Reviews
Investigaciones sobre riesgos químicos, biológicos, ambientales o económicos	Libros
Análisis de control de riesgos/peligros en cultivo o distribución	Estudios sobre otros cultivos
Formulación de estrategias de mitigación para los riesgos o peligros	Trabajos que no traten sobre riesgos o control de peligros

Los artículos que fueron clasificados como “incluir” pasaron a la fase de cribado, que consistió en la lectura del artículo completo. En esta etapa, se excluyeron aquellos que no aportaban información útil al objetivo del estudio y aquellos a los cuales no se tenía acceso de texto completo.

Finalmente, tras la lectura y un análisis detallado, se definió un grupo final de artículos incluidos para el desarrollo de la revisión sistemática. Esta selección se utilizó como base para la identificación de riesgos potenciales durante la producción y la distribución del aguacate, así como la construcción del diagrama causa-efecto y la formulación de algunas estrategias de mitigación.

3.1.3. Elaboración del análisis bibliométrico

Con el fin de caracterizar de manera cuantitativa y cualitativa la producción científica en torno a la identificación de riesgos potenciales en el cultivo de aguacate Hass, se llevó a cabo un análisis bibliométrico de los artículos seleccionados. Este procedimiento incluyó la elaboración de gráficos que muestran la evolución temporal de las publicaciones y su distribución geográfica por continente. Asimismo, mediante el software VOSviewer se generó una red de coocurrencia de palabras clave, lo que permitió identificar patrones de investigación y relaciones temáticas en la literatura.

3.2. Fase 2: Clasificación de los riesgos identificados

A partir del proceso de selección y análisis de los artículos incluidos, se procedió a clasificar los riesgos identificados según su naturaleza. De este modo, los resultados se dividieron en cuatro categorías principales: riesgos biológicos, riesgos químicos, riesgos ambientales y riesgos económicos. Esta clasificación se realizó considerando las sustancias, agentes o condiciones asociadas a cada tipo de riesgo a lo largo del cultivo y distribución del aguacate Hass.

3.3. Fase 3: Construcción del diagrama de causa – efecto

Con base en los riesgos clasificados previamente, se construyó un diagrama de causa y efecto (también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de Ishikawa), en donde el problema central o efecto se estableció como el "Impacto de sustancias potencialmente nocivas en la seguridad alimentaria y el medio ambiente durante las etapas de cultivo y distribución del aguacate". Para organizar y estructurar las causas raíz de este problema, se optó por el modelo de las 6 M's, un marco analítico que permite agrupar las fuentes de riesgo en seis categorías primarias: Mano de Obra, Métodos, Medio Ambiente, Medición, Maquinaria y Materiales (Salesforce, 2024).

3.4. Fase 4: Propuesta de estrategias de mitigación

Con el propósito de reducir o eliminar los riesgos identificados en la producción y distribución del aguacate Hass, se plantearon estrategias de mitigación, orientadas a fortalecer tanto la seguridad como la sostenibilidad del sistema productivo, con el propósito de reducir o eliminar los riesgos identificados en la producción y distribución del aguacate Hass.

Para ello, se propusieron acciones concretas a partir de la evidencia de la literatura analizada, que se organizaron según los riesgos identificados: biológicos, químicos, ambientales y económicos.

4. Resultados

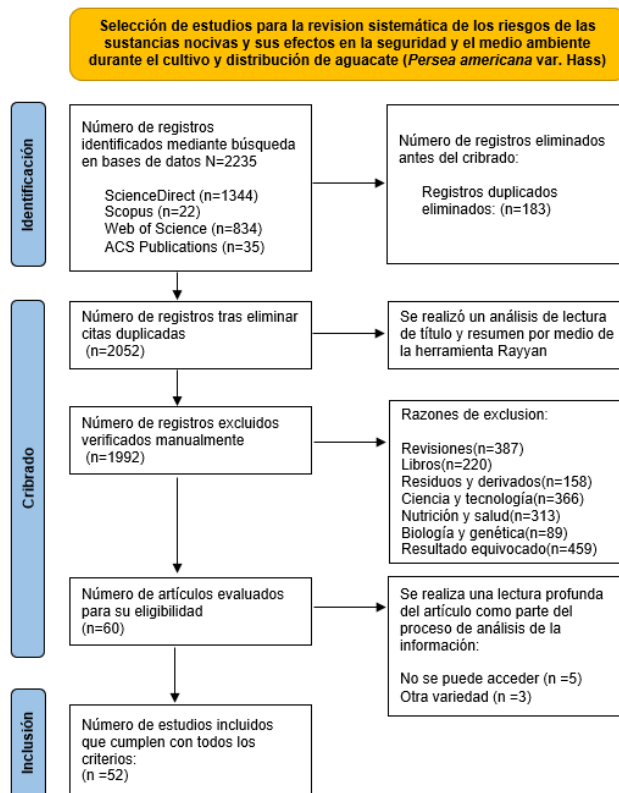
4.1. Resultados de la búsqueda y selección de artículos

A partir de la búsqueda inicial se lograron identificar 2235 artículos, entre estos, 362 artículos fueron duplicados. Se realizó la lectura del título y del resumen de los 2052 artículos restantes, en donde se excluyeron 1992 artículos y se incluyeron 52 artículos relacionados con

riesgos químicos, biológicos, ambientales y económicos en el cultivo y distribución del aguacate *Persea americana* var. Hass (Figura 1).

Figura 1

Diagrama de flujo metodología PRISMA



4.2. Análisis bibliométrico

4.2.1. Análisis de las redes bibliométricas

La tendencia anual de publicaciones evidencia cambios en la producción científica durante el periodo 2020-2025. El análisis muestra que en 2022 se publicaron 11 artículos y en 2023 se alcanzó el pico de publicaciones, con un total de 16, lo que puede explicarse por el incremento del interés en la sostenibilidad postcosecha y la necesidad de estrategias de conservación seguras y eficientes, aspectos que han cobrado especial relevancia en los últimos años debido a la expansión del mercado internacional del aguacate (Apéndice B).

4.3. Hallazgos de los riesgos encontrados en la literatura

4.3.1. Riesgos biológicos

Los riesgos biológicos son clave en la cadena de valor del aguacate Hass, ya que incluyen plagas y patógenos (bacterias, hongos, virus, oomicetos) que afectan la producción y contaminan los frutos (Ministerio de Trabajo y Economía social, s. f.). Estos agentes impactan la productividad, la calidad del fruto y generan pérdidas económicas, además de repercusiones en la seguridad alimentaria y el medio ambiente (Merlo-Reyes et al., 2024a). Entre ellos se destacan los presentes en las etapas de cultivo, poscosecha y distribución, descritos a continuación:

4.3.1.1. Riesgos biológicos en la etapa de cultivo.

En los sistemas de producción agrícola del aguacate Hass, el cultivo enfrenta una batalla constante contra agentes biológicos que atacan desde la raíz hasta el follaje, comprometiendo su vigor y la calidad del fruto antes de la cosecha (Mosquera et al., 2023). A continuación, se dividen los riesgos biológicos de esta etapa en dos grandes grupos:

4.3.1.1.1. Patógenos fúngicos y Oomicetos. Una de las mayores preocupaciones en los cultivos de aguacate es la pudrición de raíz, una enfermedad devastadora a nivel mundial que ha reportado pérdida de cultivos que van de 30 al 50% entre las diferentes etapas productivas, en las que se han asociado patógenos Oomicetos como *Phytophthora cinnamomi* Rands y *P. heveae* (Del Castillo-González et al., 2024; Kurbetli, 2024a). Estas especies provocan marchitez y la eventual muerte de las plantas, comprometiendo la viabilidad de los huertos de aguacate Hass.

Para contrarrestarlos, se ha explorado el uso de portainjertos resistentes como “Dusa” (Granada et al., 2020; Moraes et al., 2022), tratamientos químicos con fosfito de potasio y metalaxil-M, alcanzando inhibición de más del 98% y 96% respectivamente, y la aplicación cuidadosa de fungicidas como el mfenoxam con concentraciones entre 0.002 y 0.3 µg/mL (Tabla

3). Sin embargo, esta última medida es de gran cuidado por su persistencia y potencial de toxicidad, ya que estos compuestos no se degradan fácilmente en el ambiente, lo que permite que se acumulen en el suelo y el agua (Merlo-Reyes et al., 2024a). Esta acumulación afecta los ecosistemas y recursos vitales, y al persistir puede entrar en la cadena alimentaria, contaminar el agua o exponer a personas, generando riesgos para la salud humana (Kurbetli, 2024^a, Tabla 3).

Tabla 3

Estrategias de control contra Phytophthora cinnamomi

Medidas de control	Parámetro clave	Reducción/Inhibición	Mecanismo
Portainjerto 'Dusa'	250 UFC/g (carga patógena)	87% - 90%	Resistencia genética
Fosfito de potasio	300 µg/mL	98%	Inhibición metabólica
	600 µg/mL		
Metalaxil-M	3 µg/mL	96%	Interrupción síntesis proteína
	5 µg/mL		
Mefenoxam	0.002 - 0.3 µg/mL	20% - 100%	Inhibición de la síntesis de ARN ribosomal

Entre los hongos patógenos del aguacate Hass, *Rosellina necatrix* causa pudrición blanca del sistema radicular y marchitez, mientras que *Verticillium dahliae* provoca marchitez vascular al interrumpir el flujo de nutrientes (J. G. Ramírez-Gil et al., 2021). En ambos casos se ha reportado como mecanismo de biocontrol especies del género *Trichoderma*, con reportes de resistencia de *R. necatrix* en biocontrol por parte de *Trichoderma harzianum* (Magagula et al., 2021).

Además, se reporta un agente no fúngico como el viroide ASBVD (Avocado Sunblotch Viroid), genera la enfermedad conocida como mancha solar del aguacate, afectando la calidad y apariencia del fruto, lo que altera su valor comercial (Zwane et al., 2023, Tabla 4).

Tabla 4*Manejo integrado contra otros patógenos: resultados cuantitativos*

Patógeno	Tipo	Método aplicado	Eficacia/Impacto	Dosis/Detalles
<i>Rosellina necatrix</i>	Hongo	Cultivo dual con <i>Trichoderma harzianum</i> (disco de agar de 5 mm frente al patógeno)	Inhibición del crecimiento < 20%	No se usaron químicos; agente biológico vivo.
<i>Verticillium dahliae</i>	Hongo	Manejo integrado (T7fi): Poda sanitaria, Solarización del suelo, <i>Trichoderma sp.</i> , <i>R fasciculatum</i> , Sacarosa, Compost, Drenaje.	Redujo el AUDPC en 80.3% y el inóculo en 76.9%, mientras aumentó la producción 26.9% y la fruta extra-calidad 120.8%."	<i>Trichoderma</i> : 1 × 10 ⁵ conidias/planta <i>R. fasciculatum</i> : 45 propágulos/g Sacarosa: 1000 g/planta Compost: 10 kg/planta
ASBVD (viroide)	No fúngico	No especificado (evaluación de daños)	Reduce rendimientos (60-70%, máx. 95%), tamaño del fruto (-24% peso, -11% longitud) y calidad (-5-7% aceite), con maduración adelantada 15-30 días y transmisión por semillas ≤100%	Sin datos de concentración; impacto cuantificado en indicadores de calidad y producción.

4.3.1.1.2. Plagas entomológicas. Los estudios reportan que ácaros e insectos dañan directamente el follaje y los frutos en formación. Dentro del grupo de los ácaros, destacan *Oligonychus perseae*, responsable de necrosis y defoliación (EFSA PLH et al., 2022), *O. punicae*, que puede causar la caída prematura de hojas y reducir el rendimiento hasta en un 20% (López-Guerrero et al., 2024) y *Eotetranychus sexmaculatus*, una especie polífaga que en aguacate afecta principalmente a nivel foliar (EFSA PLH et al., 2023). Por otro lado, se reportan insectos trips, los cuales son una plaga relevante como el *Retithrips syriacus*, ya que generan afectación en hojas y frutos (EFSA PLH et al., 2024).

Entre los insectos que afectan al cultivo de aguacate, *Stenoma catenifer* daña directamente el fruto y requiere control con imidacloprid (0,5–1,5 mL/L)(Hernández et al., 2022a; Sarmiento-Sarmiento et al., 2023; Velázquez-Martínez et al., 2023). Otros barrenadores, como *Escolytinos*, *Platypodinos* y *Scolytinae*, perforan los tejidos leñosos del árbol (Lázaro-Dzul et al., 2023; Virgen

et al., 2022), Asimismo, *Macrocopturus spp.* debilita las ramas de variedades como el Hass, lo que hace indispensable un monitoreo fitosanitario constante (Durán-Peralta et al., 2022, Tabla 5).

Tabla 5

Parámetros cuantitativos y probabilidad de riesgo en plagas clave

Plaga	Tipo	Parámetros cuantitativos	Probabilidad de riesgo/Impacto
<i>Oligonychus punicae</i>	Ácaro	Extracto etanólico de <i>Magnolia alejandrae</i> redujo: Inhib. oviposición: 9.8% (0.05% v/v) y 89.1% (10% v/v). Reducción daño foliar: 13% (0.1% v/v) y 80.9% (10% v/v)	Reducción rendimiento: ≤ 20%
<i>Retithrips syriacus</i>	Trips	Tasa propagación: 0.05 km/año Poblaciones fundadoras: 4.6/año	Impacto rendimiento: 0.065% producción total
<i>Stenoma catenifer</i>	Insecto	Reducción de insecticidas: 20% (resultado del manejo de la población con biocontrol).	Pérdidas producción: ≤ 50%
<i>Macrocopturus spp.</i>	Barrenador	Orificios/ramas: Colin V-33 (45), Hass (35-40)	Daño significativo: Alto P<0.0001

4.3.1.2. Riesgos biológicos en la etapa poscosecha y distribución. Durante las etapas de poscosecha y distribución, el fruto es susceptible a daños biológicos que pueden afectar su calidad, acortar su vida útil e incluso, en ciertos casos, comprometer su inocuidad para el consumo. A continuación, se clasifican los riesgos biológicos de esta etapa en dos grandes grupos:

4.3.1.2.1. Patógenos fúngicos y deterioro poscosecha. Después de la cosecha el aguacate Hass presenta mayor riesgo asociado a la antracnosis, una enfermedad causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*. El cual se manifiesta mediante manchas negras hundidas en la piel del fruto y se agrava considerablemente bajo condiciones ambientales de alta humedad y temperatura, como temperaturas de 27 °C y una humedad relativa del 95%. De no controlarse adecuadamente, la antracnosis puede llevar a pérdidas devastadoras de hasta el 100% del fruto y alrededor del 30% del cultivo (EFSA et al., 2021; K. N. González-Gutiérrez et al., 2021).

Se han evaluado alternativas al control químico de antracnosis, incluyendo extractos vegetales de *Enterolobium cyclocarpum* y *Amphipterygium adstringens* (Muro-Medina et al., 2024), redes activas biodegradables que reducen la incidencia hasta en un 80% (Correa-Pacheco et al., 2022), y biocontrol con levaduras como *Meyerozyma caribbica*, con eficacia preventiva del 100 % en recubrimientos de alginato de sodio (K. N. González-Gutiérrez et al., 2021; Iñiguez-Moreno et al., 2020). Otros avances incluyen el desarrollo de recubrimientos activos basados en biomateriales como quitina oxidada, fibroínas de seda y melatonina (Funes et al., 2023a), así como extractos bacterianos como *Serratia sp. ARP5.1*, los cuales han mostrado una reducción significativa de la pudrición del fruto cercana al 84 % (Granada et al., 2020, Tabla 6).

Tabla 6

Estrategias de control contra C. gloeosporioides en poscosecha

Estrategia de control	Parámetros cuantitativos	Eficacia	Ventaja vs. Químicos
Redes PLA/PBAT más 1% Quitosano	Inóculo: 1×10^5 esporas/mL Reducción incidencia: 80% Severidad máxima: 25% área	Inhibición esporas: 78%	Elimina 2,4,6-TCP (carcinógeno)
Biocontrol (<i>Meyerozyma caribbica</i>)	Formulación: Recubrimiento alginato Temperatura: 6°C	100% control	Sustituye fungicidas sintéticos
Extracto de <i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Concentración: 300 mg/mL (saponinas)	33% inhibición	Baja toxicidad residual
Sobres activos con aceite de orégano	Carvacrol: 31.25% Dosis: 80-160 mg cápsulas (99.35 mg/g aceite)	No especificado	Reduce dependencia de Prochloraz
Recubrimiento alginato más levadura	Pérdida peso: se redujo de 2-3.7%	50% reducción severidad (25°C)	Mejora conservación física

Además, *Neofusicoccum parvum* puede generar manchas negras en la pulpa durante esta etapa, un problema que ha sido abordado por tratamientos a partir de quitosano al 0.5% combinado

con aceite esencial de canela al 2.5% en emulsión. Estos tratamientos logran un 100% de inhibición del micelio in vitro, reducen la pudrición en frutos almacenados y activan enzimas de defensa (PAL, POD, PPO), manteniendo la calidad poscosecha. (Herrera-González et al., 2024).

4.3.1.2.2. Contaminación bacteriana. La contaminación bacteriana pre y poscosecha representa un riesgo significativo para la salud humana, incluso cuando los frutos presentan una apariencia normal. En la actualidad, existe una creciente preocupación por la presencia de bacterias patógenas transmitidas por alimentos como el aguacate. Se ha identificado la presencia de microorganismos como *Salmonella* y *Listeria monocytogenes* (Tabla 7), ambos responsables de enfermedades graves que afectan directamente a las personas (García-Frutos et al., 2020). La salmonelosis es una infección bacteriana que afecta principalmente el sistema digestivo, sus síntomas incluyen fiebre, diarrea, náuseas, vómitos y calambres abdominales. Aunque la mayoría de las personas se recuperan sin tratamiento específico, en casos graves puede requerir hospitalización, especialmente en grupos vulnerables como niños pequeños, adultos mayores y personas con sistemas inmunitarios debilitados (Infección por salmonela - Síntomas y causas - Mayo Clinic, 2023).

Por su parte, la listeriosis, causada por *Listeria monocytogenes*, es una infección bacteriana más severa, que puede progresar a afecciones mucho más graves como dolor de cabeza intenso, rigidez de cuello, confusión, pérdida de equilibrio e incluso convulsiones, la cual puede llegar a ser mortal (Infección por listeria - Síntomas y causas - Mayo Clinic, 2025).

Para prolongar la vida útil y mantener la calidad del aguacate Hass, es clave aplicar tratamientos poscosecha y, sobre todo, cumplir rigurosamente las buenas prácticas agrícolas y de manipulación, garantizando así la seguridad alimentaria y la salud del consumidor. Estas medidas son fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria y proteger la salud del consumidor.

Tabla 7*Riesgo bacteriano en poscosecha: Salmonella spp. y Listeria monocytogenes*

Parámetro	<i>Salmonella spp.</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>
Frecuencia de Detección	3.5% (IC95%: 1.1–5.9%)	8.0% (IC95%: 9.2–18.2%)
Indicadores Asociados	Coliformes: 3.3–8.4 log UFC/aguacate <i>E. coli</i> : 11.5% muestras positivas	<i>E. coli</i> (indicador fecal): 11.5% muestras positivas
Brotos Históricos	55 brotes (1998–2016) 1,658 enfermos registrados	No cuantificado (pero mayor frecuencia de detección)
Vía de Contaminación	Superficie del fruto (cáscara)	Superficie del fruto (cáscara)
Factor de Riesgo Crítico	Manipulación poscosecha sin BPA	Temperaturas inadecuadas durante almacenamiento/transporte

4.3.2. Riesgos químicos

La producción y distribución del aguacate Hass, aunque orientadas a optimizar el rendimiento y la calidad, generan riesgos químicos asociados al uso inadecuado de agroquímicos y a prácticas deficientes de manejo de residuos, con implicaciones directas en la seguridad alimentaria y el medio ambiente. (Farmonaut, 2025). La literatura reporta diversas fuentes de contaminación química y sus efectos, descritos a continuación.

4.3.2.1. Contaminación por metales pesados. Un riesgo químico crítico proviene de la acumulación de metales pesados en los suelos de cultivo, especialmente en zonas cercanas a minas abandonadas o por el uso de aguas subterráneas contaminadas para riego.

Metales como el arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) tienden a acumularse en el suelo, mientras que el mercurio (Hg) puede ser absorbido por las raíces del aguacate y trasladado a la pulpa debido a su alta afinidad lipídica (Castañeda et al., 2025c; Mafulul et al., 2023a). Los efectos de estos metales para la salud humana son graves e incluyen daños en riñones, hígado, sistema nervioso, y tienen efectos genotóxicos y cancerígenos, siendo los niños los más vulnerables (Mafulul et al., 2023^a, Tabla 8).

Tabla 8*Concentraciones de metales pesados encontrados en el cultivo de aguacate*

Tipo de riesgo / Fuente	Sustancia química	Concentración / Valor	Probabilidad de riesgo
Concentración en suelos	As	4.17 mg/kg	Por debajo del límite de 20mg/kg.
Concentración en suelos	Cd	Media: 4.91 mg/kg	Excede el límite de 1.00 mg/kg.
Concentración en suelos	Hg	Media: 3.46 mg/kg	Excede el límite de 0.450 mg/kg.
Concentración en suelos	Pb	1.65 mg/kg	Excede el límite de 0.2 mg/kg.
Concentración en fruto	Hg	Máx. 0.367 mg/kg	Supera el límite regulatorio (0.01 mg/kg).
Riesgo cancerígeno	Cr, Ni	Total, Cancer Risk (TCR = 3.77×10^{-2})	3.77% de probabilidad de desarrollar cáncer, superando en 37,7 veces el límite aceptable.
Riesgo no cancerígeno	Cd, Pb, Cr, Ni	Hazard Index (HI = 284.91)	285 veces mayor probabilidad de daño crónico (riñones, hígado, sistema nervioso) que el umbral seguro (HI=1).
Riesgo no cancerígeno	Hg, Pb	Hazard Quotient (HQ > 1)	HQ de 1.07 para Hg y 1.20 para Pb en aguacate, indicando alto riesgo.

4.3.2.2. Residuos de plaguicidas. El control de plagas es una práctica común en el cultivo de aguacate Hass, y la aplicación de plaguicidas es una de las principales estrategias. Sin embargo, esto conlleva el riesgo de que residuos químicos permanezcan en el fruto o en el entorno agrícola.

Un ejemplo claro es el imidacloprid, un insecticida sistémico, cuyos residuos en la cáscara del aguacate pueden alcanzar hasta 0.923 mg/kg cuando se aplica en dosis altas (1.5 mL/L) por aspersión al follaje. Por el contrario, la aplicación por goteo a dosis bajas (0.5 mL/L) genera residuos mínimos (0.175 mg/kg en cáscara y 0.022 mg/kg en pulpa a los 14 días), lo que evidencia una disipación eficiente (Sarmiento-Sarmiento et al., 2023). La acumulación de plaguicidas en los frutos puede superar los Límites Máximos de Residuos (LMR) establecidos por normativas nacionales e internacionales, exponiendo a los consumidores a sustancias con potenciales efectos tóxicos a largo plazo.

Considerando que el aguacate Hass colombiano se exporta principalmente a los países de

la Unión Europea y Estados Unidos, se amplió el análisis de los LMR para incluir las normas de estos mercados, esto garantiza el cumplimiento de regulaciones y la competitividad en mercados internacionales exigentes. Los LMR consultados corresponden a las normativas oficiales de cada país (Colombia: Resoluciones 4506 de 2013 y 2906 de 2007; Estados Unidos: USDA y USEPA; Unión Europea: Reglamento (CE) No 1881/2006 y EFSA) (Tabla 9).

Tabla 9*Límites Máximos de Residuos (LMR)*

Metal	Límites Máximos de Residuos (LMR) (mg/kg)		
	Colombia (Res. 4506 de 2013/ Res. 2906 DE 2007)	Estados Unidos (USDA/USEPA)	Unión Europea (REG. (CE) No 1881- 2006/EFSA/European Commission)
Arsénico (As)	No establecido	0.5	No establecido
Cadmio (Cd)	0.05	0.05	0.05
Mercurio (Hg)	No establecido	0.01	No establecido
Plomo (Pb)	0.10	0.1	0.1
Plaguicida			
4-hexilresorcinol	2	2	2
Imidacloprid	0.05	1	0.01
Prochloraz	7	No permitido	0.03

Además, el uso intensivo de fungicidas sintéticos como el prochloraz genera metabolitos cancerígenos que contaminan fuentes hídricas y causan toxicidad humana. De igual forma, fungicidas como el mefenoxam y carbendazim aplicados para controlar la pudrición de raíz, representan un riesgo debido a que sus residuos pueden acumularse en el suelo y en el agua, aumentando así la probabilidad de que sean absorbidos por la planta y, por tanto, estén presentes en el fruto (Funes et al., 2023a). La presencia de estos compuestos en el cultivo representa un riesgo para la salud humana, causando toxicidad, disrupción endocrina o neurotoxicidad. (Kurbetli, 2024a). Adicionalmente, los contaminantes orgánicos persistentes (COP), como plaguicidas organoclorados (OCP) y bifenilos policlorados (PCB), perduran en los suelos, se redistribuyen por la atmósfera y se bioacumulan en los frutos, representando un riesgo crónico para los consumidores

(Castañeda et al., 2025c).

Se identificaron riesgos químicos asociados al uso de plaguicidas, tanto por contaminación hídrica como por residuos en la fruta. En el agua, las concentraciones de carbendazim (932 ng/L) en la cuenca de Zitácuaro y de 3-PBA (494 ng/L) en la Reserva de la Mariposa Monarca (México) superan los límites de seguridad ($RQ > 1$), lo que implica un riesgo crónico elevado para la biodiversidad (Merlo-Reyes et al., 2024). En contraste, los residuos hallados en el aguacate, como heptacloro y gamma-clordano, se encuentran en niveles bajos y seguros para el consumo humano (Tabla 10).

Tabla 10

Riesgos provenientes del uso de plaguicidas

Tipo de Riesgo / Fuente	Sustancia Química	Concentración / Valor	Probabilidad de Riesgo
Concentración en agua	3-PBA	494 ng/L	Riesgo crónico alto ($RQ > 1$) en la Reserva Mariposa Monarca.
Concentración en agua	Carbendazim	932 ng/L	Riesgo crónico alto ($RQ > 1$) en la cuenca de Zitácuaro.
Concentración en agua	Imidacloprid	1195 ng/L	Supera los estándares de calidad ambiental de la UE que son de aproximadamente 8.3 ng/L
Concentración en fruta	Gamma-clordano	<0.0300 - 0.0662 $\mu\text{g}/\text{kg}$	Riesgo no cancerígeno.
Concentración en fruta	Heptacloro	<0.0300 - 0.218 $\mu\text{g}/\text{kg}$	Riesgo no cancerígeno ($HQ < 1$) y cancerígeno (LCR entre 10^{-7} y 10^{-6}) se consideran seguros.

4.3.2.3. Fertilización química y enmiendas del suelo. Las prácticas de fertilización son fundamentales para la nutrición del aguacate Hass y la optimización del rendimiento. Sin embargo, el uso intensivo de fertilizantes químicos puede generar riesgos ambientales, ya que la dependencia de estos insumos puede llevar a la contaminación de los suelos y las fuentes de agua por lixiviación de nutrientes, afectando los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua potable

(Abd El-Moniem et al., 2022). Ante esta situación, la investigación sobre alternativas naturales y el uso parcial de fuentes orgánicas de fertilización ha demostrado ser una estrategia eficaz para mantener la productividad del aguacate Hass, al tiempo que se reduce el impacto ambiental asociado a los químicos sintéticos (Abd El-Moniem et al., 2022). Enmiendas específicas como el boro se utilizan en huertos de aguacate para favorecer el cultivo, pero su aplicación debe controlarse para evitar fitotoxicidad y garantizar la salud del fruto frente a patógenos como *Phytophthora cinnamomi* (Kurbetli, 2024).

4.3.2.4. Tratamientos químicos poscosecha. Durante la etapa de distribución, se emplean tratamientos químicos para preservar la calidad y prolongar la vida útil del aguacate Hass, contribuyendo directamente a la seguridad alimentaria al mantener el fruto en buenas condiciones para el consumo. Un ejemplo de ello son los recubrimientos comestibles que incorporan sustancias como el 4-hexilresorcinol (4-HR, a 250-500 mg/kg) y el metabisulfito de sodio (SMBS, a 1250-2500 mg/kg) (Hebishy & Tas, 2023). Estos compuestos ayudan a reducir la deshidratación del fruto, favoreciendo su comercialización y disminuyendo el desperdicio, pero su seguridad debe evaluarse cuidadosamente. El SMBS es un alérgeno que debe declararse en etiqueta, mientras que el 4-HR tiene un límite máximo de residuo de 2 mg/kg (EFSA, 2014). Se recomienda monitorear sus residuos en la pulpa del aguacate y asegurar un manejo ambientalmente responsable. Otros compuestos, como boro y fungicidas (mefenoxam y fludioxonil), requieren igualmente evaluación de eficacia y seguridad durante el cultivo (Kurbetli, 2024, Tabla 11).

Tabla 11

Evaluación de químicos para el control de patógenos

Sustancia Química	Concentración / Efecto	Impacto / Probabilidad de Riesgo
Boro	1000 µg/mL	Inhibió totalmente el crecimiento del micelio.

Sustancia Química	Concentración / Efecto	Impacto / Probabilidad de Riesgo
Fludioxonil	Concentración de referencia: 5-10 $\mu\text{g/mL}$	Redujo en un 60% la necrosis de la raíz causada por <i>C. ilicicola</i> .
Fludioxonil / Prochloraz MnCl	Concentración de referencia: 150-200 mg/L	Redujeron en un 50% la frecuencia de re-aislamiento de <i>D. macrodidyma</i> .
Mefenoxam	EC50 entre 0.002 y 0.3 $\mu\text{g/mL}$	100% de sensibilidad de los aislamientos de <i>P. cinnamomi</i> .
Recubrimientos de nanocristales de quitina oxidada (<i>O-NCChit</i>) con melatonina	Nanocristales de quitina oxidada (0.01 % v/v) + Melatonina (8 mM)	Redujeron lesiones por antracnosis en un 45%, similar a prochloraz.

4.3.3. Riesgos ambientales

El cultivo de aguacate Hass genera riesgos ambientales que afectan la sostenibilidad de los ecosistemas y la disponibilidad de recursos naturales. Estos riesgos, derivados de factores naturales y antrópicos, así como de prácticas agrícolas intensivas, impactan la calidad de los cultivos, el equilibrio ecológico y la viabilidad del sistema productivo (ESGINnova Group, 2020). A continuación, se presentan los principales riesgos ambientales identificados en la literatura.

4.3.3.1. Impacto por agentes químicos y fitosanitarios. Uno de los principales riesgos ambientales identificados en la literatura es la contaminación química del suelo y del agua. La aplicación de productos fitosanitarios, como plaguicidas y fungicidas sintéticos, así como de fertilizantes en los huertos de aguacate, puede provocar la acumulación de residuos que impactan negativamente en el ambiente (ESGINnova Group, 2020).

Diversos estudios han identificado la presencia de metales pesados como el arsénico (As, 4.10-4.20 mg/kg), cadmio (Cd, 0.18-0.20 mg/kg) y plomo (Pb, 1.56-1.72 mg/kg). De igual manera, se ha encontrado mercurio (Hg, $0,367 \pm 0,0660$ mg/kg), el cual puede ser absorbido por la pulpa del aguacate debido al uso de aguas subterráneas contaminadas para riego (Castañeda et al., 2025a; Mafulul et al., 2023a). Estos elementos, no biodegradables, se acumulan en el ambiente, siendo tóxicos para la vida silvestre y alterando los procesos ecológicos (Mafulul et al., 2023a).

El uso intensivo de fungicidas sintéticos, como el prochloraz (fungicida del grupo de los imidazoles, conocido por su acción sistémica y de contacto), genera metabolitos que contaminan fuentes hídricas (Funes et al., 2023a). La dependencia de los fertilizantes químicos también contribuye a la contaminación de suelos y fuentes de agua por lixiviación de nutrientes, afectando los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua (Abd El-Moniem et al., 2022). La acumulación de residuos de fungicidas como el mefenoxam en el suelo y el agua también puede comprometer la salud de los ecosistemas y la calidad de los recursos naturales, debido a su persistencia en el medio, alterando el equilibrio natural y la funcionalidad de los sistemas ecológicos (Kurbetli, 2024b).

Adicionalmente, los contaminantes orgánicos persistentes (COP), tales como plaguicidas organoclorados (OCP) y bifenilos policlorados (PCB), permanecen en los suelos. Estos compuestos representan un riesgo porque son altamente estables y no se degradan fácilmente, lo que les permite persistir en el ambiente por largos periodos, redistribuirse atmosféricamente a grandes distancias y acumularse en los organismos, incluso afectando a especies alejadas de la zona de aplicación (Castañeda et al., 2025a).

El uso de insecticidas sistémicos como el imidacloprid, en concentraciones de 1195 ng/L, junto con otros agroquímicos, representan un riesgo adicional. Tras su aplicación, pueden infiltrarse en el suelo y lixiviarse hacia los acuíferos, comprometiendo la calidad del suelo y del agua subterránea. Además, estas sustancias no solo afectan a la plaga que se quiera combatir, también a otros organismos como polinizadores (abejas) y los microorganismos benéficos del suelo (promotores de crecimiento), interrumpiendo así el equilibrio natural de los ecosistemas (Hernández et al., 2022b).

En este contexto, en Colombia, estudios realizados en suelos agrícolas de La Unión, Antioquia, revelaron contaminación reciente por pesticidas prohibidos. Se detectaron

concentraciones de 4,4'-DDT (Dicloro-Difenil-Tricloroetano) en un rango de 1.07 a 90.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, consistentemente superiores a las de su metabolito de degradación 4,4'-DDE (Dicloro-Difenil-Dicloroetano) cuyo rango fue de 0.223 a 28.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$, en el 18.8% de las muestras analizadas. Los valores de la relación DDT/DDE oscilaron entre 1.11 y 6.12, siendo todos superiores a 1, lo que indica una fuente de contaminación reciente o continua. Los autores sugieren que este patrón es consistente con la posible aplicación de dicofol un acaricida cuyo proceso de fabricación puede contener DDT como impureza, a pesar de que ambos compuestos están prohibidos en el país. La presencia de estos residuos en suelos, con niveles que superan los umbrales de fondo esperados, evidencia la necesidad de fortalecer los programas de vigilancia y control de plaguicidas en zonas agrícolas de Colombia (Castañeda et al., 2025a).

Finalmente, se ha identificado que el uso de redes plásticas de empaque y protección, fabricadas con tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (HDPE) o Polipropileno (PP), para el almacenamiento y transporte de frutos en la etapa de poscosecha genera residuos de alta presencia. Estas redes, al degradarse por la intemperie y la acción mecánica, se fragmentan y liberan microplásticos que contaminan suelos y fuentes hídricas, representando un riesgo de acumulación a largo plazo en los ecosistemas (Correa-Pacheco et al., 2022).

4.3.3.2. Gestión del agua y uso del suelo. El manejo del agua en el cultivo del aguacate es un factor ambiental importante, dada la alta demanda hídrica asociada a este cultivo. Es crucial para la calidad del fruto y la sostenibilidad, especialmente en regiones con recursos limitados, pues influye en la nutrición del cultivo y la disponibilidad hídrica para otros usos (Tapia-Vargas et al., s. f.).

En cuanto al uso del suelo, la expansión de las áreas de cultivo de aguacate Hass puede traer cambios importantes en el ecosistema. En Colombia, la superficie dedicada a este cultivo

registró un incremento significativo, pasando de 13.530 hectáreas en 2015 a una proyección de 31.518 hectáreas para 2021 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Más recientemente, para el año 2024, la superficie sembrada alcanzaba aproximadamente 55.000 hectáreas, de las cuales alrededor de 39.000 estaban ya en producción (Ramirez, 2024). Para evaluar estos impactos y sus consecuencias, se ha desarrollado un nuevo protocolo de campo para monitorear la degradación forestal, denominado "*Forest Degradation Permanent Sample Plot Protocol*" (Protocolo de Parcelas Permanentes para Muestreo de la Degradación Forestal). Este protocolo sirve para la vigilancia de los cambios en el uso del suelo que están asociados a la expansión agrícola, permitiendo identificar y cuantificar la alteración de la cobertura vegetal (Wheeler et al., 2021).

4.3.4. Riesgos económicos

El cultivo de aguacate Hass enfrenta riesgos económicos que afectan su rentabilidad, asociados a factores biológicos, químicos y ambientales. Estos se reflejan en pérdidas de rendimiento, aumento de costos y reducción del valor comercial del fruto. A continuación, se describen los principales riesgos económicos identificados en la literatura.

La presencia de plagas y enfermedades representa una de las mayores amenazas a la rentabilidad del cultivo. En la etapa de cultivo, las enfermedades radiculares y vasculares pueden causar la pérdida total de las plantas, lo que conlleva costos asociados a la renovación de lotes y varios años de ingresos perdidos mientras los nuevos árboles alcanzan su fase productiva (Del Castillo-González et al., 2024; Kurbetli, 2024b; Palacios-Joya et al., 2025). El control de plagas cuarentenarias, como la palomilla del aguacate (*Stenoma catenifer*), exige inversiones continuas en programas de manejo integrado, monitoreo y aplicaciones de insumos para cumplir con los

protocolos de exportación, incrementando sustancialmente los costos operativos (Hernández et al., 2022b).

Infestaciones de ácaros, como *O. punicae* pueden causar pérdidas de rendimiento cuantificables, estimadas hasta en un 20% de la producción potencial (López-Guerrero et al., 2024). Asimismo, las cochinillas (*Maconellicoccus hirsutus*, *Nipaecoccus viridis*, *Icerya aegyptiaca*, *Paracoccus marginatus*) y las moscas blancas (*Tetraleurodes perseae*) también impactan negativamente en el rendimiento y la calidad del aguacate, mermando la producción comercializable (EFSA PLH et al., 2023).

El riesgo económico se amplía en la etapa de poscosecha, donde la aparición de síntomas como manchas, podredumbres y daños en la fruta deprecian considerablemente su valor comercial. Esto resulta en el rechazo de lotes para exportación, la venta a precios reducidos en mercados secundarios o, en casos severos, el desecho total de la producción, representando una pérdida del 100% de la inversión en cosecha y empaques para los lotes afectados (EFSA PLH et al., 2023; K. N. González-Gutiérrez et al., 2021). La gestión de estos riesgos requiere inversiones adicionales en tecnologías de poscosecha y tratamientos que, si bien mitigan las pérdidas, también elevan los costos finales y reducen los márgenes de ganancia.

4.3.4.1. Costos de manejo y cumplimiento regulatorio. El manejo de los riesgos fitosanitarios y la prevención de la contaminación química implican costos operativos elevados que inciden directamente en la rentabilidad del cultivo. Esto incluye la inversión en portainjertos resistentes (Moraes et al., 2022), la aplicación de fungicidas (como el mfenoxam) (Kurbetli, 2024b) e insecticidas (como el imidacloprid) (Hernández et al., 2022b; Velázquez-Martínez et al., 2023), y la implementación de técnicas como la poda sanitaria o la solarización del suelo (J. G. Ramírez-Gil et al., 2021).

Además, la necesidad de controlar los residuos de químicos en el fruto para mantener la seguridad alimentaria (Hernández et al., 2022b; Velázquez-Martínez et al., 2023) exige un manejo estricto del cumplimiento de los Límites Máximos de Residuos (LMR) establecidos por los mercados internacionales. Esto añade complejidad y costos adicionales a la producción y exportación del aguacate, incluyendo análisis de laboratorio y certificaciones. Los riesgos asociados a la contaminación por metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes en suelos y frutos (Castañeda et al., 2025a; Mafulul et al., 2023a) pueden generar rechazos en mercados nacionales e internacionales y sanciones con grandes consecuencias económicas.

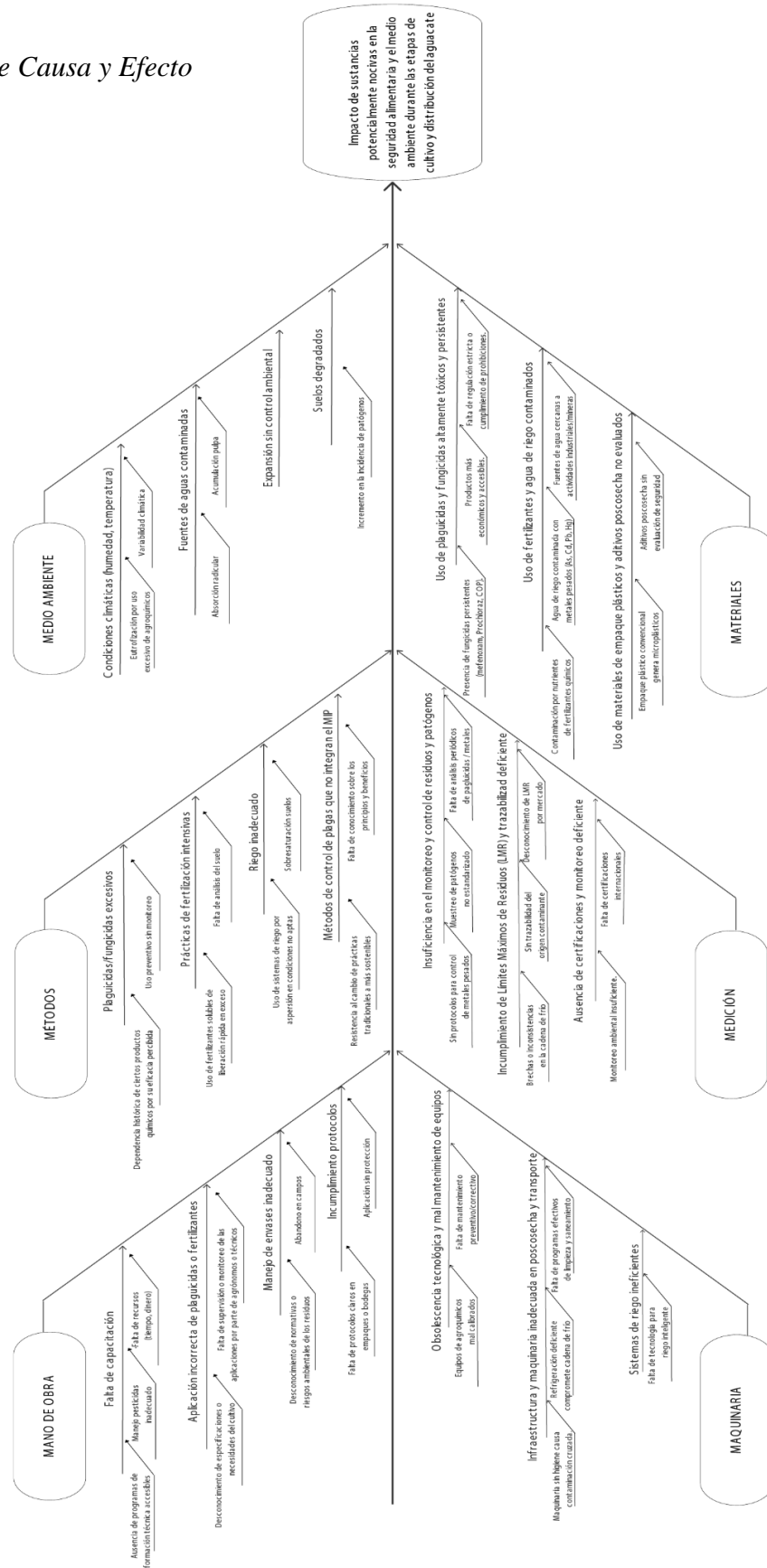
4.4. Desarrollo del diagrama de causa y efecto de los riesgos que afectan la sostenibilidad del cultivo y distribución del aguacate Hass

El análisis de riesgos es un componente esencial para identificar y evaluar los factores que pueden afectar la sostenibilidad y competitividad de sistemas complejos como la cadena de valor del aguacate Hass. En este trabajo de investigación, se empleó el Diagrama de Causa y Efecto, una herramienta que permite identificar, clasificar y representar de forma estructurada las causas raíz de un problema específico, facilitando la comprensión de su origen y la formulación de estrategias de mitigación (Salesforce, 2024).

En esta investigación, el problema central analizado es el *“Impacto de sustancias potencialmente nocivas en la seguridad alimentaria y el medio ambiente durante las etapas de cultivo y distribución del aguacate Hass”*. Para identificar sus causas se utilizó el modelo de las 6 M’s, que agrupa los factores en Medio Ambiente, Mano de Obra, Métodos, Medición, Maquinaria y Materiales (Edraw, 2025). Este análisis permite visualizar la distribución de las causas y su relación con el problema planteado (Figura 3).

Figura 3

Diagrama de Causa y Efecto



4.4.1. Causas relacionadas con la mano de obra

Las fallas en la capacitación y prácticas del personal involucrado en todas las etapas del cultivo y la distribución del aguacate Hass representan un factor de riesgo. Se ha identificado una falta de capacitación en el uso seguro de agroquímicos y en la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA), lo que deriva en una aplicación incorrecta de plaguicidas o fertilizantes, aumentando el riesgo de residuos de estos y generando un ciclo de prácticas riesgosas (Esparza-Jiménez et al., 2024). Esto también incluye el desconocimiento de protocolos de seguridad durante la manipulación de agroquímicos, lo que deriva en exposición directa a sustancias tóxicas. De igual forma, el manejo inadecuado de envases vacíos quemados o abandonados en campos facilita la lixiviación de residuos hacia los suelos y acuíferos incrementando la eutrofización en ellos (Esparza-Jiménez et al., 2024).

4.4.2. Causas relacionadas con los métodos

La implementación deficiente de procedimientos y protocolos en la cadena de valor del aguacate constituye una fuente directa de riesgos. Un ejemplo claro es la aplicación excesiva de pesticidas como imidacloprid, mefenoxam y prochloraz sin umbrales de acción definidos dentro de un marco de Manejo Integrado de Plagas (MIP), por lo que la ausencia de estrategias de MIP propicia una mayor dependencia de soluciones químicas. Esta práctica, al carecer de criterios técnicos, provoca la acumulación de residuos y la formación de metabolitos potencialmente cancerígenos (Funes et al., 2023b). Asimismo, las prácticas de fertilización intensiva pueden generar lixiviación de nutrientes y la consecuente contaminación de cuerpos de agua (Abd El-Moniem et al., 2022).

4.4.3. Causas relacionadas con el medio ambiente

Los factores ambientales externos, tanto naturales como inducidos por actividades

humanas, influyen directamente en la presencia de sustancias nocivas. Las condiciones climáticas, como la humedad o la temperatura, pueden aumentar la incidencia de plagas y enfermedades fúngicas/oomicetos (ej., *Colletotrichum gloeosporioides*, *Phytophthora*), lo que a su vez puede llevar a un mayor uso de tratamientos químicos (K. González-Gutiérrez et al., 2021). De la misma manera, las lluvias intensas facilitan la lixiviación de imidacloprid hacia ríos (hasta 1.195 ng/L) y carbendazim hacia acuíferos (Merlo-Reyes et al., 2024b). El uso de aguas subterráneas contaminadas con mercurio para riego común en zonas mineras resulta en su absorción radicular y acumulación en pulpa (Mafulul et al., 2023b). La expansión no planificada del cultivo genera pérdida de cobertura vegetal, afectando ecosistemas naturales y reduciendo su resistencia (Wheeler et al., 2021). Además, la degradación de suelos por monocultivo reduce la biodiversidad funcional, debilitando controles naturales contra patógenos como *Rosellina necatrix* (J. Ramírez-Gil et al., 2021).

4.4.4. Causas relacionadas con la medición

La categoría de Medición abarca los sistemas de control y evaluación de calidad e inocuidad en la cadena del aguacate Hass. Una gestión deficiente permite que sustancias nocivas pasen desapercibidas, afectando la seguridad del producto y su acceso a mercados internacionales. Una causa clave es el monitoreo insuficiente de residuos y patógenos, evidenciado en la falta de análisis periódicos y métodos inadecuados para detectar microorganismos como *Salmonella*, *Listeria* o *Colletotrichum* (García-Frutos et al., 2020; K. N. González-Gutiérrez et al., 2021). Asimismo, la ausencia de protocolos para metales pesados como mercurio o cadmio agrava el riesgo de bioacumulación (Mafulul et al., 2023a).

El incumplimiento de los Límites Máximos de Residuos (LMR) y la falta de trazabilidad, impiden identificar el origen de contaminación, exponiendo al consumidor. Esta mala trazabilidad

también se vincula a fallas en la cadena de frío (FAO, s. f.). Por otro lado, la ausencia de certificaciones frena el acceso a mercados exigentes y rentables (Castañeda et al., 2025a). Por último, la ausencia de monitoreos ambientales, por escasez de recursos, dificulta evaluar el impacto de la expansión agrícola (Wheeler et al., 2021).

4.4.5. Causas relacionadas con la maquinaria

La maquinaria utilizada en la cadena del aguacate desde el cultivo hasta el transporte impacta directamente en la inocuidad del producto según su estado y operación.

En la etapa de cultivo, la obsolescencia tecnológica y el mal mantenimiento de los equipos son causas críticas. Esto se refleja en máquinas mal calibradas para la aplicación de agroquímicos, lo que genera dosis incorrectas y conduce a la acumulación de residuos en el fruto (Intagri, s. f.). De igual forma, los sistemas de riego ineficientes, con fallas de diseño y sin programación inteligente, favorecen la lixiviación de estos químicos hacia el subsuelo (Garza, 2023).

En las etapas de poscosecha, procesamiento y transporte, la infraestructura inadecuada se convierte en un riesgo. La maquinaria de procesamiento que carece de programas efectivos de limpieza y sanitización es una fuente de contaminación cruzada. Asimismo, el uso de equipos de refrigeración en mal estado o deficientes provoca la ruptura de la cadena de frío durante el almacenamiento y transporte, lo que acelera el deterioro del fruto y favorece la proliferación de patógenos (García-Frutos et al., 2020; Marmolejo Gómez, 2020).

4.4.6. Causas relacionadas con los materiales

La selección y uso de insumos inadecuados en el cultivo y poscosecha del aguacate puede introducir contaminantes persistentes o sustancias nocivas. El uso de estos materiales se ve facilitado por su bajo costo y la existencia de marcos regulatorios permisivos o poco exigentes. Un ejemplo de ello en Colombia es que, aunque el país sigue los lineamientos del *Codex Alimentarius*,

la Resolución 2906 de 2007, la cual regula los LMRs aún permite el uso de ciertos plaguicidas catalogados como altamente peligrosos (Ministerio de la protección social, 2007), priorizando a menudo la productividad sobre la prevención del riesgo a largo plazo.

Entre los materiales de mayor riesgo se encuentran los fertilizantes de origen no controlado y el agua de riego contaminada, cuyo uso contribuye a la contaminación por nutrientes y facilita la bioacumulación de metales pesados en el fruto, especialmente cuando provienen de zonas mineras o industriales (Castañeda et al., 2025a; Mafulul et al., 2023a). Asimismo, el uso generalizado de empaques plásticos convencionales no biodegradables (PET, HDPE, PP) es una fuente significativa de microplásticos persistentes, debido a la escasa oferta y adopción de alternativas sostenibles (Correa-Pacheco et al., 2022). Finalmente, sustancias como el 4-hexilresorcinol utilizado como aditivo poscosecha para mantener la apariencia fresca del fruto carecen de una evaluación de seguridad completa sobre sus efectos a largo plazo (Hebishy & Tas, 2023).

4.5. Estrategias de mitigación orientadas a reducir los riesgos abordados

La gestión de riesgos en este tipo de sistema productivo requiere identificar las amenazas que pueden comprometer la inocuidad, la eficiencia y la sostenibilidad de la producción en el aguacate Hass. En este sentido, la literatura ha documentado una amplia variedad de riesgos biológicos, químicos, ambientales y económicos, así como medidas específicas para su control y mitigación. La Tabla 12 muestra los principales riesgos identificados, organizados según su tipo, descripción, impacto que generan y las estrategias de mitigación propuestas. Estas estrategias se derivan de la revisión sistemática de la literatura, lo que respalda su validez y aplicabilidad en el contexto del cultivo y distribución del aguacate Hass.

Tabla 12

Estrategias de mitigación orientadas a reducir los riesgos identificados

Tipo de riesgo	Factor / agente	Descripción	Impacto	Estrategias de mitigación
Biológico	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (antracnosis)	Hongo que afecta fruto en poscosecha, muy dependiente de cadena de frío.	Pérdidas severas de calidad y hasta 100% del lote.	Redes biodegradables PLA/PBAT (60/40) con aceite esencial de pino (10–20%) y recubrimiento de quitosano (1%); reducción de incidencia un 80% y de germinación un 78%.
	<i>C. gloeosporioides</i> (alternativa biológica)	Patógeno controlado con recubrimientos naturales.	Mejora vida útil, elimina riesgo de brotes en frío.	Recubrimiento de alginato de sodio con <i>Meyerozyma caribbica</i> microencapsulada aplicado a 6 °C: control preventivo 100%.
	<i>Phytophthora cinnamomi</i> (pudrición radicular)	Oomiceto que destruye raíces y reduce absorción.	Reducción de vigor, rendimiento y longevidad.	Portainjertos resistentes “Dusa” tolerantes al patógeno.
	<i>Rosellinia necatrix</i> (pudrición blanca de raíces)	Hongo de suelo que causa muerte regresiva.	Pérdidas de plantas y baja productividad.	Aplicación de <i>Trichoderma harzianum</i> : elimina patógeno y estimula crecimiento.
	<i>Neofusicoccum parvum</i> (manchas negras en pulpa)	Hongo que afecta calidad interna del fruto.	Rechazos comerciales por pulpa defectuosa.	Uso de quitosano con aceite de canela, generan inhibición completa del crecimiento.
	<i>Oligonychus punicae</i> (ácaro marrón)	Plaga que reduce fotosíntesis y vigor.	Pérdidas en rendimiento y calidad.	Extracto etanólico de <i>Magnolia alejandrae</i> : reduce la oviposición y población.
	<i>Anastrepha ludens</i> (mosca de la fruta)	Oviposita en frutos, riesgo cuarentenario.	Rechazos en exportación; pérdidas económicas.	Quitina encapsulante: induce asfixia de huevos por neoplasia.
	Scolytinae (escolítinos)	Barrenadores que permiten entrada de patógenos.	Pérdida de vigor y vectores de enfermedades.	Trampas con atrayentes (α -copaeno + etanol) para detección temprana.
	Fallas en manipulación y cadena de frío	Transporte y almacenamiento inadecuado.	Pérdida de inocuidad y calidad; proliferación de patógenos.	Protocolos de manipulación; trazabilidad por finca/zona/productor; mantenimiento de cadena de frío.
	Muestreo inadecuado de patógenos	Subestima presencia microbiana en poscosecha.	Brotos no controlados; errores en diagnóstico.	Métodos de muestreo validados; capacitación en detección.
Químico	Uso de aditivos poscosecha (ej. 4-hexilresorcinol)	Posibles efectos tóxicos a largo plazo.	Riesgo sanitario; limitaciones normativas.	Protocolos de evaluación toxicológica crónica y combinada.
	Metales pesados (Hg, Pb, As) en zonas mineras	Contaminación de suelo y agua de riego.	Bioacumulación en frutos; rechazos y sanciones.	Prohibir riego contaminado; educación y técnicas de remediación.
	Prochloraz y metabolitos	Fungicida con metabolitos cancerígenos en agua.	Riesgo al consumidor y al ambiente.	Sustitución por bioformulados con <i>Bacillus spp</i> : inhibición >63%, reducen germinación 87%.
	Plaguicidas persistentes	Residuos acumulativos en suelo y agua.	Riesgo crónico, pérdida de mercados.	Regulación y fiscalización estricta; sustitución por biológicos.

Tipo de riesgo	Factor / agente	Descripción	Impacto	Estrategias de mitigación
	(mefenoxam, Prochloraz)			
	Agua de riego contaminada (As, Cd, Pb, Hg)	Entrada de contaminantes al fruto.	Riesgo sanitario; incumplimiento LMR.	Monitoreo periódico; tratamiento o cambio de fuente.
	Imidacloprid, COP (PCB)	Uso intensivo de pesticidas sistémicos.	Resistencia, toxicidad ambiental, sanciones.	MIP como estrategia principal; manejo correcto de envases.
	Errores de aplicación	Falta de capacitación en equipos y dosis.	Exposición laboral y residuos excesivos.	Capacitación en protocolos, uso de PPE y calibración de equipos.
	Insecticidas en agua (imidacloprid, carbendazim, 3-PBA)	Presencia en ríos y pozos (ej. Michoacán).	Riesgo ecosistémico y sanitario.	Barreras vegetales en áreas críticas como la RB Mariposa Monarca.
	Microplásticos de redes PET/HDPE	Persistencia ambiental de plásticos.	Contaminación de suelos y agua.	Redes PLA/PBAT con quitosano (biodegradables y antifúngicas).
Ambiental	Empaques plásticos convencionales	Residuos no compostables en la cadena.	Huella ambiental elevada.	Investigación y adopción de empaques biodegradables/compostables.
	Expansión no regulada del cultivo	Cambio de uso de suelo y deforestación.	Pérdida de biodiversidad y conflictos socioambientales	Políticas de uso de suelo; monitoreo satelital; colaboración interinstitucional.
	Falta de certificaciones ambientales	Ausencia de estándares de sostenibilidad.	Barreras de acceso a mercados internacionales.	Obtención de certificaciones ambientales y BPA.
	Dependencia de agroquímicos costosos	Fungicidas e insecticidas incrementan costos.	Riesgos económicos y de resistencia.	MIP para reducir uso y controlar plagas (<i>P. cinnamomi</i> , <i>O. punicae</i>).
Económico	Antracnosis por fallas en cadena de frío	Transporte sin refrigeración adecuada.	Pérdidas de hasta 100% del lote exportable.	Protocolos de cadena de frío; recubrimientos biológicos; redes activas biodegradables.
	Incumplimiento de LMR y COP (contaminantes orgánicos persistentes)	Residuos por encima de límites permitidos.	Rechazos y sanciones en mercados internacionales.	Monitoreo de residuos; certificaciones de calidad y cumplimiento normativo.

5. Conclusiones

El presente trabajo de investigación ofrece un aporte significativo al campo de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en la producción de aguacate Hass. Se identificaron un total de cuatro categorías principales de riesgos que afectan la cadena de valor del aguacate Hass: biológicos, químicos, ambientales y económicos. A través de la revisión sistemática de 52 artículos científicos publicados entre 2020 y 2025, se evidenció la presencia de patógenos fúngicos y

bacterianos, residuos de plaguicidas y metales pesados, así como impactos derivados de la expansión agrícola y de las barreras comerciales asociadas al incumplimiento de normativas internacionales. El análisis cualitativo, reflejado en el Diagrama de Causa-Efecto, permitió identificar las causas raíz del problema central, como la falta de capacitación del personal, la obsolescencia tecnológica y el uso de insumos de alto riesgo.

A partir de este análisis, se propusieron estrategias de mitigación fundamentadas en evidencia científica, dando respuesta directa a los objetivos planteados. Se demostró que la adopción de un Manejo Integrado de Plagas (MIP), la sustitución de plaguicidas de alto riesgo por bioformulados, y el uso de tecnologías de empaque biodegradables son medidas viables y eficientes para reducir los riesgos.

Los hallazgos de este trabajo muestran que las estrategias identificadas tienen un impacto en distintos niveles. A nivel local y regional, se evidenció que las prácticas propuestas pueden mejorar la inocuidad y la rentabilidad del cultivo. A nivel nacional e internacional, el análisis destacó la relevancia de los Límites Máximos de Residuos (LMR) y de las certificaciones de sostenibilidad como factores decisivos para mantener la competitividad del aguacate Hass en los mercados más exigentes. En conjunto, los resultados obtenidos consolidan un marco de referencia que orienta la producción hacia un modelo más seguro, sostenible y viable.

Referencias Bibliográficas

- Abd El-Moniem, E. A. A., Thabet, A. Y. I., Abdelaziz, A. M. R. A., Baiea, M. H. M., & Amin, O. A. (2022). Reducing chemical fertilizers partially by using natural alternative sources of organic fertilizers and its impact on “Hass” avocado trees. *Egyptian Journal of Chemistry*, 0(0), 0-0. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.135737.5978>
- Acerca del Codex—Codex Alimentarius*. (s. f.). Recuperado 3 de abril de 2025, de <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/about-codex/es/>
- Areiza, R. (2022, abril 12). *Revive controversia por siembra masiva de aguacate hass—Lanacion*. <https://www.lanacion.com.co/revive-controversia-por-siembra-masiva-de-aguacate-has/>
- Arvanitoyannis, I. S., & Savelides, S. C. (2006). *Application of failure mode and effect analysis and cause and effect analysis and Pareto diagram in conjunction with HACCP to a chocolate-producing industry: A case study of tentative GMO detection at pilot plant scale*. 42, 1265–1289, 25.
- Benavides, S., & Echeverri, J. (2014). Validación de un método para el análisis de residualidad de plaguicidas en aguacate Hass. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 3(2), Article 2.
- Bertin Mikolo, Michel Elenga, & Kédar Tsoumou. (2024). Causes of quality defects in cassava-based food production: An ishikawa diagram analysis. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 24(1), 750-558. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.24.1.2856>
- Castañeda, M., Avila, B. S., Gallego Ríos, S. E., & Peñuela, G. A. (2025a). Analysis of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in tropical fruits and soils from Antioquia, Colombia and health risk assessment by consumption. *Journal of Food Composition and Analysis*, 142, 107428. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107428>

- Castañeda, M., Avila, B. S., Gallego Ríos, S. E., & Peñuela, G. A. (2025b). Levels of heavy metals in tropical fruits and soils from agricultural crops in Antioquia, Colombia. A probabilistic assessment of health risk associated with their consumption. *Food and Humanity*, 4, 100503. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2025.100503>
- Castañeda, M., Avila, B. S., Gallego Ríos, S. E., & Peñuela, G. A. (2025c). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Tropical Fruits and Agriculture Soils: Sources, Levels, and Health Risk Assessment. *Environmental Forensics*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/15275922.2025.2490479>
- Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Martínez-Téllez, M. Á., Avelino-Ramírez, C., Gallegos-Santoyo, N. L., & Miranda-Ackerman, M. A. (2024). Control of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) growth in “Hass” avocado fruit using sachets filled with oregano oil-starch-capsules. *Future Foods*, 10, 100394. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100394>
- Correa-Pacheco, Z. N., Ventura-Aguilar, R. I., Zavaleta-Avejar, L., Barrera-Necha, L. L., Hernández-López, M., & Bautista-Baños, S. (2022). Anthracnose Disease Control and Postharvest Quality of Hass Avocado Stored in Biobased PLA/PBAT/Pine Essential Oil/Chitosan Active Packaging Nets. *Plants*, 11(17), 2278. <https://doi.org/10.3390/plants11172278>
- Del Castillo-González, L., Soudani, S., De La Cruz-Gómez, N., Manzanera, J. A., & Berrocal-Lobo, M. (2024). An improved method to study *Phytophthora cinnamomi* Rands zoospores interactions with host. *BMC Plant Biology*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05205-2>

Drew. (s. f.). *¿Qué es y para qué sirve un diagrama de causa efecto?* Recuperado 10 de abril de 2025, de <https://blog.wearedrew.co/concepts/que-es-y-para-que-sirve-un-diagrama-de-causa-efecto>

Durán-Peralta, E., Barrientos-Priego, A. F., Equihua-Martínez, A., Estrada-Venegas, E. G., Espíndola-Barquera, M. D. L. C., Castañeda-González, E. L., & Acuayte-Valdés, E. (2022). PREFERENCIA DE ALIMENTACIÓN DEL BARRENADOR *Macrocopturus aguacatae* KISSINGER (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EN VARIEDADES DE AGUACATE. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(4), 519. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.4.519>

Edraw. (2025, febrero 19). *Método 6M: ejemplo de diagrama de Ishikawa*. https://www.edrawsoft.com/es/6m-method.html?srsId=AfmBOoqOtABnnrWrVHy9l38jGk3_gEYB63spFPU3JntWYzYM4eTKX-JU

EFSA. (2014, abril 24). *Re-evaluation of 4-hexylresorcinol (E 586) as a food additive* / EFSA. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/3643>

EFSA Panel on Plant Health (EFSA PLH Panel), Bragard, C., Baptista, P., Chatzivassiliou, E., Di Serio, F., Gonthier, P., Jaques Miret, J. A., Justesen, A. F., Magnusson, C. S., Milonas, P., Navas-Cortes, J. A., Parnell, S., Potting, R., Reignault, P. L., Stefani, E., Thulke, H., Van der Werf, W., Vicent Civera, A., Yuen, J., ... MacLeod, A. (2023). Pest categorisation of *Eotetranychus sexmaculatus*. *EFSA Journal*, 21(3). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7898>

EFSA Panel on Plant Health (PLH), Bragard, C., Baptista, P., Chatzivassiliou, E., Di Serio, F., Gonthier, P., Jaques Miret, J. A., Justesen, A. F., MacLeod, A., Magnusson, C. S., Milonas,

- P., Navas-Cortes, J. A., Parnell, S., Potting, R., Reignault, P. L., Stefani, E., Thulke, H., van der Werf, W., Yuen, J., ... Vicent Civera, A. (2024). Risk assessment of *Retithrips syriacus* for the EU. *EFSA Journal*, 22(4). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8741>
- EFSA Panel on Plant Health (PLH), Bragard, C., Baptista, P., Chatzivassiliou, E., Di Serio, F., Gonthier, P., Jaques Miret, J. A., Justesen, A. F., MacLeod, A., Magnusson, C. S., Milonas, P., Navas-Cortes, J. A., Parnell, S., Potting, R., Stefani, E., Thulke, H., Van der Werf, W., Vicent Civera, A., Yuen, J., ... Reignault, P. L. (2023). Pest categorisation of *Pestalotiopsis microspora*. *EFSA Journal*, 21(12). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8493>
- EFSA Panel on Plant Health (PLH), Bragard, C., Baptista, P., Chatzivassiliou, E., Di Serio, F., Gonthier, P., Jaques Miret, J. A., Justesen, A. F., Sven Magnusson, C., Milonas, P., Navas-Cortes, J. A., Parnell, S., Potting, R., Reignault, P. L., Stefani, E., Thulke, H., Van der Werf, W., Civera, A. V., Yuen, J., ... MacLeod, A. (2022). Pest categorisation of *Maconellicoccus hirsutus*. *EFSA Journal*, 20(1). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7024>
- EFSA Panel on Plant Health (PLH), Bragard, C., Dehnen-Schmutz, K., Di Serio, F., Gonthier, P., Jacques, M., Jaques Miret, J. A., Justesen, A. F., MacLeod, A., Magnusson, C. S., Milonas, P., Navas-Cortes, J. A., Parnell, S., Potting, R., Thulke, H., Van der Werf, W., Civera, A. V., Yuen, J., Zappalà, L., ... Reignault, P. L. (2021). Pest categorisation of *Colletotrichum fructicola*. *EFSA Journal*, 19(8). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6803>
- ESGIInnova Group. (2020, agosto 24). *¿Cómo se puede llevar a cabo el análisis del riesgo ambiental?* <https://www.nueva-iso-14001.com/2020/08/como-realizar-el-analisis-del-riesgo-ambiental/>
- Esparza-Jiménez, S., García-Martínez, A., Ramírez-García, J. J., Vázquez-Armijo, J. F., & Sánchez-Meza, J. C. (2024). Caracterización del uso de plaguicidas en el cultivo de

- aguacate en Temascaltepec, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40, 603-618. <https://doi.org/10.20937/RICA.55003>
- FAO. (s. f.). *Límites máximos de residuos (LMR) | CODEXALIMENTARIUS FAO-WHO*. Recuperado 10 de abril de 2025, de <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/maximum-residue-limits/es/>
- Farmonaut. (2025, junio 18). *Productos químicos para la agricultura: Riesgos de su uso inadecuado* [Farmonaut]. <https://farmonaut.com/remote-sensing/chemicals-for-agriculture-risks-of-improper-use-in-farming>
- Funes, C. F., Larach, A., Besoain, X., Serrano, D. D., Hadad, C., Pedreschi, R., Van Nhien, A. N., & Fuentealba, C. (2023a). Active coatings based on oxidized chitin nanocrystals and silk fibroins for the control of anthracnose in ‘Hass’ avocados. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126673. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126673>
- Funes, C. F., Larach, A., Besoain, X., Serrano, D. D., Hadad, C., Pedreschi, R., Van Nhien, A. N., & Fuentealba, C. (2023b). Active coatings based on oxidized chitin nanocrystals and silk fibroins for the control of anthracnose in ‘Hass’ avocados. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126673. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126673>
- García Martínez, E. (2024). *Diagrama de Ishikawa: Una herramienta para identificar y resolver problemas en la industria agroalimentaria*. Departamento de Tecnología de Alimentos. <https://riunet.upv.es/entities/publication/3603d3d1-3742-4217-8950-d8e3cf44bfb9/full>
- García-Frutos, R., Martínez-Chávez, L., Cabrera-Díaz, E., Gutiérrez-González, P., Montañez-Soto, J. L., Varela-Hernández, J. J., & Martínez-González, N. E. (2020). Salmonella, Listeria monocytogenes, and Indicator Microorganisms on Hass Avocados Sold at Retail

- Markets in Guadalajara, Mexico. *Journal of Food Protection*, 83(1), 75-81.
<https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-19-273>
- Garza, D. (2023, julio 7). *Consecuencias de un mal sistema de riego—Viga Innovación Hidráulica*.
<https://www.vigaferretera.com/blog/consecuencias-de-un-mal-sistema-de-riego/>
- González-Gutiérrez, K. N., Ragazzo-Sánchez, J. A., & Calderón-Santoyo, M. (2021). Application of stressed and microencapsulated *Meyerozyma caribbica* for the control of *Colletotrichum gloeosporioides* in avocado (*Persea americana* Mill. Cv. Hass). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(5), 1243-1251. <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00487-2>
- González-Gutiérrez, K., Ragazzo-Sanchez, J., & Calderón-Santoyo, M. (2021). Application of stressed and microencapsulated *Meyerozyma caribbica* for the control of *Colletotrichum gloeosporioides* in avocado (*Persea americana* Mill. Cv. Hass).
<https://doi.org/10.1007/s41348-021-00487-2>
- Granada, D., López-Lujan, L., Ramírez-Restrepo, S., Morales, J., Peláez-Jaramillo, C., Andrade, G., & Bedoya-Pérez, J. C. (2020). Bacterial extracts and bioformulates as a promising control of fruit body rot and root rot in avocado cv. Hass. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(3), 748-758. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(19\)62720-6](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(19)62720-6)
- Greco, L., Janossy, J., Jarrah, S., Kazocina, A., Oriol, J., & Reich, H. (2023). *Guidance on the assessment of pesticide residues in rotational crops* (p. 86).
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8225>
- Health (PLH), E. P. on P., Bragard, C., Baptista, P., Chatzivassiliou, E., Di Serio, F., Gonthier, P., Jaques Miret, J. A., Justesen, A. F., Magnusson, C. S., Milonas, P., Navas-Cortes, J. A., Parnell, S., Potting, R., Reignault, P. L., Stefani, E., Thulke, H.-H., Van der Werf, W.,

- Vicent Civera, A., Yuen, J., ... MacLeod, A. (2023). Pest categorisation of *Nipaecoccus viridis*. *EFSA Journal*, 21(1), e07770. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7770>
- Hebishy, E., & Tas, A. A. (2023). 4-hexylresorcinol and sodium metabisulphite-based edible coatings for avocado shelf-life extension. *Applied Food Research*, 3(1), 100289. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100289>
- Hernández, Y., García, M., & Mejías, R. (2022a). Anatomical changes caused by *Ralstonia solanacearum* Smith and *Pectobacterium carotovorum* (Jones) in *Solanum tuberosum* L. stems. *Revista de La Facultad de Agronomía, Universidad Del Zulia*, 39(4), e223947. [https://doi.org/10.47280/revfacagron\(luz\).v39.n4.02](https://doi.org/10.47280/revfacagron(luz).v39.n4.02)
- Hernández, Y., García, M., & Mejías, R. (2022b). Anatomical changes caused by *Ralstonia solanacearum* Smith and *Pectobacterium carotovorum* (Jones) in *Solanum tuberosum* L. stems. *Revista de La Facultad de Agronomía, Universidad Del Zulia*, 39(4), e223947. [https://doi.org/10.47280/revfacagron\(luz\).v39.n4.02](https://doi.org/10.47280/revfacagron(luz).v39.n4.02)
- Herrera-González, J. A., Ramos-Bell, S., Bautista-Baños, S., Velázquez-Estrada, R. M., Rayón-Díaz, E., Martínez-Batista, E., & Gutiérrez-Martínez, P. (2024). Chitosan and GRAS Substances: An Alternative for the Control of *Neofusicoccum parvum* In Vitro, Elicitor and Maintenance of the Postharvest Quality of Avocado Fruits. *Horticulturae*, 10(7), 687. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10070687>
- Infeción por listeria—Mayo Clinic* (2025, mayo 7) Recuperado 15 de julio de 2025, de <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/listeria-infection/symptoms-causes/syc-20355269>

Infección por salmonela—Síntomas y causas—Mayo Clinic. (2023, noviembre 27). Recuperado 15 de julio de 2025, de <https://newsnetwork.mayoclinic.org/discussion/signs-and-symptoms-of-salmonella-infection/>

Infobae. (2021, agosto 4). *Colombia tuvo un incremento en la exportación de aguacate Hass de un 135 % en dos años.* infobae. <https://www.infobae.com/america/colombia/2021/08/04/colombia-tuvo-un-incremento-en-la-exportacion-de-aguacate-hass-de-un-135-en-dos-anos/>

Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. (2020). *Informe de resultados del plan de monitoreo de residuos de plaguicidas químicos en aguacate.* <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/informe-plan-residuos-aguacate-2020.aspx>

Instituto Colombiano Agropecuario—ICA. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2025, de <https://www.ica.gov.co/el-ica/funciones>

Intagri. (s. f.). *Factores que Afectan la Aplicación Eficiente de Plaguicidas | Intagri S.C.* Recuperado 30 de julio de 2025, de <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/factores-que-afectan-la-aplicacion-eficiente-de-plaguicidas>

INVIMA. (s. f.). *Otros alimentos y bebidas INVIMA.* Recuperado 3 de abril de 2025, de <https://www.invima.gov.co/productos-vigilados/alimentos-y-bebidas-alcoholicas/otros-alimentos-y-bebidas>

Íñiguez-Moreno, M., Ragazzo-Sánchez, J. A., Barros-Castillo, J. C., Sandoval-Contreras, T., & Calderón-Santoyo, M. (2020). Sodium alginate coatings added with *Meyerozyma caribbica*: Postharvest biocontrol of *Colletotrichum gloeosporioides* in avocado (*Persea*

- americana Mill. cv. Hass). *Postharvest Biology and Technology*, 163, 111123.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111123>
- Kurbetli, Í. (2024a). Effects of boron and mfenoxam on growth of the isolates of *Phytophthora cinnamomi* obtained from avocado orchards. *Journal of Plant Pathology*, 106(2), 623-631.
<https://doi.org/10.1007/s42161-024-01598-z>
- Kurbetli, Í. (2024b). Effects of boron and mfenoxam on growth of the isolates of *Phytophthora cinnamomi* obtained from avocado orchards. *Journal of Plant Pathology*, 106(2), 623-631.
<https://doi.org/10.1007/s42161-024-01598-z>
- Lázaro-Dzul, M. O., Equihua-Martínez, A., Romero-Nápoles, J., González-Hernández, H., Alvarado-Rosales, D., Castañeda-Vildózola, A., & Suárez Espinosa, J. (2023). Fluctuación poblacional de Scolytinae (Coleoptera: Curculionidae) en huertos de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Michoacán, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 49(2).
<https://doi.org/10.25100/socolen.v49i2.12526>
- López-Guerrero, M. Á., Chacón-Hernández, J. C., Olazarán-Santibáñez, F. E., Segura-Martínez, Ma. T. D. J., Heinz-Castro, R. T. Q., & Delgado-Martínez, R. (2024). Effect of *Magnolia alejandrae* on *Oligonychus punicae* Females². *Southwestern Entomologist*, 49(3).
<https://doi.org/10.3958/059.049.0304>
- Mafulul, S. G., Joel, E. B., & Gushit, J. (2023a). Health risk assessment of potentially toxic elements (PTEs) concentrations in soil and fruits of selected perennial economic trees growing naturally in the vicinity of the abandoned mining ponds in Kuba, Bokkos Local Government Area (LGA) Plateau State, Nigeria. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(8), 5893-5914. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01600-0>

- Mafulul, S. G., Joel, E. B., & Gushit, J. (2023b). Health risk assessment of potentially toxic elements (PTEs) concentrations in soil and fruits of selected perennial economic trees growing naturally in the vicinity of the abandoned mining ponds in Kuba, Bokkos Local Government Area (LGA) Plateau State, Nigeria. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(8), 5893-5914. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01600-0>
- Magagula, P., Taylor, N., Swart, V., & Van Den Berg, N. (2021). Efficacy of Potential Control Agents Against *Rosellinia necatrix* and Their Physiological Impact on Avocado. *Plant Disease*, 105(11), 3385-3396. <https://doi.org/10.1094/pdis-08-20-1751-re>
- Magallón-Andalón, C. G., Calderón-Santoyo, M., Balois-Morales, R., Ochoa-Jiménez, V. A., Casas-Junco, P. P., López-Guzmán, G. G., Pérez-Ramírez, I. F., Palomino-Hermosillo, Y. A., & Bautista-Rosales, P. U. (2024). Antagonistic potential of *Bacillus* spp. For the control of *Colletotrichum gloeosporioides* on avocado (*Persea americana* Mill.) «Hass». *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131(5), 1695-1706. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00959-1>
- Marmolejo Gómez, C. F. (2020). *Propuesta metodológica de gestión de riesgos para el transporte de aguacate hass desde la línea de empaque hasta los puertos en el Valle del Cauca*. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/785a7870-8f84-40a1-bb0c-28fd25cde985>
- Merlo-Reyes, A., Baduel, C., Duwig, C., & Ramírez, M. I. (2024a). Risk assessment of pesticides used in the eastern Avocado Belt of Michoacan, Mexico: A survey and water monitoring approach. *Science of The Total Environment*, 916, 170288. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170288>

- Merlo-Reyes, A., Baduel, C., Duwig, C., & Ramírez, M. I. (2024b). Risk assessment of pesticides used in the eastern Avocado Belt of Michoacan, Mexico: A survey and water monitoring approach. *Science of The Total Environment*, *916*, 170288. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170288>
- Ministerio de Trabajo y Economía social. (s. f.). *Sector Agrario—Riesgos biológicos—INSST*. Ministerio de Trabajo y Economía social. Recuperado 15 de julio de 2025, de <https://www.insst.es/materias/sectores-de-actividad/agrario/riesgos-biologicos>
- Moraes, A. F. G., Micheletti, L. B., Santoro, M. B., Teixeira Dos Santos, N., Avilés, T. C., & Da Silva, S. R. (2022). Horticultural performance of ‘Hass’ avocado grafted onto seedling and clonal rootstocks under tropical wet-dry climate conditions. *Scientia Horticulturae*, *302*, 111155. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111155>
- Mosquera, S., Cataño, C., Saavedra, S., & Villegas-Escobar, V. (2023). Characterization of Fungal Communities Associated with the Lenticel-Like Damage of ‘Hass’ Avocados in Two Geographical Locations in Colombia. *Phytobiomes Journal*, *7*(4), 424-434. <https://doi.org/10.1094/pbiomes-11-22-0083-r>
- Muro-Medina, C. V., García-Morales, S., Garza-García, J. J., Hernández-Díaz, J. A., Peña-Magaña, C. S., Morales-García, J. L., & León-Morales, J. M. (2024). In vitro antifungal activity of saponins-rich fractions from *Enterolobium cyclocarpum* and *Amphipterygium adstringens* against *Colletotrichum gloeosporioides*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, *131*(3), 1081-1086. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00869-2>
- Palacios-Joya, L. P., Rodríguez-Arévalo, K. A., Fernando Martínez, M., Murcia-Riaño, N., & Rodríguez-Mora, D. M. (2025). Phytophthora species causing root rot in avocado seedlings

- at Colombian nurseries: Morphological, molecular, and pathogenic analysis. *Scientia Agropecuaria*, 16(1), 113-121. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.010>
- Panchez, R., Saquinaula, J., López, J., Cabal, A., & Vera, D. (2021). Análisis en Procesos de Producción del Sector Bananero de acuerdo a la Norma Sostenible RAS e ISO (14001-9001) durante la emergencia sanitaria Covid-19. *Ecuadorian Science Journal*, 5(Extra 4), 42-60.
- PRISMA statement*. (s. f.). Recuperado 15 de julio de 2025, de https://www-prisma--statement-org.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Rainforest Alliance. (s. f.). Certificación de Agricultura Sostenible. *Rainforest Alliance | Para empresas*. Recuperado 25 de julio de 2025, de <https://www.rainforest-alliance.org/es/certificacion/>
- Ramirez, S. (2024, noviembre 29). *Territorio Aguacate 2024: Colombia's path to compete in the world stage and opportunities ahead*. FreshFruitPortal. <https://www.freshfruitportal.com/news/2024/11/29/territorio-aguacate-2024-colombias-path-to-compete-in-the-world-stage-and-opportunities-ahead/>
- Ramírez-Gil, J. G., Castañeda-Sánchez, D., & Morales-Osorio, J. G. (2021). Edaphic factors associated with the development of avocado wilt complex and implementation of a GIS tool for risk visualization. *Scientia Horticulturae*, 288, 110316. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110316>
- Ramírez-Gil, J., Morales-Osorio, J., & Peterson, A. (2021). The distribution of *Phytophthora cinnamomi* in the Americas is related to its main host (*Persea americana*), but with high potential for expansion. *PHYTOPATHOLOGIA MEDITERRANEA*, 60(3), 521-534. <https://doi.org/10.36253/phyto-12327>

Revista Semana. (2021, julio 11). *Aguacate: El “Oro Verde” que envenena el agua del Quindío*.

<https://www.semana.com/sostenible/impacto/informe-especial/articulo/exclusivo-aguacate-el-oro-verde-que-envenena-el-agua-del-quindio/202124/>

Rojo, E. (2024, diciembre 5). *Ricardo Uribe, el ‘tropicalizador’ del aguacate Hass*. El País

América Colombia. <https://elpais.com/america-colombia/branded/los-lideres-de-colombia/2024-12-05/ricardo-uribe-el-tropicalizador-del-aguacate-hass.html>

Salesforce. (2024, agosto 9). Diagrama de Ishikawa: Qué es y cómo aplicarlo. *Salesforce*.

<https://www.salesforce.com/mx/blog/diagrama-de-ishikawa/>

Sarmiento-Sarmiento, G., Manrique-Nuñez, H., & Lipa-Mamani, L. (2023). Residues and

dissipation of imidacloprid in avocado fruit. *Revista de La Facultad de Agronomía de La Universidad Del Zulia*, 40(1), e234004-e234004.

Tapia-Vargas, L. M., Hernández-Valencia, A. S., Gaucin-Delgado, J. M., García-Sánchez, H. D.,

Zúñiga-Valenzuela, R., Galarza-Mendoza, J. L., & Preciado-Rangel, P. (s. f.). Nutrient Content in Avocado Fruits: Effect of Climate, Water Management, and Flowering Type
Contenido de Nutrientes en Frutos de Aguacate: Efecto del Clima, Manejo de Agua y Tipo de Floración. . . *E*.

Velázquez-Martínez, G. D. C., González-Hernández, H., Equihua-Martínez, A., Lomeli, J. R.,

Rojas, J. C., & López-Collado, J. (2023). Captures of *Stenoma catenifer* (Lepidoptera: Depressariidae) are Influenced by Pheromone Trap Density in Hass Avocado Orchards. *Florida Entomologist*, 105(4). <https://doi.org/10.1653/024.105.0401>

Villamil, S. (2024, noviembre 18). La Fruta de la Prosperidad: El Fenómeno del Aguacate Hass

en Colombia. *ANeIA*. <https://aneia.uniandes.edu.co/la-fruta-de-la-prosperidad-el-fenomeno-del-aguacate-hass-en-colombia/>

- Virgen, M. O. E., Solorio, A. B., Velasco, C. R., Falcón-Brindis, A., Medina, K. B. A. D., Parra, M. L. D. B., Miranda, L. D., Bermúdez, A. R., & De Dios Avila, N. (2022). Bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae) associated with avocado in Nayarit, Mexico. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(2), 1547-1553. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00674-6>
- Wheeler, C. E., Mitchard, E. T. A., Nalasco Reyes, H. E., Iñiguez Herrera, G., Marquez Rubio, J. I., Carstairs, H., & Williams, M. (2021). A New Field Protocol for Monitoring Forest Degradation. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.655280>
- Zambrano-Moreno, D. C., Ramón-Rodríguez, L. F., Van Strahlen-Pérez, M., & Bonilla-Buitrago, R. R. (2015). Industria de Bionsumos de uso agrícola en Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 59-67.
- Zwane, Z. R., Gubba, A., & Jooste, A. E. C. (2023). The effect of avocado sunblotch disease (ASBD) on tree morphology, fruit maturity, yield and quality of ‘Hass’ avocado in South Africa. *European Journal of Plant Pathology*, 167(3), 287-299. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02705-z>

Apéndices

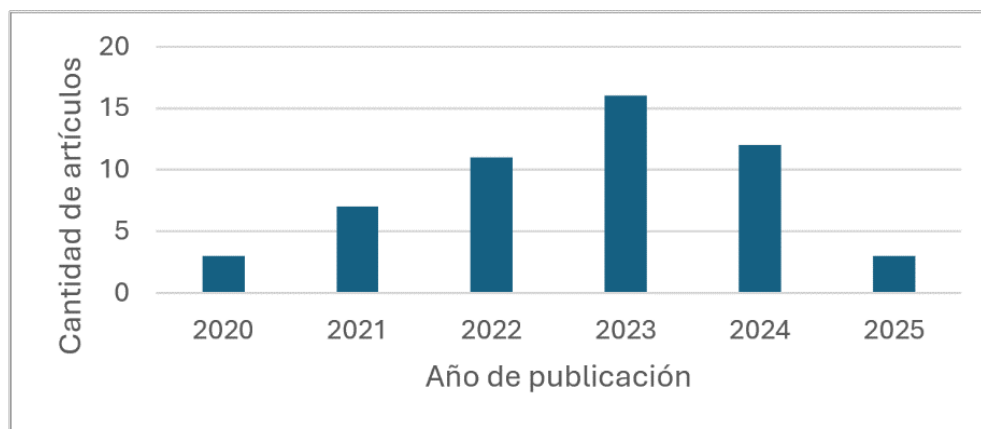
Apéndice A

Ecuaciones y resultados de búsqueda en bases de datos

ECUACIÓN	NÚMERO DE ARTÍCULOS			
	SCIENCE DIRECT	WEB OF SCIENCE	SCOPUS	ACS
Avocado AND Hass	448	424	482	28
Persea americana OR avocado Hass	246	988	313	18
Avocado AND Hass AND Risk	209	45	22	6
Avocado AND Hass AND Risk OR Hazard	18	988	22	5910
Persea americana OR Hass AND avocado AND Risk	1344	834	22	35

Apéndice B

Artículos publicados por año relacionados con la presencia de sustancias nocivas en el cultivo y distribución de aguacate Hass



Apéndice C

Porcentaje de publicaciones totales desde 2020-2025

