



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

**MICORRIZAS, ELICITORES Y BIOESTIMULANTES EN
HORTALIZAS: FUNCIONES Y APLICACIONES EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SOSTENIBLE
EN AMÉRICA LATINA**

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Elias Daniel Cochea Quinde

LA LIBERTAD, 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

**MICORRIZAS, ELICITORES Y BIOESTIMULANTES EN
HORTALIZAS: FUNCIONES Y APLICACIONES EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SOSTENIBLE
EN AMÉRICA LATINA**

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Elias Daniel Cochea Quinde

Tutora: Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD

LA LIBERTAD, 2025

TRIBUNAL DE GRADO

Componente práctico de examen complejo presentado por **ELIAS DANIEL COCHEA QUINDE** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 07/07/2025

Ing. Verónica Andrade Yucailla, PhD.
DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Blgo. Javier Soto Valenzuela, PhD.
PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Agron. Nadia Quevedo Pinos PhD.
PROFESORA TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Agron. Nadia Quevedo Pinos PhD.
PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Washington Perero Vera, Mgtr
ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo Práctico de Examen de Grado de carácter complejo Titulado **“MICORRIZAS, ELICITORES Y BIOESTIMULANTES EN HORTALIZAS: FUNCIONES Y APLICACIONES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SOSTENIBLE EN AMÉRICA LATINA”** y elaborado por **Elias Daniel Cochea Quinde**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

Firma del estudiante

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios, por su guía y fortaleza. A mis padres, Emma Quinde Malavé y Manuel Cochea Lino, por su amor incondicional, sacrificio y todo el apoyo que me brindaron. Gracias por ser los pilares fundamentales en mi vida. A mis hermanas, Yadira y Evelyn y mis hermanos Néstor y Cristian, quienes han estado a mi lado, brindándome consejos y motivándome a seguir.

Este es resultado de su dedicación y amor brindado. Gracias familia Cochea por creer y confiar en mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar, a Dios, quien me ha otorgado salud. A mis padres, Emma Quinde Malavé y Manuel Cochea Lino, por su amor incondicional, sacrificio y Apoyo incondicional que me brindaron. Gracias por ser los pilares fundamentales en mi vida. A mis hermanas, Yadira y Evelyn y mis hermanos Néstor y Cristian, por el apoyo, acompañarme y brindarme consejos, y por estar siempre a mi Lado. A mis sobrinos que este logro los impulse a seguir y no rendirse. A mi tía y primos. También deseo expresar mi gratitud a mi tutora, la Ing. Nadia Quevedo Pinos, por su dedicación y la paciencia en el proceso de elaboración de este documento.

Agradezco a los docentes, por compartir su sabiduría y guiarme durante todo este proceso, finalmente quiero agradecer a mis compañeros por su apoyo y momentos compartidos gracias por ser parte de este logro.

Elias Daniel Cochea Quinde

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el rol de las micorrizas arbusculares, los elicitores y los bioestimulantes en la promoción del crecimiento y la defensa de hortalizas, evaluando su aplicación y eficacia en sistemas de producción convencional, orgánico y agroecológico en América Latina por lo tanto se optó en realizar una revisión bibliográfica narrativa de enfoque temático, analizando y recopilando estudios científicos extraídos de base de datos académicas como Scopus, Web of Science, Google Scholar, SciELO y RedALyC. Los resultados demuestran que estos bioinsumos mejoran la absorción de nutrientes, tolerando así el estrés biótico y abiótico activando mecanismos tanto fisiológicos como bioquímicos en las plantas, al comparar su eficiencia en distintos cultivos se observó un impacto positivo en sistemas agroecológicos y orgánicos ya que los insumos naturales se complementan significativamente con las prácticas sostenible. También se identificó enfoques que contribuyen a la seguridad alimentaria y la soberanía, actuando como soluciones sostenibles a los cambios climáticos y la degradación del suelo. La combinación de estos agentes representa una estrategia favorable en la intensificación de los sistemas hortícolas en América Latina.

Palabras clave: bioinsumos agrícolas, interacción planta-microorganismo, resistencia inducida, tecnología agroecológica.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the role of arbuscular mycorrhizae, elicitors, and biostimulants in promoting the growth and defense of vegetables, evaluating their application and effectiveness in conventional, organic, and agroecological production systems in Latin America. Therefore, we opted to conduct a thematic narrative literature review, analyzing and compiling scientific studies extracted from academic databases such as Scopus, Web of Science, Google Scholar, SciELO, and RedALyC. The results show that these bio-inputs improve nutrient absorption, thus tolerating biotic and abiotic stress by activating both physiological and biochemical mechanisms in plants. When comparing their efficiency in different crops, a positive impact was observed in agroecological and organic systems, as natural inputs significantly complement sustainable practices. Approaches that contribute to food security and sovereignty were also identified, acting as sustainable solutions to climate change and soil degradation. The combination of these agents represents a favorable strategy for the intensification of horticultural systems in Latin America.

Keywords: agricultural bio-inputs, plant-microorganism interaction, induced resistance, agroecological technology.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
	Problema	2
	Objetivos.....	2
	Objetivo general.....	2
	Objetivos Específicos.....	2
2	MÉTODOLOGÍA	3
3	REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1	Conceptualización de bioinsumos y clasificación general	5
3.1.1	Clasificación de Bioestimulantes.....	5
3.2	Mecanismos fisiológicos y bioquímicos de acción en plantas	6
3.2.1	Micorrizas arbusculares: funciones y mecanismos.....	6
3.2.2	Tpos de elicitores: endógenos, exógenos, naturales y sintéticos	7
3.2.3	Endógenos.....	8
3.2.4	Exógenos.....	8
3.2.5	Naturales	8
3.2.6	Sintéticos.....	8
3.3	Interacción suelo-planta-microorganismos hortalizas	9
3.4	Factores que influyen en la eficacia de bioinsumos	9
3.5	Efectos en crecimiento, nutrición, rendimiento y sanidad	10
3.6	Casos de estudio en tomate, lechuga, pimiento, brócoli, etc.	10
3.7	Sinergias entre micorrizas, elicitores y bioestimulantes	11
3.8	Comparación de eficacia bajo distintos sistemas de producción	13
3.8.1	Uso de elicitores e investigaciones en la agricultura convencional.....	13
3.8.2	Aplicaciones de elicitores en sistemas orgánicos certificados.....	13
3.8.3	Enfoque agroecológico: visión integral y resiliencia del sistema.....	14
3.8.4	Análisis comparativo y evaluación entre diferentes sistemas productivos.....	14
3.9	Retos técnicos y sociales en la adopción de estas tecnologías	17
3.9.1	Evaluación económica y percepción de agricultores sobre bioinsumos.....	17
3.10	Perspectivas futuras	18
3.10.1	Avances en formulaciones e inoculantes comerciales	18
3.11	Potencial de especies vegetales y micorrícicas nativas	18
3.12	Políticas públicas, normativas y apoyo a la investigación en América Latina. ..	19
4	DISCUSIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO	20
5	CONCLUSIONES	23
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efectos de diferentes elicitores en cultivos hortícolas en América Latina.	10
Tabla 2. Sinergia y efecto de bioinsumos en los sistemas de producción de América latina	13
Tabla 3. Comparación de aspectos clave entre sistemas de producción orgánicos certificados y convencionales en América Latina.....	14
Tabla 4. Diferencias y análisis sobre el aprovechamiento de bioinsumos en los sistemas de producción de América Latina	15
Tabla 5. Comparativa y eficacia de bioinsumos en sistemas agrícolas de América latina.	16
Tabla 6. Avances y desafíos en el desarrollo de bioinsumos en América Latina.....	19
Tabla 7. Análisis comparativo de efectos de diferentes bioinsumos en cultivos hortícolas de América Latina	21

1 INTRODUCCIÓN

En América Latina, los sistemas de producción convencionales optan por el uso de prácticas sostenibles que favorecen la calidad del suelo y contribuir a la mitigación del impacto ambiental. Estos agentes o bioinsumos como biofertilizantes, microorganismos benéficos y elicitores se integraron como herramientas clave en la fisiología y el rendimiento de los sistemas de producción agrosostenibles. Estos agentes biológicos fortalecen la interacción entre planta, suelo y microorganismos (Holmes *et al.*, 2021).

Por ejemplo, en Brasil, la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa) ha desarrollado cepas de bacterias como *Bradyrhizobium* y *Azospirillum brasilense* que promueven el crecimiento vegetal y reducen la dependencia de fertilizantes sintéticos (Mansur, 2024). Asimismo, en Bolivia, se ha documentado el uso exitoso de hongos del género *Trichoderma* y micorrizas para mejorar la absorción de nutrientes y el control biológico de plagas (Hernández *et al.*, 2019).

La simbiosis entre las micorrizas arbusculares y las raíces de los cultivos promueven una mejora en la absorción de nutrientes y refuerzan el sistema inmunológico vegetal estimula el desarrollo radicular y ayuda a la estabilidad en fincas agroecológicas y proyectos de agricultura familiar. Su efecto en cultivos hortícolas como tomate, lechuga o pimiento ha sido ampliamente documentado en contextos de bajos insumos y estrés hídrico (Torre *et al.*, 2016).

Dado la creciente demanda de la población por productos orgánicos y de sistemas productivos sostenibles, el estudio conjunto de micorrizas, elicitores y bioestimulantes es factor importante en sistemas convencionales, orgánicos y agrosostenibles para comprender la capacidad y el potencial de estos agentes en la agricultura. Este trabajo de revisión bibliográfica aborda las funciones estos agentes y su aplicación práctica en diversos sistemas de producción hortícola, considerando el impacto en lo agronómico, económico y ecológico. Además, se analizan casos de éxito en América Latina, con el fin de proponer estrategias de implementación ajustadas a realidades locales.

Problema

¿Cómo contribuyen las micorrizas arbusculares, los elicitores y los bioestimulantes al crecimiento y defensa de cultivos hortícolas, y cuál es su aplicabilidad en sistemas de producción convencionales, orgánicos y agroecológicos en América Latina?

Objetivos

Objetivo general

Analizar el rol de las micorrizas arbusculares, los elicitores y los bioestimulantes en la promoción del crecimiento y la defensa de hortalizas, evaluando su aplicación y eficacia en sistemas de producción convencional, orgánico y agroecológico en América Latina.

Objetivos Específicos

1. Describir los mecanismos fisiológicos y bioquímicos activados por micorrizas, elicitores y bioestimulantes en plantas hortícolas.
2. Comparar la eficacia de estos agentes en la mejora del crecimiento, rendimiento y defensa de hortalizas bajo distintos sistemas de producción.
3. Identificar beneficios, limitaciones y perspectivas del uso combinado de micorrizas, elicitores y bioestimulantes para una horticultura sostenible.

2 MÉTODOLÓGÍA

Esta investigación se llevó a cabo bajo la modalidad de revisión bibliográfica de tipo narrativa, con un enfoque temático, cuyo objetivo fue recopilar, organizar y analizar información científica sobre el uso de micorrizas arbusculares, elicitores y bioestimulantes en cultivos hortícolas dentro de sistemas de producción agrícola sostenibles en América Latina.

2.1. Estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó entre marzo y mayo de 2025, utilizando bases de datos académicas reconocidas por su rigurosidad científica, tales como: Scopus, Web of Science, Google Scholar, SciELO y RedALyC. También se consultaron fuentes complementarias como repositorios institucionales, revistas científicas especializadas y documentos técnicos publicados por organismos de investigación y desarrollo agropecuario en América Latina.

Para asegurar la pertinencia y calidad del documento se emplearon varias combinaciones de palabras claves como: “micorrizas arbusculares”, “elicitores vegetales”, “bioestimulante”, “hortalizas”, “agricultura sostenible”, “sistemas agroecológicos” y “América Latina”, también por medio de operadores booleanos (AND, OR). Se aplicaron filtros por idiomas español e inglés, tipo de documento (artículos científicos y revisiones) y periodo de publicación (2015-2025).

2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron estudios originales y revisiones bibliográficas que cumplieran con los siguientes criterios:

- Publicados entre 2015 y 2025;
- En idioma español o inglés;
- Revisión por pares;
- Aplicación de bioinsumos en cultivos hortícolas;
- Contexto de producción agrícola sostenible en América Latina.

Se excluyeron documentos sin acceso completo, tesis de pregrado no indexadas, notas editoriales, resúmenes de congresos sin datos completos y artículos duplicados.

2.3. Organización y análisis de la información

La información recolectada fue clasificada y referenciada mediante el software Zotero, lo que permitió una correcta clasificación y citación de las fuentes. Posteriormente, se sistematizó el contenido por categorías temáticas relacionadas con los objetivos específicos del trabajo:

- Mecanismos de acción de micorrizas, elicitors y bioestimulantes;
- Efectos sobre el crecimiento, nutrición y sanidad vegetal;
- Aplicación comparada en sistemas convencionales, orgánicos y agroecológicos.

La síntesis de los hallazgos se realizó mediante matrices de comparación, resúmenes analíticos y elaboración de tablas explicativas, permitiendo contrastar evidencias científicas y extraer conclusiones integradoras. Este enfoque facilitó la identificación de tendencias, beneficios, limitaciones y perspectivas de uso de estos agentes en el contexto hortícola latinoamericano.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Conceptualización de bioinsumos y clasificación general

A lo largo de estas últimas décadas los bioestimulantes han ido creciendo considerablemente según du Jardín (2015), se podría decir que estos son sustancia o microorganismo que al aplicarse a las plantas tienden a tener beneficios positivos como la absorción, asimilación de nutrientes, también incrementa la tolerancia de las plantas frente al estrés abiótico y biótico. Esta definición ha sido ampliamente aceptada y ha influido en la legislación europea. No obstante, debido a la estandarización y análisis científico sobre la eficacia de estos productos en los ámbitos agroecológicos, su aplicación práctica presenta algunos retos.

Suarez (2022) da a conocer que los bioinsumos son un gran apoyo a los agricultores y beneficia al medio ambiente con sus diferentes ventajas que posee, este autor también da a conocer el protocolo que se debe de seguir para la fabricación de estos y la adecuación del lugar que se van a almacenar.

3.1.1 Clasificación de Bioestimulantes

Los bioestimulante se puede clasificar según su origen y composición, según du Jardín (2015) se puede ordenar de la siguiente manera:

- **Sustancias húmicas:** Estas sustancias son compuestas por ácidos húmicos y fúlvicos obteniéndose de la materia orgánica en descomposición ayudando así a mejorar la absorción de nutrientes y estructura del suelo.
- **Extracto de algas y plantas:** estos compuestos se conocen por ayudar a las plantas en su crecimiento, absorción de nutrientes, resistencia al estrés y activa el mecanismo de defensa frente a otros patógenos, estos se componen por polisacáridos, oligosacáridos entre otros.
- **Aminoácidos y péptidos:** Obtenidos por hidrólisis de proteínas, promueven la síntesis de proteínas y el metabolismo vegetal.
- **Biopolímeros:** Como el quitosano, que actúan como elicitores de defensas naturales en las plantas.
- **Elementos inorgánicos:** Como el silicio, que fortalece las paredes celulares y mejora la tolerancia al estrés abiótico.

3.2 Mecanismos fisiológicos y bioquímicos de acción en plantas

3.2.1 Micorrizas arbusculares: funciones y mecanismos

Zhu *et al.* (2016), establecen que, las micorrizas arbusculares (MA) son asociaciones entre hongos, es decir realiza una simbiosis con las plantas (raíces). Esta es una asociación de beneficio mutuo donde: el hongo obtiene carbohidratos producidos por el cultivo, mientras que la otra parte en este caso el cultivo recibe nutrientes esenciales del suelo, a través de las hifas del hongo. Además, las MA mejoran la estructura del suelo, aumentando su porosidad y dando una mayor capacidad de retención de agua, lo que favorece el crecimiento de los agroecosistemas y una de las principales causas de la caída del CO atmosférico₂ fue el desarrollo de las plantas terrestres y el surgimiento de los ecosistemas forestales (Morris *et al.*, 2015).

Estas asociaciones son fundamentales para la salud de las plantas y tienen un papel crucial en varios procesos ecológicos:

- **Mejoramiento de la absorción**

Algunos autores como Taylor *et al.* (2015) indican que las micorrizas arbusculares aumenta la superficie radicular mediante las simbiosis, esto se da porque existe la expansión del micelio fúngico en el suelo ayudando así a la captura de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y micronutrientes. Sosa & García (2018) demostraron en su investigación que la inoculación de micorrizas arbusculares (MA) pueden adicionar hasta el 50% de nitrógeno a las plantas, este bioinsumo ayudaría en especial a los suelos que tienen baja disponibilidad de nitrógeno, además esos autores hacen énfasis en que las micorrizas arbusculares mejora la absorción de nutrientes en cultivos como la cebolla, soja y maíz. Es importante tener en cuenta la compatibilidad de las micorrizas arbusculares y el cultivo que se desea inocular de esto dependerá si se obtendrán beneficios así mismo tener en cuenta factores como el suelo y las prácticas agrícolas implementadas en el terreno.

- **Mejora de la tolerancia al estrés abiótico:**

Pedranzani *et al.* (2016), resalta en su investigación que las micorrizas arbusculares desempeñan funciones importantes para la adaptación de las plantas en el estrés abiótico como las temperaturas extremas, la sequía y la salinidad. Khoza *et al.*

(2025) recalcan que al establecer la simbiosis de las micorrizas arbusculares y las raíces se aumenta la capacidad de retención de agua lo que, a las plantas a enfrentar la sequía y regulación de fitohormonas, cabe recalcar que la inoculación de MA tiene efectividad dependiendo del nivel de estrés que presenta el cultivo, ya que en condiciones de estrés elevado se compromete su funcionalidad.

- **Fortalecimiento de los mecanismos de defensa frente a los patógenos:**

Según Contreras *et al.* (2018) las micorrizas arbusculares (MA) fortalecen los mecanismos de defensa frente a los patógenos que existen en el suelo, en algunos estudios se ha demostrado que las plantas que son inoculadas con MA tienden a tener menos incidencia de enfermedades producidas por hongos entre ellos tenemos el *Fusarium spp.* y por nematodos como *Meloidogyne incógnita*. No obstante, los elicitors presentan una mejor opción es lo que se desea es mejorar la inducción de respuestas sistémicas y resistencia a patógenos.

- **Aumento del crecimiento de la planta:**

Zhu *et al.* (2016), concluyen que, al mejorar la disponibilidad de nutrientes y agua, las MA favorecen el desarrollo de raíces y la expansión del sistema radical. Esto resulta en un mayor crecimiento de la planta, mayor biomasa y una mejor estructura de la raíz. Estudios han mostrado que cultivos como el trigo inoculado con MA presentan un mayor rendimiento y una mejor eficiencia en el uso de recursos, especialmente bajo condiciones de CO₂ elevado.

- **Contribución en la agricultura sostenible**

Según Rillig (2004), el uso de MA también contribuye a una agricultura más sostenible, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos y promoviendo una mejor estructura del suelo gracias a la producción de glomalina, una glicoproteína que mejora la agregación del suelo mejorando su estructura y resistencia a la erosión.

3.2.2 *Tpos de elicitors: endógenos, exógenos, naturales y sintéticos*

Caicedo *et al.* (2021) indica que si se utiliza los elicitors en bajas cantidades ayudan a estimular el metabolismo propio de las plantas ya que juegan un papel importante en la defensa y la producción de compuestos. Aunque todavía investigadores siguen realizando

más estudios sobre la interacción con las condiciones edáficas y la variedad genética. A continuación, se describen los tipos de elicitors que existen:

3.2.3 Endógenos

Autores como Hymus *et al.* (2015) dicen que una de las funciones principales de los elicitors es que genera autodefensa en las plantas para los daños físicos y biológicos, activando así las respuestas inmunológicas por medio de receptores de la membrana celular ya que produce proteínas antimicrobianas y compuestos fenólicos ayudando a la supervivencia de la planta al estrés biótico y abiótico. En agroecosistemas diversificados pueden ser la clave para reducir el uso de pesticidas y la eficacia se puede ver influenciada de forma directa por prácticas como el manejo del microbioma del suelo, la selección varietal o el control de estrés mecánico.

3.2.4 Exógenos

Ramírez *et al.* (2016), comentan que, los elicitors exógenos son sustancias externas aplicadas a las plantas para estimular sus mecanismos de defensa. Incluyen compuestos como el ácido salicílico y el metil jasmonato. Un estudio destaca el uso de elicitors exógenos como la prolina y la ornitina en *Sansevieria trifasciata* bajo estrés por materia particulada y compuestos orgánicos volátiles, mejorando así la tolerancia de la planta.

3.2.5 Naturales

Humbal *et al.* (2023), argumentan que, los elicitors naturales provienen de fuentes biológicas, como extractos de plantas o microorganismos. Por ejemplo, extractos de algas marinas se han utilizado para inducir la producción de metabolitos secundarios en plantas, cada uno de estos compuestos pueden mejorar también la resistencia de las plantas a estreses bióticos y abióticos, además de contribuir con el fortalecimiento del sistema inmune de las plantas sin poder alterar negativamente su crecimiento o desarrollo.

3.2.6 Sintéticos

Los elicitors sintético son moléculas elaboradas mediante procesos químicos para activar las defensas en las plantas, Chalfoun *et al.* (2018) habla sobre el manejo de enfermedades en el cultivo de la soja y trigo con PSP1 que es un estimulante basado por elicitors AsES, lo que hace estos compuestos es activar la autodefensa en las plantas para que estén preparadas antes cualquier enfermedad, se podría concluir que es una alternativa

frente al uso de los pesticidas. Los elicitores tienen como objetivo inducir los mecanismos de defensa una estrategia proactiva.

3.3 Interacción suelo-planta-microorganismos hortalizas

Ouhaddou *et al.* (2022), explican que, la interacción entre el suelo, las plantas y los microorganismos es crucial para el crecimiento y la salud de las hortalizas. Microorganismos rizosféricos pueden mejorar la absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés salino en cultivos como la lechuga. Estos microorganismos también pueden inducir respuestas sistémicas de defensa, reduciendo la incidencia de enfermedades. Además, contribuyen a la sostenibilidad del sistema agrícola al disminuir la necesidad de fertilizantes y agroquímicos.

Schüßler *et al.* (2016), concluyen que, la simbiosis entre plantas y microorganismos del suelo, como las micorrizas arbusculares, mejora la absorción de nutrientes y el crecimiento de hortalizas. Estudios en Ecuador evidencian que hongos micorrícicos nativos incrementan significativamente el desarrollo de plántulas de especies arbóreas. Esta asociación simbiótica favorece especialmente la captación de fósforo, considerado un nutriente importante en las etapas iniciales del desarrollo vegetal de cada una de las plantas.

3.4 Factores que influyen en la eficacia de bioinsumos

Grageda *et al.* (2012) explica los factores agronómicos y ambientales que afectan a la efectividad de los bioinsumos, entre ellas tenemos la humedad temperatura los componentes químicos del suelo como el nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, molibdeno, hierro y cobre, también indica que en el caso de las micorrizas lo que le dificulta a la producción de colonización es el porcentaje de dependencia que tiene cada cultivo, López (2020) también hace énfasis a estos factores antes mencionado recalcando los beneficios positivos de los biofertilizantes.

Diversos autores como Bullor *et al.* (2023) indican que los bioinsumos pueden perder efectividad cuando no son aplicados de manera correcta o cuando lo almacenan mal, cabe recalcar que también existen riesgos de contaminación cuando los agricultores utilizan bioinsumos a base de microorganismos sin una supervisión y sin previos ensayos ya que esto puede llegar a darle lugar a patógenos que afecten a todos los seres vivos por lo tanto se debe de realizar un manejo adecuado de esos.

3.5 Efectos en crecimiento, nutrición, rendimiento y sanidad

Sharif *et al.* (2018), especifican que, los elicitores al ser aplicados en los cultivos hortícolas, han confirmado influir positivamente en diversos aspectos del desarrollo vegetal de las plantas. En el estudio de Rouphael *et al.* (2020) concluye los efectos de la aplicación de bioestimulantes en las respuestas de crecimiento, muestra hallazgos que la aplicación de pH solo o en combinación con *Trichoderma* provocó aumentos significativos (+16.6%) en los brotes en comparación con las plantas de maíz no tratadas. Además, se ha observado un aumento en el rendimiento y una mejora considerable en la sanidad de los cultivos, esto se debido a la activación de mecanismos de defensa naturales.

Por ejemplo, la aplicación de quitosano ha mostrado efectos positivos en la promoción del crecimiento de rizobacterias beneficiosas, lo que a su vez mejora la germinación y la absorción de nutrientes en cultivos hortícolas.

En el estudio de García *et al.* (2018) evalúan el efecto de elicitores de extracto de algas en plantas de tomates sometidas a estrés biótico dando como resultado el incremento de la altura, acumulación de biomasa, evitando también el contenido de sólido solubles en los frutos y el rendimiento.

Tabla 1. Efectos de diferentes elicitores en cultivos hortícolas en América Latina.

Elicitor	Efecto observado	Cultivo
Quitosano	Mejora en la germinación y absorción de nutrientes	Varios hortícolas
Polisacáridos	Incremento en metabolitos secundarios	No especificado
Polisacáridos de algas	Incrementa la altura, la biomasa total y la calidad del fruto	Tomate

Nota: Se presenta esta tabla que resume los efectos de diferentes elicitores en cultivos hortícolas.

3.6 Casos de estudio en tomate, lechuga, pimiento, brócoli, etc.

Según Chakraborty *et al.* (2016), varias investigaciones han demostrado que la aplicación de elicitores en cultivos como el del tomate activa enzimas antioxidantes y aumenta el contenido de fenoles y flavonoides, fortaleciendo las defensas de la planta. En la lechuga, el uso de elicitores ha mostrado mejoras en la calidad nutricional y una mayor

tolerancia al estrés hídrico. Asimismo, en pimiento y brócoli, se ha observado una reducción en la incidencia de enfermedades fúngicas y un incremento en el rendimiento del cultivo.

Arkhipov *et al.* (2024), afirman que, en los cultivos de tomate, pepino y brócoli, la inoculación con bacterias rizosféricas promueve el crecimiento de manera dependiente del genotipo. Cada una de las respuestas varían según la expresión tanto de los genes de defensa como la adquisición de nutrientes en cada cultivar. Estas bacterias también pueden modular la producción de fitohormonas, como las auxinas y giberelinas, favoreciendo así el desarrollo radicular de las plantas y el mejoramiento en el rendimiento final de los cultivos.

Ponce *et al.* (2025) se enfocan en la evaluación de bioinsumos en el cultivo de rábano teniendo como resultado que el adicionamiento de 20 lb compost + 500 ml biol + 500 ml microorganismos actuó de manera positiva, promoviendo el crecimiento y el rendimiento de las plantas y en sus diferentes variables como la altura, longitud y diámetro de las hojas, recalcando así que esta combinación ayuda al desarrollo óptimo de este cultivo.

En el estudio del cultivo de pimiento de Adis *et al.* (2017) demostró que la inoculación de *Bradyrhizobium* no ayudo al crecimiento de las plantas sin embargo el adicionamiento de lombricomposta reacciono de manera favorable en la producción biomasa de este cultivo pero solo en las primeras etapas. Rivera (2016) se centró en el rendimiento por hectáreas utilizando Crop Plus con una dosis de 650 cc/ha registrado así un mejor rendimiento y rentabilidad en 46% en este cultivo. Siguiendo con las investigaciones que se han realizado en este cultivo, Alfonso *et al.* (2021) combina los hongos micorrízicos arbusculares con quitosano y bionutrientes teniendo como resultados mayor desarrollo y rendimiento en la fase de trasplante y la combinación de HMA con bioestimulante solo ayudo en el crecimiento de la base de almácigo.

En el estudio de Romero *et al.* (2016) evaluaron la efectividad de biofertilizante que contenían micorrizas EcoMic® en diferentes dosis en el cultivo de tomate mostrando un efecto positivo en el desarrollo morfofonológico con la dosis de 1,00 y 1,25 kg/m² desde el semillero hasta el momento del trasplante ayudando también a reducir costos de aplicación sin afectar al rendimiento del cultivo.

3.7 Sinergias entre micorrizas, elicitores y bioestimulantes

Ramírez *et al.* (2016), aseguran que, la combinación de cada uno de estos agentes potencia el crecimiento vegetal y la resistencia a estreses bióticos y abióticos, optimizando

así la producción hortícola. La combinación de micorrizas arbusculares y elicitores mejora la producción de metabolitos secundarios en las plantas. Esta sinergia potencializa la resistencia a estreses y también aumenta la biosíntesis de compuestos de alto valor añadido. La implementación exitosa de esta sinergia requiere un enfoque sistémico, conjunto a experimentación en campo y la capacidad de integrar estos agentes a los sistemas agrícolas sostenibles para un mejor rendimiento y resiliencia (Hamedani *et al.*, 2020).

Las micorrizas arbusculares tienen una mayor eficacia en sistemas de producción orgánicos y agroecológicos, esto es debido a menor disponibilidad de nutrientes que se disuelven fácilmente (Rouphael *et al.*, 2015). La eficiencia de las micorrizas en sistemas convencionales es menor por el uso intensivo de fertilizantes. El estudio de Alarcón (2017) realizado sobre inoculación con *Rhizophagus irregularis* en semilleros y trasplante posterior, demuestra que en el estudio bajo el sistema de producción orgánico se obtuvo un incremento del 42 % en biomasa aérea y del 50 % en absorción de fósforo, en el sistema convencional la respuesta fue del 15–20 %.

Los elicitores como el ácido salicílico y quitosano han demostrado eficacia transversal aun así en sistemas productivos modula su respuesta. el estudio donde se aplicó un foliar de quitosano (50 ppm) cada 10 días. en el sistema de producción orgánicos se obtuvo una reducción del 60 % de *Botrytis cinerea* y aumento del contenido de fenoles totales en frutos; en el sistema convencional, la reducción tan solo fue del 35 % de enfermedad pero con menos aumento de compuestos secundarios (Méndez *et al.*, 2020).

El uso de los bioestimulantes como los ácidos húmicos, extractos de algas o plantas y aminoácidos tienen respuestas positivas en los sistemas convencionales, donde es un complemento para insumos químicos, a diferencia de los sistemas orgánicos y agroecológicos donde contribuye a la fortaleza en condiciones de estrés abiótico. El estudio del caso aplicación de aminoácidos + extractos de algas muestra mejora en el fortalecimiento vegetativo, incremento del 28 % en el número de frutos de primera categoría (Torres *et al.*, 2018).

En la Tabla 2 se presentan beneficios de los bioinsumos, no obstante, se debe tener en cuenta que su eficacia dependerá del sistema de producción al que este asociado, tanto el sistema de producción agroecológica como el orgánico tienen una mayor sinergia con las micorrizas y elicitores, por otra parte, el sistema convencional encuentra una mayor sinergia con bioestimulantes al ser un complemento en el manejo químico.

Tabla 2. Sinergia y efecto de bioinsumos en los sistemas de producción de América latina

Sistema de Producción	Micorrizas	Bioestimulantes	Elicitores
Convencional	Efecto moderado/variable	Nivel de efecto alto	Nivel de efecto variable
Orgánico	Nivel de efecto alto	Nivel de efecto moderado	Nivel de efecto alto
Agroecológico	Nivel de efecto alto	Nivel de efecto alto	Nivel de efecto alto

3.8 Comparación de eficacia bajo distintos sistemas de producción

3.8.1 *Uso de elicitores e investigaciones en la agricultura convencional*

Según Bektas *et al.* (2015) afirma que los agricultores que realizan la agricultura convencional utilizan insumos químicos para poder enfrentar las enfermedades y plagas, y tener rendimientos de los cultivos altos, sin pérdidas iniciales, sin embargo, con el tiempo la salud del suelo se va deteriorando por tal razón el uso de elicitores sintéticos han sido una alternativa efectiva, cabe recalcar que su eficacia varía según el cultivo, dosis aplicadas y las condiciones edafoclimáticas del lugar.

3.8.2 *Aplicaciones de elicitores en sistemas orgánicos certificados*

Brown (2024), afirma que, el uso de elicitores en sistemas orgánicos certificados se ha vuelto una de las alternativas más viable en la mejora de producción y calidad de los cultivos, a pesar de que los productores de alimentos orgánicos se ven afectados por los precios de los insumos orgánicos, mano de obra y costos de producción, sin embargo, estos costos pueden ser compensados por la reducción en el uso de insumos externos y la obtención de precios más altos en el mercado.

En la Tabla 3 se puede observar la comparación de los costos de producción con insumos naturales y químicos.

Tabla 3. Comparación de aspectos clave entre sistemas de producción orgánicos certificados y convencionales en América Latina

Aspecto	Orgánico Certificado	Convencional
Costos de producción	Más altos (mayor mano de obra, insumos)	Más bajos (uso de agroquímicos)
Uso de insumos externos	Reducido (preferencia por insumos naturales)	Elevado (dependencia de fertilizantes químicos)
Precio de venta	Superior (mercado especializado)	Estándar

Nota: La siguiente tabla compara aspectos clave entre sistemas de producción orgánicos certificados y convencionales.

3.8.3 Enfoque agroecológico: visión integral y resiliencia del sistema

Para Diacono *et al.* (2023), el enfoque agroecológico propone una visión holística de cada uno de los sistemas agrícolas, integrando los principios ecológicos y sociales en su diseño y gestión. Este modelo de enfoque se encuentra relacionado con el reciclaje de los diferentes recursos que se puede encontrar dentro de la finca para poder reducir la dependencia de los insumos químicos. Al implementar cada una de estas prácticas como la diversificación de cultivos y el control integrado de plagas, se puede llegar a mejorar la estabilidad y la nutrición de los sistemas alimentarios.

Sinclair *et al.* (2019), agrega que, la agroecología también fortalece la resiliencia socioeconómica de los productores al disminuir su vulnerabilidad ante fallas en cultivos específicos y fluctuaciones del mercado. Estas prácticas no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental, sino que también apoyan la seguridad alimentaria, la adaptación al cambio climático, la diversificación productiva y el uso eficiente de los recursos locales, esto permite a las comunidades rurales desarrollar sistemas agrícolas más estables y autosuficientes.

3.8.4 Análisis comparativo y evaluación entre diferentes sistemas productivos

La agricultura orgánica prioriza la diversidad microbiana del suelo, fomentada por la exclusión de insumos sintéticos y la aplicación de materia orgánica (compost, abonos

verdes). Los hongos micorrízicos desempeñan un rol estructural, mientras que los elicitores y bioestimulantes, derivados de fuentes naturales, nutren de manera holística el ecosistema suelo-planta (Rouphael *et al.*, 2015). Un estudio comparativo en Brasil, donde se analizó sistemas de producción de batata, se encontró que la densidad de esporas de hongos arbusculares micorrízicos era significativamente mayor en los sistemas orgánicos que en los convencionales, lo que se correlacionó con una mejor estructura del suelo y mayor disponibilidad de nutrientes (De Souza *et al.*, 2017).

Por otra parte, la agricultura convencional integra estas herramientas biológicas como complementos a los fertilizantes y pesticidas sintéticos. Las micorrizas y bioestimulantes se utilizan para optimizar la eficiencia de los nutrientes y reducir considerablemente los insumos químicos, mientras que los elicitores permiten disminuir la aplicación de fungicidas, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental donde la combinación de insumos convencionales y bioinsumos maximice los beneficios productivos y Ambientales (Rocha *et al.*, 2024).

Un estudio de percepción en Argentina reveló que, aunque el uso de insumos biológicos aún es minoritario, existe un creciente interés por parte de los productores convencionales, motivado por la búsqueda de una mayor eficiencia en el uso de nutrientes (Gárriz & de la Fuente, 2022).

Tabla 4. Diferencias y análisis sobre el aprovechamiento de bioinsumos en los sistemas de producción de América Latina

Bioinsumos	Sistemas orgánicos	Sistemas convencionales
Elicitores	Son más de prevención, consiste en fortalecer la resiliencia del cultivo	Reactivo donde se aplican productos como el quitosano para control de patógenos.
Micorrizas	Son fundamentales, al fomentar con abono orgánico se obtiene una mayor cantidad de esporas y mejor colonización.	Son complementarios la mayoría son inoculados para la eficiencia de fertilizantes específicos.
Bioestimulantes	Aplicados para mejorar la biología en el suelo.	Son dirigidos, es decir uso de productos específicos (ácidos

húmicos) para obtener resultados medibles como el rendimiento.

En conclusión, los sistemas orgánicos se fundamentan en la promoción de un ecosistema edáfico complejo y funcional y los sistemas convencionales, en cambio, adoptan estas herramientas de forma más táctica, como un complemento para optimizar una guía de producción ya establecido. Los bioinsumos están transformando la producción hortícola en América latina al potenciar la salud y la productividad de los cultivos en sistemas orgánicos y convencionales. Su aplicación estratégica evidencia un potencial significativo para impulsar sistemas más sostenibles.

Tabla 5. Comparativa y eficacia de bioinsumos en sistemas agrícolas de América latina

Bioinsumo	Sistema/Cultivo	País	Resultados	Referencia
Micorrizas arbusculares	Maíz bajo sistema de labranza mínima	México	+Rendimiento (+12%), P en el suelo	(De León-González <i>et al.</i> , 2019)
Micorriza+ biofertilizante	Caña de azúcar orgánica	Brasil	Aumento de biomasa eficiencia en uso de nutrientes	(Andrade <i>et al.</i> , 2021)
Elicitor: quitosano	Tomate invernadero	en Colombia	Menor severidad de Botrytis cinérea (-50%), aumenta los sólidos solubles	(Cely <i>et al.</i> , 2019)
Elicitor: extracto de alga	Café orgánico	Perú	Mayor resistencia a roya	(Salinas, 2022)
Bioestimulante microbiano	Frijol bajo estrés hídrico	Argentina	Tolerancia al estrés hídrico,	(Riva <i>et al.</i> , 2020)

(Pseudomonas spp.)				rendimiento (10%)
Bioestimulante vegetal (extracto de humato)	Papa bajo sistema convencional	Ecuador	Contenido de almidón, calibre 2018)	(Morales, comercializable.

3.9 Retos técnicos y sociales en la adopción de estas tecnologías

Chacko (2024) menciona que los elicitores como adopción de tecnologías en la agricultura han enfrentado muchos desafíos tanto técnicos como sociales ya que existe la falta de conocimiento de estos bioinsumos, otro de los problemas es no saber cómo adaptar estas técnicas a la agricultura tradicional. Cuando se habla de retos sociales se refiere de la resistencia al cambio por parte de los agricultores ya sea por desconfianza o simplemente el hecho de que ellos no quieren arriesgar a tener pérdidas en sus cultivos por adoptar nuevas técnicas, en cuestiones económicas influye mucho en la decisión de los agricultores por los costos iniciales inversión y la duda del retorno de la inversión.

A continuación, se presentan los principales retos: económicos, técnicos y sociales:

- **Barreras económicas:** por sus altos costos para la utilización de estos insumos los agricultores no adoptan estas técnicas.
- **Barreras técnicas:** Por la falta de infraestructura y conocimientos técnico se limitan a implementar estas técnicas.
- **Barreras sociales:** Aportan resistencia al cambio y falta de confianza en la eficacia de las nuevas tecnologías.

3.9.1 Evaluación económica y percepción de agricultores sobre bioinsumos

En la investigación que realizó Lagler (2017) destaca que los bioinsumos es una alternativa sostenible y rentable para los agricultores en comparación con los agroquímicos en la agricultura extensiva. La aplicación de estos ayudas positivamente a la fijación de nitrógeno al biocontrol y mejora de la tolerancia de patógenos.

La transición hacia el uso de bioinsumos en la agricultura no solo depende de sus beneficios agroeconómicos que ofrece, sino que también existen los factores económicos,

sociales y culturales. Narváez (2024) en su estudio realizado en Colombia que fue mediante encuestas a los agricultores encontró que hay controversia entre el uso de bioinsumos y los agroquímicos ya que su costo inicial es alto y poco conocimiento técnico sobre este tema.

3.10 Perspectivas futuras

3.10.1 Avances en formulaciones e inoculantes comerciales

Algunos autores como Santos *et al.* (2019) han señalado los logros que ha tenido la inoculación microbiana en la agricultura en los últimos tiempos, entre los más estudiados encuentran a los microorganismos benéficos que son las bacterias fijadoras de nitrógeno y los hongos micorrízicos, llegando a mejorar la calidad del suelo y una alta productividad en los cultivos. En diferentes países como Brasil y Argentina empezaron empresas a comercializar estos bioinsumos líquidos, teniendo un total de 80% de ventas en el 2010.

Centrándose en las formulaciones de bioinsumos líquidos las ventajas son más notables ya que su aplicación es más fácil y mejor compatibilidad en producciones de siembra mecanizadas. En la investigación de Cisnero (2020) habla sobre la encapsulación y el uso de polímeros para la eficacia y viabilidad de inoculación ya que permitirán la liberación de los nutrientes o microorganismos de forma controlada en el suelo.

3.11 Potencial de especies vegetales y micorrízicas nativas

Samantaray *et al.* (2024), concluyen que, la utilización de especies vegetales y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) nativos, presenta un potencial considerable para la agricultura sostenible ya que cada uno de estos organismos, adaptados a las condiciones locales, pueden llegar a establecer simbiosis mucho más eficientes con las plantas, mejorando así la absorción de nutrientes y la resistencia a los estreses abióticos.

Investigaciones recientes también destacan la importancia de seleccionar y propagar cepas nativas de HMA para optimizar su desempeño en sistemas agrícolas específicos. Además, el uso de estas especies contribuye a la conservación de la biodiversidad y al mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Al ser adaptadas a las condiciones locales, estas cepas ofrecen una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes y resistencia a patógenos.

3.12 Políticas públicas, normativas y apoyo a la investigación en América Latina

Silva Medina *et al.* (2024) afirma que los bioinsumos en América latina ha sido impulsados por las políticas públicas y marcos regulatorios por lo tanto esto ayuda a las investigaciones y la innovación de estos sectores. En Brasil y Argentina han adoptado la inoculación en sistemas de agricultura tradicional para la fijación de nitrógeno.

Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la estandarización de normativas y la necesidad de mayor inversión en investigación y desarrollo. El fortalecimiento de las políticas públicas y el apoyo a la investigación son fundamentales para consolidar el uso de bioinsumos y así promover las prácticas agrícolas en la región.

En la Tabla 6. se encuentra representado los diferentes aspectos del desarrollo de los bioinsumos por lo tanto cuenta con los avances, desafíos y políticas en América Latina.

Tabla 6. Avances y desafíos en el desarrollo de bioinsumos en América Latina

Aspecto	Detalles
Avances en bioinsumos	Mejora de inoculantes tradicionales y desarrollo de nuevos productos
Desafíos regulatorios	Necesidad de estandarización de normativas y mayor inversión en I+D
Políticas públicas	Impulso a la investigación e innovación en el sector de bioinsumos

Nota: Esta tabla que resume los avances y desafíos en el desarrollo de bioinsumos en América Latina.

4 DISCUSIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO

Los estudios que se recopilaron en esta revisión bibliográfica cumplieron con los objetivos propuestos sobre las micorrizas arbusculares, elicitores y bioestimulantes en las diferentes características en las plantas como el crecimiento, rendimiento, tolerancia del estrés biótico y abiótico y la defensa contra patógenos en cultivos hortícolas en América latina. Describiéndose los mecanismos fisiológicos y bioquímicos de las plantas.

En este análisis se empleó el termino bioinsumos para abarcar a las micorrizas, elicitores y bioestimulantes en la nutrición de las plantas en función de su desarrollo. Diferentes autores como Souza (2025), Mano & Samora (2024) y Rodríguez *et al.* (2023), afirman que los bioinsumos es una alternativa factible permitiendo así la disminución de impactos ambientales frente a los agroquímicos.

Muñoz (2025) indica que, los biofertilizantes ayudan a aumentar la productividad de los cultivos entre un 8% y 15%, reduciendo los costos de producción y ayudando a la fertilidad del suelo, Mestre *et al.* (2024) respaldan la información de Muñoz ya que en su estudio obtuvo resultados positivos en el rendimiento del cultivo de zanahoria con la adición de micorrizas, sin embargo, en el cultivo de lechuga la MA no fueron sus resultados tan marcados bajo las condiciones agroecológicas del lugar. Asimismo, Vargas *et al.* (2024) destacan la inclusión de bioinsumos en planes de desarrollo rural como alternativa frente a la degradación del suelo y la dependencia de insumos químicos, como sucedió en el municipio de Pato Magdalena.

A partir del análisis comparativo, se identificaron diferencias significativas en cuanto a eficacia, modo de acción y nivel de especialización (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis comparativo de efectos de diferentes bioinsumos en cultivos hortícolas de América Latina

Bioinsumo	Desarrollo del cultivo	Rendimiento	Resistencia	Análisis
Micorriza	Alto	Alto	Medio	Favorecen la absorción de nutrientes y el crecimiento radicular. Mejora moderada frente a estrés abiótico.
Elicitores	Medio	Medio	Alto	Inducen respuestas de defensa sistémica. Alta efectividad frente a patógenos, limitada en rendimiento.
Bioestimulante	Alto	Alto	Medio	Estimulan el metabolismo vegetal y mejoran el uso de nutrientes. Su efecto depende de dosis y tipo de cultivo.

Algunos autores recalcan la eficacia de las micorrizas arbusculares en los suelos que tienen baja fertilidad, también este bioinsumo ayuda al desarrollo radicular y la absorción del fosforo y nitrógeno.

Alvarado *et al.* (2018) realizaron su investigación en cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), con inoculación de *Rhizophagus intraradices* teniendo como resultado un incremento positivo en clorofila, la altura, y el tamaño de los frutos, mejorando así el rendimiento en un 30% de este cultivo.

Los elicitores resaltan por inducir respuesta de autodefensa frente a patógenos. Si bien su efecto sobre el rendimiento puede ser limitado, constituyen una herramienta eficaz en la reducción del uso de agroquímicos. En cambio, los bioestimulantes ofrecen una respuesta balanceada, mejorando tanto el crecimiento como la sanidad vegetal. Un estudio en pimiento (*Capsicum annuum* L.) evidenció que la aplicación de estiércol bovino, lixiviados de vermicompost y microorganismos eficientes logró mejoras equivalentes a las obtenidas con fertilización química (Pico *et al.*, 2022).

Las sinergias se componen por la combinación de bioestimulante para poder obtener un rendimiento hortícola más rentable y sin agroquímicos. Sin embargo, su adaptación debe evaluarse bajo principios agronómicos en sistemas de producción, considerando diferentes variables como compatibilidad, costo-beneficio, y sostenibilidad.

Desde una perspectiva agroecológico, la implementación de estas tecnologías debe centrarse en los principios de biodiversidad, eficiencia ecológica y resistencia. La selección de los bioinsumos debe ajustarse con prácticas que tengan como prioridad la conservación del suelo, la reducción de insumos químicos, y conocimientos científicos.

La adaptación de estos bioinsumos en América Latina sigue enfrentando desafíos técnicos, económicos y sociales como lo dice Zambrano *et al.* (2015) la prospectiva tecnológica es importante para el uso de estos insumos sin dejar atrás la estandarización normativa y la disponibilidad de productos certificados. A futuro, se espera que los avances en formulaciones, el uso de especies y cepas nativas, y el fortalecimiento de políticas públicas incentiven su aplicación masiva, tanto en agricultura convencional como en modelos más sostenibles.

5 CONCLUSIONES

Los tres tipos de bioinsumos analizados presentan un alto potencial para mejorar el desarrollo vegetal, la eficiencia en el uso de nutrientes y la tolerancia al estrés abiótico y biótico en cultivos hortícolas. Las micorrizas arbusculares destacan por su capacidad de establecer relaciones simbióticas con las raíces, optimizando la absorción de nutrientes como fósforo y nitrógeno. Los elicitores, especialmente los naturales y sintéticos, inducen mecanismos de defensa sistémica que fortalecen la sanidad vegetal. Por su parte, los bioestimulantes mejoran el metabolismo vegetal y, en condiciones adecuadas, pueden aumentar significativamente el rendimiento de los cultivos.

La eficacia de micorrizas, elicitores y bioestimulantes varía según el sistema de producción en que se apliquen. En sistemas convencionales, los elicitores ofrecen buenos resultados como estrategia de control de enfermedades. En sistemas orgánicos, las micorrizas y bioestimulantes naturales generan respuestas más efectivas, favorecidas por condiciones edafoclimáticas menos alteradas. El enfoque agroecológico potencia la sinergia entre los bioinsumos, al integrarlos dentro de un sistema que prioriza la biodiversidad, el reciclaje de nutrientes y el conocimiento local. La efectividad de estos insumos, por tanto, no depende solo de su tipo, sino del contexto productivo y de manejo en el que se aplican.

El uso estratégico de bioinsumos puede constituir una herramienta clave para incrementar la resiliencia de los sistemas hortícolas frente al cambio climático, la degradación del suelo y la presión fitosanitaria. Para fortalecer esta resiliencia, se recomienda: a) promover la adopción de bioinsumos a través de asistencia técnica y programas de capacitación dirigidos a productores; b) fomentar la producción y certificación de bioinsumos a nivel local, especialmente aquellos basados en microorganismos nativos; c) integrar estos insumos en programas de manejo integrado de cultivos con enfoque agroecológico; y d) apoyar con políticas públicas y normativas claras su incorporación dentro de esquemas productivos sostenibles y rentables para pequeños y medianos agricultores.

Recomendaciones

- Se recomienda entender y potencia los mecanismos de acción de los insumos para una aplicación precisa, es fundamental que agricultores y técnicos familiaricen los distintos modos de acción de cada insumo para desarrollar estrategias de manejo integradas y efectivas.
- Es necesario profundizar el estudio, así como la práctica y técnicas de aplicación, con el fin de optimizar la calidad y rentabilidad en los parámetros de los sistemas de producción hortícola.
- Se recomienda el uso combinado y estratégico para maximizar sinergias, la verdadera innovación y el mayor potencial residen en la integración inteligente de estas tres herramientas, buscando efectos sinérgicos que potencien la salud y productividad del cultivo de manera integral.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adis, M.J., García, R.E., Romero, A.M.E., Cossoli, M.R. and Iglesias, M.C. (2017) ‘Aplicación de bioinsumos en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) y su influencia en parámetros biológicos del suelo’, *Agrotecnia: REBIOS*, 2017, no. 25, p. 59-59. [Preprint]. Available at: <http://repositorio.unne.edu.ar/xmlui/handle/123456789/31912> (Accessed: 8 June 2025).
- Alarcón, A., et al. (2017) ‘Efecto de micorrizas arbusculares en lechuga y espinaca bajo sistemas de producción orgánico y convencional en Chile’, *Chilean Journal of Agricultural Research*.
- Alfonso, E.T., Padrón, J.R., Espinosa, R.R., Rodríguez, A.F. and Sosa, Y.C. (2021) ‘Bioproductos como sustitutos parciales de la nutrición mineral del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.)’, *Acta Agronómica*, 70(3), pp. 266–273.
- Alvarado, M., Díaz, A. and Peña, A. (2018) ‘(PDF) Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida’, *ResearchGate* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i3.954>.
- Andrade, S.A.L. et al. (2021) “‘Integrated use of arbuscular mycorrhizal fungi and liquid biofertilizers improves sugarcane yield under organic farming’”, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, p. 320.
- Arkhipov, A., Shao, Z., Muirhead, S. R., Harry, M. S., Batool, M., Mirzaee, H., Carvalhais, L. C., & Schenk, P. M. (2024). Microbe-Friendly Plants Enable Beneficial Interactions with Soil Rhizosphere Bacteria by Lowering Their Defense Responses. *Plants*, 13(21), 3065.
- Bektas, Y., & Eulgem, T. (2015). Synthetic plant defense elicitors. *Frontiers in Plant Science*, 5(JAN), 1–9.
- Brown, C. (2024, May 21). The Organic Certification Process for Farms | OhioLine. Disponible en: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/sag-0003> Consultado: 10/03/2025
- Bullor, L., Braude, H., Monzón, J., Cotes, A., Casavola, V., Carbajal, N. and Risopoulos, J. (2023) ‘Bioinsumos: Oportunidades de inversión en América Latina’.
- Caicedo-López, L.H., Aranda, A.L.V., Sáenz de la O, D., Gómez, C.E.Z., Márquez, E.E. and Zepeda, H.R. (2021) ‘Elicidores: implicaciones bioéticas para la agricultura y la salud humana’, *Revista Bioética*, 29, pp. 76–86. Available at: <https://doi.org/10.1590/1983-80422021291448>.
- Cely, M.V.T. et al. (2019) ‘Chitosan as a plant growth promoter and bio-fungicide in tomato plants under greenhouse conditions’’, *Scientia Horticulturae*, pp. 377–384.

- Chacko, J. (2024). (PDF) Behavioural barriers to technology adoption in agriculture. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/385787065_Behavioural_barriers_to_technology_adoption_in_agriculture Consultado: 10/03/2025
- Chakraborty, N., Ghosh, S., Chandra, S., Sengupta, S., & Acharya, K. (2016). Abiotic elicitors mediated elicitation of innate immunity in tomato: an ex vivo comparison. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 22(3), 307–320.
- Chalfoun, N. R., Durman, S. B., Budeguer, F., Caro, M. D. P., Bertani, R. P., Di Peto, P., Stenglein, S. A., Filippone, M. P., Moretti, E. R., Díaz Ricci, J. C., Welin, B., & Castagnaro, A. P. (2018). Development of PSP1, a biostimulant based on the elicitor AsES for disease management in monocot and dicot crops. *Frontiers in Plant Science*, 9, 334080.
- Cisnero, E. (2020) Los polímeros súper absorbentes y su influencia sobre la productividad del agua en el frijol. Available at: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586266250002/html/> (Accessed: 10 June 2025).
- Contreras, J., & Martínez, D. (2018). Micorrizas arbusculares: antagonistas naturales de los patógenos del suelo - Agro Excelencia | La Revista del Profesional del Campo. Disponible en: <https://agroexcelencia.com/micorrizas-arbusculares-antagonistas-naturales-de-los-patogenos-del-suelo/> Consultado: 15/03/2025
- Da Silva Medina, G., Rotondo, R., & Rodríguez, G. R. (2024). Innovations in Agricultural Bio-Inputs: Commercial Products Developed in Argentina and Brazil. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 2763, 16(7), 2763.
- De León-González, F. et al. (2019) ‘Arbuscular mycorrhizal fungi effects on maize yield and nutrient uptake under reduced tillage systems’, *Applied Soil Ecology*, pp. 32-41.
- De Souza, R.A., de Melo, A, M.M., Nogueira, F., C.S., de Lima, L, M. and de Oliveira, S.J. (2017) “Soil biological attributes in different management systems of sweet potato in the Agreste of Pernambuco”, *Revista Caatinga*, pp. 484–492.
- Diacono, M., & Montemurro, F. (2023). Achieving Agroecosystem Resilience through an Agroecological Approach. *Agronomy* 2023, Vol. 13, Page 1962, 13(8), 1962.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14.
- García Enciso, E.L., Robledo Olivo, A., Benavides Mendoza, A., Solís Gaona, S., González Morales, S., García Enciso, E.L., Robledo Olivo, A., Benavides Mendoza, A., Solís Gaona, S. and González Morales, S. (2018) ‘Efecto de elicitores de origen natural sobre plantas de

- tomate sometidas a estrés biótico’, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(SPE20), pp. 4212–4221. Available at: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.991>.
- Gárriz, A., Tiftonell, P. and de la Fuente, E.B. (2022) “‘Biological inputs in agriculture: Knowledge and perception of farmers from the Pampean region of Argentina’”, *Agronomy*, p. 2841.
- Grageda-Cabrera, O.A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J.J. and Vera-Nuñez, J.A. (2012) ‘Impacto de los biofertilizantes en la agricultura’, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), pp. 1261–1274.
- Hamedani, S., Roupheal, Y., Colla, G., Colantoni, A. and Cardarelli, M. (2020) ‘Los bioestimulantes como herramienta para mejorar la sostenibilidad ambiental de los cultivos hortícolas de invernadero’, *Sostenibilidad*.
- Hernandez Melchor, D.J., Ferrera Cerrato, R. and Alarcon, A. (2019) ‘Trichoderma: Importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial’, *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35, pp. 98–112.
- Holmes, I., Bitrán, D., Zambrana, T. and Ladrón de Guevara, J. (2021) *Hacia una agricultura sostenible y resiliente en América Latina y el Caribe - Análisis de siete trayectorias de transformación exitosas*. 1st edn. Santiago de Chile, Chile: FAO. Available at: <https://doi.org/10.4060/cb4415es>.
- Humbal, A., & Pathak, B. (2023). Influence of exogenous elicitors on the production of secondary metabolite in plants: A review (“VSI: secondary metabolites”). *Plant Stress*, 8, 100166.
- Hymus, G. J., Cai, S., Kohl, E. A., Holtan, H. E., Marion, C. M., Tiwari, S., Maszle, D. R., Lundgren, M. R., Hong, M. C., Channa, N., Loida, P., Thompson, R., Taylor, J. P., Rice, E., Repetti, P. P., Ratcliffe, O. J., Reuber, T. L., & Creelman, R. A. (2015). Application of HB17, an *Arabidopsis* class II homeodomain-leucine zipper transcription factor, to regulate chloroplast number and photosynthetic capacity. *Journal of Experimental Botany*, 64(14), 4479–4490.
- Khoza, T., Masenya, A., Khanyile, N. and Thosago, S. (2025) Alivio de la densidad de plantas y el estrés salino en *Moringa oleifera* mediante hongos micorrízicos arbusculares: una revisión. Available at: <https://www.mdpi.com/2309-608X/11/4/328> (Accessed: 10 June 2025).
- Lagler, J.C. (2017) ‘Bioinsumos: distintas percepciones haciendo foco en la fertilización biológica’, *Agronomía & Ambiente*, 37(1). Available at: <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/65> (Accessed: 7 June 2025).

- López, G.J.C. (2020) 'Factores que influyen en el manejo integrado de nutrientes para la producción agrícola', *Avances en Investigación Agropecuaria*, 24(3), pp. 19–39.
- Mansur, E. (2024) *Revolución Microbiológica: Cómo América Latina está liderando en agricultura sostenible*. Available at: <https://www.seedworld.com/latam/2024/12/11/revolucion-microbiologica-como-america-latina-esta-liderando-en-agricultura-sostenible/>.
- Méndez-López, I. et al. (2020) 'Uso de quitosano como elicitor en pimentón en Colombia.', *Agronomía Colombiana*.
- Morales, R. et al (2018) "Effects of humic substances on potato yield and quality in Ecuador", *Journal of Plant Nutrition*, pp. 1812–1821.
- Morris, J., Leake, J., Stein, W., Berry, C., Marshall, J., Wellman, C., Milton, J., Hillier, S., Mannolini, F. and Quirk, J. et al (2015) 'Investigating Devonian trees as geo-engineers of past climates: linking palaeosols to palaeobotany and experimental geobiology', *Paleontología*, pp. 787–801.
- Narváez Velasco, G.M. (2024) 'Desafíos socioeconómicos y ambientales que inciden en los productores en la transición de insumos químicos a bioinsumos: Estudio de caso la cadena del arroz'. Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.14625/40178> (Accessed: 7 June 2025).
- Ouhaddou, R., Ben-Laouane, R., Lahlali, R., Anli, M., Ikan, C., Boutasknit, A., Slimani, A., Oufdou, K., Baslam, M., Ait Barka, E., & Meddich, A. (2022). Application of Indigenous Rhizospheric Microorganisms and Local Compost as Enhancers of Lettuce Growth, Development, and Salt Stress Tolerance. *Microorganisms*, 10(8), 1625.
- Pedranzani, H., Rodríguez-Rivera, M., Gutiérrez, M., Porcel, R., Hause, B., & Ruiz-Lozano, J. M. (2016). Arbuscular mycorrhizal symbiosis regulates physiology and performance of *Digitaria eriantha* plants subjected to abiotic stresses by modulating antioxidant and jasmonate levels. *Mycorrhiza*, 26(2), 141–152.
- Pico Alvarado, D.B. et al. (2022) 'Efecto de Bioestimulantes sobre el Crecimiento en Cuatro Híbridos de Pimiento', *Ecuador es calidad*, 16 November. Available at: <https://doi.org/10.36331/revista.v9i1.139> COMUNICACIÓN CIENTÍFICA.
- Pieterse, C.M. et al. (2012) 'Hormonal modulation of plant immunity', 2012. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-092910-154055>.
- Ponce, J.D.C.M., Pinela, A.G.M., Castro, D.R.G., Villavicencio, E.E.M. and Caamaño, K.G.G. (2025) 'Efectos de diferentes dosis de bio-insumos en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus*)', *Reincisol.*, 4(7), pp. 1787–1812. Available at: [https://doi.org/10.59282/reincisol.V4\(7\)1787-1812](https://doi.org/10.59282/reincisol.V4(7)1787-1812).

- Ramírez, K., Vidal-Limon, H., Hidalgo, D., Moyano, E., Golenioswki, M., Cusidó, R. M., & Palazon, J. (2016). Elicitation, an Effective Strategy for the Biotechnological Production of Bioactive High-Added Value Compounds in Plant Cell Factories. *Molecules* 2016, Vol. 21, Page 182, 21(2), 182.
- Rillig, M.C. (2004) 'Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation', *Ecology Letters*, pp. 740-754.
- Riva, V. et al. (2020) 'Pseudomonas spp. as plant growth-promoting rhizobacteria for common bean under drought stress', *Rhizosphere*, pp. 100–193.
- Rivera Figueroa, J.S. (2016) 'Evaluación de biofertilizantes en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) con diferentes dosis en la zona de Mocache.' Available at: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2104> (Accessed: 8 June 2025).
- Rocha, T., Marcelino, P., Da Costa, R., Rubio-Ribeaux, D., Barbosa, F. and Da Silva, S. (2024) 'Bioinsumos agrícolas obtenidos por fermentación en estado sólido: de la producción en biorrefinerías a la agricultura sostenible.', *Sostenibilidad*. Available at: <https://doi.org/10.3390/su16031076>.
- Romero, Y.L.C., Izquierdo, E.M. and Baños, Y.S. (2016) 'Efectividad y momentos de aplicación del biofertilizante EcoMicâ en la producción de *Solanum lycopersicum* L. var. Mamonal 21', *Avances*, 18(1), pp. 77–85.
- Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., Pascale, S., Bonini, P. and Colla, G. (2015) 'Los hongos micorrícicos arbusculares actúan como bioestimulantes en los cultivos hortícolas.', *Scientia Horticulturae*, pp. 91-108.
- Rouphael, Y., Lucini, L., Miras-Moreno, B., Colla, G., Bonini, P. and Cardarelli, M. (2020) 'Respuestas metabólicas de brotes y raíces de maíz provocadas por tratamientos combinatorios de semillas con bioestimulantes microbianos y no microbianos', *Front. Microbiol.* Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00664>.
- Salinas, R. et al (2022) 'Seaweed extracts enhance disease resistance and quality of coffee beans in organic farming systems', *Crop Protection*, pp. 105–957.
- Samantaray, A., Chattaraj, S., Mitra, D., Ganguly, A., Kumar, R., Gaur, A., Mohapatra, P. K. D., Santos-Villalobos, S. de los, Rani, A., & Thatoi, H. (2024). Advances in microbial based bio-inoculum for amelioration of soil health and sustainable crop production. *Current Research in Microbial Sciences*, 7, 100251.

- Santos, M. S., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2019). Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express* 2019 9:1, 9(1), 1–22.
- Schüßler, A., Krüger, C., & Urgiles, N. (2016). Phylogenetically diverse AM fungi from Ecuador strongly improve seedling growth of native potential crop trees. *Mycorrhiza*, 26(3), 199–207.
- Sharif, R., Mujtaba, M., Rahman, M. U., Shalmani, A., Ahmad, H., Anwar, T., Tianchan, D., & Wang, X. (2018). The Multifunctional Role of Chitosan in Horticultural Crops; A Review. *Molecules: A Journal of Synthetic Chemistry and Natural Product Chemistry*, 23(4), 872.
- Sinclair, F., Wezel, A., Cheikh, M., Chomba, S., Robiglio, V. and Harrison, R. (2019) ‘The contribution of agroecological approaches to realizing climate-resilient agriculture’, FAO. Available at: <https://gca.org/wp-content/uploads/2020/12/TheContributionsOfAgroecologicalApproaches.pdf>.
- Sosa-Rodrigues, B.A. and García-Vivas, Y.S. (2018) ‘Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz fertilizado de forma orgánica y mineral’, *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), p. 207. Available at: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27127>.
- Taylor, A., Pereira, N., Thomas, B., Pink, D. A. C., Jones, J. E., & Bending, G. D. (2015). Growth and nutritional responses to arbuscular mycorrhizal fungi are dependent on onion genotype and fungal species. *Biology and Fertility of Soils*, 51(7), 801–813.
- Torre Celys, M.V., De Oliveira, A., Duin, V., Barazetti, M., André, Igor, Gionco, Barbara, Garcia, Guilherme, Prete, Cássio, Andrade and Galdino (2016) ‘Inoculant of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (*Rhizophagus clarus*) Increase Yield of Soybean and Cotton under Field Conditions’.
- Torres, L. et al. (2018) ‘Bioestimulantes en transición de sistemas convencionales a orgánicos en pimiento (*Capsicum annum*) en Perú’, *Acta Horticulturae*
- Walters, D.R., Ratsep, J. and Havis, N.D. (2013) ‘Controlling crop diseases using induced resistance: challenges for the future’, *Journal of Experimental Botany*, pp. 1263–1280.
- Zhu, X., Song, F., Liu, S., & Liu, F. (2016). Arbuscular mycorrhiza improve growth, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency in wheat grown under elevated CO₂. *Mycorrhiza*, 26(2), 133–140.