

# **Aplicación de la alelopatía como un sistema para la producción agrícola sostenible**

Martha Liliana Benitez Mancera

Asesores

Julieth Cristina Mendoza Forero

Jorge Armando Fonseca Carreño

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Agronomía

2026

## **Agradecimientos**

En esta etapa universitaria he estado muy bien acompañada, y esto me ha permitido poder cumplir a cabalidad con mis objetivos hacia el pregrado, por ello quisiera agradecer a Dios, por las bendiciones que he recibido, a mis padres por ser ese apoyo incondicional en cada etapa de mi camino sin soltarme la mano; al darme fuerzas para poder continuar en este valioso proceso , a mis directores Julieth Cristina Mendoza Forero y Jorge Armando Fonseca Carreño, quienes acompañaron la etapa del desarrollo de la monografía, por medio de su disposición para transmitir su conocimiento y poderlo implementar en el proyecto de grado, y demás tutores, compañeros, y relacionados quiénes intervinieron en mi aprendizaje; en cada clase, salida de campo, trabajo asignado, entrevistas, y demás.

## Resumen

En esta monografía se investiga la aplicación de la aleopatía como una estrategia para implementar la agricultura sostenible, teniendo en cuenta que la agricultura convencional en la que se utilizan insumos agrícolas de síntesis química, afectan negativamente el medio ambiente y a los seres vivos en general, por lo cual se realiza una compilación de información relevante en fuentes bibliográficas de carácter científico, como EBSCO, Scielo, google académico, y principalmente en la base de datos Science Direct, donde se realiza una búsqueda bibliométrica por medio de los términos “allelopathy AND plant secondary metabolites AND sustainable agriculture AND agricultural productivity AND allelopathic interactions”, filtrado por los años del 2020 al 2025, y por tipo de artículo, arrojando 48 artículos de revisión y 35 artículos de investigación para un total de 83 artículos. Se presenta un análisis sobre la aleopatía, evidenciándose su origen, desarrollo histórico, importancia en la agricultura, por medio del potencial que ejercen los aleloquímicos de una planta sobre otra, como su rol desde tiempos antiguos, en la cual se identifican plantas con potencial alelopático, como el ajo (*Allium sativum*), la albahaca (*Oximum Baciliuum*), el apio (*Apium gravealens*), la caléndula (*Calendula officinalis*), el cilantro (*Corindrum sativum*), el girasol (*Helianthus annws*), la manzanilla (*Anthemis novilis*), el rábano picante (*Raplamus rophomistrum*), el romero (*Rosmarinus afficialis*), la ruda (*Ruta gravealns*), el tabaco (*Nicotiana tabacum*), el trigo (*Triticum aestivum* L.), el sorgo (*Sorghum* spp.), etc., también se analiza la aplicación de la aleopatía en diversos cultivos agrícolas, se evalúan métodos de aplicación de compuestos alelopáticos; como los acolchados y rotación de cultivos, por último se desarrollan recomendaciones para la aplicación de la aleopatía en la agricultura sostenible y estrategias para la difusión del conocimiento sobre aleopatía; entendiendo así, cómo se ha efectuado el funcionamiento de esta disciplina, y su

importancia en la producción sostenible y sustentable, como alternativa a la utilización de pesticidas y fertilización con síntesis de moléculas químicas.

*Palabras clave:* aleloquímico, sustentabilidad agrícola, regulación biológica, agroecología, efecto alelopático, metabolitos secundarios

## Abstract

This monograph investigates the application of allelopathy as a strategy for implementing sustainable agriculture, considering that conventional agriculture, which uses chemically synthesized agricultural inputs, negatively affects the environment and living beings in general. Therefore, a compilation of relevant information was made from scientific bibliographic sources, such as EBSCO, Scielo, Google Scholar, and primarily the ScienceDirect database. A bibliometric search was conducted using the terms "allelopathy AND plant secondary metabolites AND sustainable agriculture AND agricultural productivity AND allelopathic interactions," filtered by the years 2020 to 2025 and by article type, yielding 48 review articles and 35 research articles for a total of 83 articles. An analysis of allelopathy is presented, highlighting its origin, historical development, and importance in agriculture, through the potential that the allelochemicals of one plant exert on another, as well as its role since ancient times. Plants with allelopathic potential are identified, such as garlic (*Allium sativum*), basil (*Oximum bacillium*), celery (*Apium gravealens*), calendula (*Calendula officinalis*), coriander (*Corindrum sativum*), sunflower (*Helianthus annws*), chamomile (*Anthemis novilis*), horseradish (*Raplamus rrophomistrum*), rosemary (*Rosmarinus officinalis*), rue (*Ruta graveals*), tobacco (*Nicotiana tabacum*), wheat (*Triticum aestivum* L.), sorghum (*Sorghum* spp.), etc. The application of allelopathy in various agricultural crops is also analyzed. They evaluate methods of applying allelopathic compounds, such as mulching and crop rotation, and finally develop recommendations for the application of allelopathy in sustainable agriculture and strategies for disseminating knowledge about allelopathy; thus understanding how this discipline has worked, and its importance in sustainable production, as an alternative to the use of pesticides and fertilization with synthetic chemical molecules.

**Keywords:** allelochemical, agricultural sustainability, biological regulation, agroecology, allelopathic effect, secondary metabolites

## Tabla de contenido

Agradecimientos .....	2
Resumen.....	3
Abstract .....	5
Lista de Tablas .....	18
Lista de Figuras.....	19
Introducción .....	20
Planteamiento del Problema .....	22
Justificación .....	24
Objetivos.....	26
Objetivo general .....	26
Objetivos específicos.....	26
Resultados.....	27
Ecuación de Búsqueda utilizada en Science Direct.....	29
Justificación de los Términos Incluidos .....	29
Allelopathy .....	29
Plant secondary metabolites .....	29
Sustainable agriculture.....	30
Agricultural productivity .....	31
Allelopathic interactions.....	31
Justificación de los operadores booleanos.....	32
Operador AND.....	32
Número de documentos repetidos .....	32
Criterios de selección y exclusión establecido para los artículos.....	32
Criterios de selección (inclusión) .....	33
Año de publicación (2020–2025).....	33
Tipo de documento. ....	33
Relevancia temática con el objetivo del estudio.....	33
Criterios de exclusión .....	34
Documentos no relacionados directamente con el tema de estudio.....	34

Número de documentos descartados de acuerdo con cada uno de los criterios de exclusión establecidos.....	34
Resultados .....	36
Análisis de acuerdo a la búsqueda bibliométrica en Scopus .....	37
Análisis de los resultados encontrados en la investigación .....	46
En cultivos de cereales y/o relacionados .....	46
En cultivos de leguminosas y/o relacionados .....	48
En cultivos de hortalizas y/o relacionados.....	50
En otros cultivos sobre alelopatía y/o relacionados.....	52
Marco Conceptual y Teórico .....	57
Introducción a la Alelopatía .....	57
Definición de Alelopatía.....	57
Historia y Desarrollo del Concepto .....	58
Importancia de la Alelopatía en la Agricultura.....	63
Objetivos de la Alelopatía en la Agricultura Sostenible.....	65
Compuestos Alelopáticos .....	66
Cutina, Ceras y Suberina .....	66
Metabolitos secundarios .....	67
Terpenos.....	68
Los terpenos defienden a muchas plantas de los herbívoros.....	68
Compuestos fenólicos.....	72
La fenilalanina es un intermediario en la biosíntesis de la mayoría de compuestos fenólicos de las plantas.....	72
Algunos compuestos fenólicos simples son activados por la luz ultravioleta. ....	73
Lignina.....	74
Principales flavonoides.....	74
Antocianinas.....	75
Los isoflavonoides (isoflavonas).....	75
Los taninos disuaden a los herbívoros.....	75
Compuestos que contienen nitrógeno.....	76

Los glicósidos cianogénicos liberan cianuro de hidrógeno venenoso. ....	77
Los glucosinatos liberan toxinas volátiles. ....	78
Los aminoácidos no proteicos defienden de los herbívoros.....	79
Ciertas proteínas vegetales inhiben la digestión en los herbívoros.....	79
El ácido jasmónico es una hormona vegetal del estrés que activa numerosas respuestas de defensa.....	80
Defensa Vegetal Contra Patógenos.....	80
Algunos compuestos antimicrobianos se sintetizan antes del ataque por patógenos.....	80
La infección induce defensas antipatógenos adicionales.....	80
Las fitoalexinas. ....	81
Algunas plantas reconocen sustancias específicas liberadas por los patógenos. ....	81
Limonoides. ....	82
Lactonas. ....	82
Saponinas. ....	82
Alcaloides. ....	83
La nicotina y coniína.....	83
Los ácidos fórmico y gálico. ....	84
Plantas con Potencial Alelopático .....	84
Tipos de control alelopático.....	84
Plantas acompañantes. ....	85
Plantas repelentes.....	85
Acelga ( <i>Beta vulgaris</i> ).....	85
Ajo ( <i>Allium sativum</i> ).....	85
Ahuyama o zapallo ( <i>Cucurbita máxima</i> ). ....	86
Albahaca ( <i>Oximum Bacilium</i> ). ....	86
Apio ( <i>Apium gravealens</i> ).....	86
Barbasco ( <i>Ply Jlantus ichthyomthius o tephrosia purpurea</i> ).....	86
Caléndula ( <i>Calendula officinalis</i> ). ....	87
Cilantro ( <i>Corindrum sativum</i> ).....	87
Cola de caballo ( <i>Equisetum bogotanse</i> ).....	87

	10
Curcuma ( <i>Curcuma Jonga l</i> ). .....	87
Girasol ( <i>Helianthus annws</i> ).....	88
Helecho ( <i>Polypodium vulgares</i> o <i>Dryteris paloceal</i> o <i>Dryteris filix</i> ). .....	88
Hierbabuena o yerbabuena ( <i>Menta piperita</i> ).....	88
Hortiga ( <i>Urticaurens</i> ). .....	88
Lechuga ( <i>Lactiva sativa</i> ). .....	89
Limoncillo ( <i>Cimbopagon citratus</i> ).....	89
Manzanilla ( <i>Anthemis novilis</i> ).....	89
Mejorana. ....	89
Nabo ( <i>Bracica napus</i> ).....	89
Orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ). .....	90
Ortiga picante ( <i>Urteco urens</i> ).....	90
Papaya ( <i>Carica papaya</i> ).....	90
Perejil ( <i>Petrocebioenum sativa</i> ). .....	90
Rábano picante ( <i>Raplamus rophomistrum</i> ).....	90
Repollo ( <i>Brassica oleroceae</i> ).....	91
Romero ( <i>Rosmarinus afficialis</i> ).....	91
Ruda ( <i>Ruta gravealns</i> ).....	91
Saúco ( <i>Sambucus nigra l</i> ).....	91
Tabaco ( <i>Nicotiana tabacum</i> ). .....	91
Tomillo ( <i>Thymus vulgaris</i> ). .....	92
Totumo ( <i>Crescentia cujete</i> ).....	92
Cultivos trampa.....	92
Alfalfa ( <i>Medicagos sativa</i> ).....	92
Fríjol canabalia ( <i>Canabalia insoforme</i> ).....	93
Papaya ( <i>Carica papaya</i> ).....	93
Soya ( <i>Ghycine max</i> ).....	93
Tabaco ( <i>Nicotina tabacum</i> ).....	93
Métodos de Extracción de Compuestos Alelopáticos.....	94
La infusión.....	94

	11
La decocción.....	94
Los extractos o zumos .....	94
El macerado o reposado.....	94
Extracción por arrastre de vapor.....	95
Extracción por soxhlet.....	96
Extracción por percolación.....	96
Métodos de Aplicación de Compuestos Alelopáticos .....	97
Volatilización.....	97
Lixiviación.....	97
Exudación .....	97
Descomposición de residuos vegetales.....	98
Acolchados o mulching .....	98
Rotación de Cultivos .....	100
Disponibilidad de nutrientes .....	101
Control de plagas y enfermedades .....	101
Disminución de arvenses .....	102
Efecto de las excreciones radiculares .....	102
Planificación de la rotación .....	103
Definir el ordenamiento dentro de la rotación. ....	104
Potrero 1.....	104
Potrero 2.....	104
Potrero 3.....	104
Potrero 4.....	104
Potrero 5 y 6.....	104
Extractos Líquidos y Pulverizaciones.....	105
Ejemplo de aplicación de extracto alelopático en estudio de laboratorio.....	106
Impacto de la Alelopatía en la Sostenibilidad y Productividad Agrícola.....	111
Efectos de la Alelopatía en el Crecimiento y Desarrollo de Cultivos de Interés Agronómico...	118
Cultivos de Cereales .....	118
Maíz (Zea mays).....	118

Extractos acuosos de forraje sobre <i>Glycine max</i> L. Merr., <i>Zea mays</i> L. y <i>Bidens pilosa</i> L.	119
Análisis metabolómico del suelo rizosférico: Nueva evidencia que respalda las ventajas ecológicas del sistema de cultivo intercalado de soja y maíz .....	119
Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) .....	120
Bacterias antagonistas de arvenses estimulan el crecimiento, la fisiología y el rendimiento del trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) .....	121
Bioherbidas .....	121
Fitotoxicidad de arvenses comunes sobre la germinación, el crecimiento de plántulas, la absorción de NPK y el contenido de clorofila .....	122
La ambrosía ( <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.) sobre la germinación de semillas y el crecimiento temprano de plántulas de cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.) y trébol blanco ( <i>Trifolium repens</i> L.) .....	122
<i>Baccharis ulicina</i> sobre la germinación y crecimiento inicial de <i>Avena sativa</i> , <i>Lolium perenne</i> y <i>Raphanus sativus</i> .....	123
Características de las plantas y del suelo afectadas por vías alelopáticas de arvenses <i>Avena fatua</i> y <i>Lolium temulentum</i> .....	124
<i>Sorghum bicolor</i> y <i>Solidago canadensis</i> .....	124
Manejo integrado de plagas de base biológica en el arroz: Un enfoque respetuoso con los agroecosistemas para la sostenibilidad agrícola .....	125
Exploración y aprovechamiento del fitobioma del arroz para afrontar los desafíos del cambio climático .....	126
Arvenses Asociadas al Cultivo de Arroz ( <i>Oryza sativa</i> L.) .....	126
Leguminosas .....	127
Extractos de girasol ( <i>helianthus annus</i> L.), maíz ( <i>zea mays</i> L.), frijol ( <i>phaseolus vulgaris</i> L.) y boniato ( <i>ipomoea batata</i> L.) sobre el crecimiento y desarrollo del frijol común ( <i>phaseolus vulgaris</i> L.) .....	127
Potencial alelopático de <i>Ficus auriculata</i> y <i>Ficus semicordata</i> sobre el crecimiento de cuatro cultivos alimentarios tradicionales del Himalaya de Garhwal .....	128
Influencia alelopática de <i>Morus alba</i> y <i>Grewia optiva</i> en el crecimiento y rendimiento de los cultivos de leguminosas .....	129

Efectos alelopáticos de <i>Chromolaena Odorata</i> L. en el rendimiento de la soja ( <i>Glycine Max</i> L. Merrill) .....	129
Influencia alelopática de <i>Rauwolfia tetraphylla</i> L. para el aumento del vigor radicular de plántulas de gramo ( <i>Cicer arietinum</i> L.).....	130
Efecto in vitro e in vivo de extractos de arvenses (raíces) en fitopatógenos fúngicos transmitidos por el suelo y leguminosas infectadas por hongos. Cultivo de gramo de Bengala ( <i>Cicer arietinum</i> ).....	131
Efecto alelopático del extracto acuoso de raíz de <i>Verbesina encelioides</i> sobre la germinación y el crecimiento de <i>Vigna radiata</i> , <i>Cicer arietinum</i> , <i>Cucumis melo</i> y <i>Zea mays</i> .....	132
El sorgo en el manejo de arvenses en guisante ( <i>Pisum sativum</i> var. <i>arvense</i> ) .....	132
<i>Eruca sativa</i> en el control de dos arvenses asociadas con plantas de arveja ( <i>Pisum sativum</i> ) .....	133
Descifrando el potencial alelopático de <i>Medicago ruthenica</i> (L.) Trautv.: perspectivas desde los efectos alelopáticos y la metabolómica no dirigida .....	134
Manejo de <i>Rumex dentatus</i> L. en cultivos de <i>Vicia faba</i> L. mediante <i>Ononis vaginalis</i> Vahl. como bioherbicida potencial.....	134
Respuesta de la haba al cultivo intercalado y al control biológico y químico de la jopo y la pudrición de la raíz .....	135
La poliploidización de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. potencia su actividad fitotóxica contra <i>Cyperus rotundus</i> L.....	135
Hortalizas.....	136
Residuos de amaranto ( <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.) en el control de arvenses y rendimiento de rábano, cebolla y zanahoria .....	136
Composición química y bioactividad ecológica del aceite esencial de <i>Citrus sinensis</i> .....	137
Actividad fitotóxica e identificación de constituyentes químicos en las partes aéreas de <i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) A.M.G. Azevedo & H.C. Lima (Fabaceae) .....	137
Impacto de la asociación de cultivos entre brócoli y haba en la fertilidad del suelo y la producción .....	138
Asociación de cultivos hortícolas .....	139
Tomate saladette ( <i>Solanum lycopersicum</i> Mill.).....	140

Actividades alelopáticas del extracto de apio ( <i>A. graveolens</i> L. var. dulce) y sus fracciones contra las arvenses <i>Corchorus olitorius</i> , <i>Echinochloa crusgalli</i> y <i>Portulaca oleracea</i> .....	140
Respuestas fisiológicas de plantas de <i>Helianthus annuus</i> L. bajo el efecto alelopático de <i>Cucurbita moschata</i> .....	141
Extractos de <i>Macrophylla furcraea</i> Baker (fique), <i>Cyperus rotundus</i> L. (coquito), <i>Sorghum bicolor</i> L. (sorgo), y <i>Ruta graveolens</i> L. (ruda) sobre la germinación de semillas de las arvenses <i>Bidens pilosa</i> L. (papunga) y <i>Amaranthus dubius</i> Mart (bledo) y del cilantro <i>Coriandrum sativum</i> L.....	142
Otros Cultivos.....	143
Restos de diferentes especies de plantas medicinales sobre la albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> L.).....	143
Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	144
Superación de los obstáculos del monocultivo en papa mediante el reclutamiento de bacterias promotoras del crecimiento a través de exudados radiculares.....	145
<i>Ruta graveolens</i> L. en la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de <i>Panicum turgidum</i> Forssk. y <i>Phalaris minor</i> Retz. ....	145
El acolchado entre cultivos afecta la biología del suelo y la diversidad microbiana en híbridos de algodón Bt transgénicos de secano .....	146
<i>Parthenium hysterophorus</i> L. una arvense de importancia internacional .....	147
Efectos alelopáticos diferenciales de las plantas de manglar <i>Kandelia obovata</i> y <i>Aegiceras corniculatum</i> sobre especies de algas nocivas: Aplicaciones potenciales en el control de floraciones de algas.....	147
Metabolitos secundarios como agentes bioestimulantes y bioprotectores .....	148
Los ácidos fenólicos aliviaron los problemas de replantación consecutiva en lirios al regular su alelopatía sobre los microorganismos de la rizosfera bajo reducción de fertilizantes químicos con agentes microbianos junto con la aplicación de fertilizantes orgánicos.....	148
Modelo de cultivo intercalado de nogal y té.....	149
Potencial alelopático de extractos de arvenses comunes para el manejo efectivo de <i>Parthenium hysterophorus</i> .....	149

Perfil fitoquímico y actividad alelopática de ocho especies de <i>Eucalyptus</i> sobre el desarrollo de la etapa inicial de crecimiento de cuatro especies locales en el sur de Túnez .....	149
Facilitación de la interacción raíz-suelo en plantaciones mixtas de <i>Eucalyptus grandis</i> con especies fijadoras de nitrógeno .....	150
Etnobotánica, farmacología, fitoquímica y fitotoxicidad de <i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Benth. & Hook. f. ex A. Gray (Girasol silvestre) .....	151
La arvense invasora <i>Oxalis pes-caprae</i> L. ....	151
Desarrollo de la producción sostenible de fresa en sistemas de cultivo cerrados: Efectos del biocarbón de bagazo sobre los atributos morfológicos y fisiológicos, el rendimiento y los cambios autotóxicos.....	152
La interacción del rizomicrobioma mediada por exudados radiculares mejora la supresión de la marchitez por <i>Fusarium</i> en crisantemos .....	153
La colonización por <i>Piriformospora indica</i> mejora la remediación de suelos contaminados con cadmio y cromo mediante el uso de pasto rey .....	153
<i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> .....	153
El 2,3-butanodiol, presente en los lixiviados de acículas de pino, induce la resistencia de <i>Panax notoginseng</i> al patógeno foliar <i>Alternaria panax</i> .....	154
Fracciones enriquecidas en lactonas sesquiterpénicas obtenidas del extracto de <i>Cynara cardunculus</i> mediante ultrafiltración .....	154
Exploración de la fitoquímica y el potencial biológico de <i>Tagetes minuta</i> (L.).....	155
Aleloquímicos como agentes de biocontrol: Aspectos prometedores, desafíos y oportunidades.....	155
Impacto de la incorporación de paja en la ecología del suelo y el rendimiento de los cultivos .....	156
El biocarbón modula las comunidades microbianas y sus características metabólicas en monocultivo continuo .....	156
Uso de biocarbón para el tratamiento del problema del monocultivo en plantas medicinales chinas .....	157
Acción selectiva de factores de estrés biótico en la germinación de semillas.....	157
Extractos vegetales: importancia en la agricultura sostenible .....	158

La doble naturaleza de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal .....	158
El futuro de la investigación sobre compuestos orgánicos volátiles de plantas (COVP) .....	159
Obstáculos del cultivo continuo en plantas medicinales .....	159
El impacto de la nanopolución en el metabolismo vegetal y la dinámica de los ecosistemas .....	160
Aplicaciones prácticas de la aleopatía en cultivos agrícolas .....	168
Aplicaciones alelopáticas en el cultivo de tomate de árbol ( <i>Solanum betaceum</i> ) .....	168
Aplicaciones prácticas para agricultores .....	169
Aplicaciones alelopáticas en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ) .....	169
Aplicaciones prácticas para agricultores .....	170
Aplicaciones alelopáticas en el cultivo de café ( <i>Coffea arabica</i> ).....	170
Aplicaciones prácticas para agricultores .....	170
Recomendaciones para la Implementación de la Aleopatía en la Agricultura Sostenible.....	172
Compilación de Guías Prácticas para Agricultores .....	172
La Aleopatía y la Agricultura .....	172
La Utilización de la Aleopatía y sus Efectos en Diferentes Cultivos Agrícolas .....	172
Importancia de la aleopatía en la agricultura.....	172
Aleopatía: como alternativa ancestral para el control de plagas en huertas familiares .....	172
Estrategias para la Difusión del Conocimiento sobre Aleopatía .....	173
Formación técnica.....	173
Cultivos demostrativos .....	173
Recursos didácticos .....	173
Uso de medios digitales y redes sociales .....	174
Vincular universidades y centros investigativos.....	174
Incorporación en planes de estudio.....	174
Compartir resultados de investigaciones en eventos científicos y agroecológicos .....	174
Propuestas para la Promoción de Prácticas Agrícolas Sostenibles.....	175
Capacitación continua.....	175
Parcelas demostrativas.....	175
Promoción de redes campesinas agroecológicas .....	175

	17
Incentivos económicos y reconocimiento.....	175
Herramientas tecnológicas.....	176
Apoyar proyectos liderados por mujeres y jóvenes .....	176
Síntesis de Hallazgos Clave .....	177
Limitaciones de la Revisión Bibliográfica.....	179
Futuras Líneas de Investigación.....	180
Conclusiones .....	181
Referencias Bibliográficas .....	185

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Cantidad de artículos identificados por base de datos consultada</i> .....	27
<b>Tabla 2</b> <i>Compuestos alelopáticos, métodos de extracción, dispersión y usos</i> .....	108
<b>Tabla 3</b> <i>Usos alelopáticos encontrados</i> .....	161

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Diagrama de flujo del proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de literatura científica sobre aleopatía y agricultura sostenible .....</i>	35
<b>Figura 2</b> <i>Documentos por año según la fuente en Scopus .....</i>	37
<b>Figura 3</b> <i>Documentos por año publicados en Scopus .....</i>	38
<b>Figura 4</b> <i>Documentos por autor publicados en Scopus .....</i>	39
<b>Figura 5</b> <i>Documentos por afiliación publicados en Scopus .....</i>	40
<b>Figura 6</b> <i>Documentos por país o territorio publicados en Scopus .....</i>	41
<b>Figura 7</b> <i>Documentos por tipo publicados en Scopus .....</i>	42
<b>Figura 8</b> <i>Documentos por área temática publicados en Scopus .....</i>	43
<b>Figura 9</b> <i>Documentos por entidad financiadora publicados en Scopus .....</i>	45
<b>Figura 10</b> <i>Vías a través de las cuales se liberan los agentes alelopáticos al entorno ..</i>	58
<b>Figura 11</b> <i>Fotografía de Hans Molisch .....</i>	63
<b>Figura 12</b> <i>Estructuras del limonero (A) y mentol (B) .....</i>	70
<b>Figura 13</b> <i>Factores que influyen en la calidad de la materia prima de origen vegetal</i>	105

## Introducción

El tema central que aborda esta monografía es la alelopatía como un sistema agrícola sostenible, orientado a promover el equilibrio ecológico del planeta mediante su aplicación en los sistemas de producción agrícola. Este enfoque busca resaltar el potencial de las interacciones químicas naturales entre plantas como alternativa viable al uso de productos de síntesis química, contribuyendo a una agricultura más sustentable y respetuosa con el medio ambiente.

En la actualidad, el uso intensivo de productos agrícolas de síntesis química se ha convertido en una práctica común para incrementar el rendimiento de los cultivos y controlar plagas y enfermedades. Sin embargo, su manejo inadecuado ha generado una serie de consecuencias ambientales y sociales preocupantes. Entre los principales efectos se encuentran la contaminación del suelo y del agua, la pérdida de fertilidad natural, la reducción de la biodiversidad, así como riesgos para la salud humana y animal. A largo plazo, estas prácticas comprometen la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y afectan los equilibrios ecológicos esenciales para la producción de alimentos. Este problema evidencia la necesidad de buscar alternativas más sostenibles, como el uso de productos biológicos, prácticas agroecológicas y manejo integrado de cultivos que permitan mantener la productividad sin deteriorar los ecosistemas. En este contexto, la aplicación de la alelopatía representa una estrategia natural que aprovecha las interacciones químicas entre las plantas para el control de plagas, enfermedades y arvenses, reduciendo así la dependencia de productos de síntesis química y contribuyendo al equilibrio ecológico de los sistemas agrícolas.

El objetivo general de este trabajo es determinar la aplicación de la alelopatía como una estrategia para la producción agrícola sostenible por medio del análisis bibliográfico de estudios científicos, evaluando su potencial para reducir el uso de agroquímicos y mejorar la

sostenibilidad agrícola. Para su desarrollo se plantea: compilar y analizar la literatura científica sobre los compuestos alelopáticos presentes en diversas plantas y sus efectos en cultivos agrícolas, evaluar los métodos de aplicación de compuestos alelopáticos en sistemas de cultivo documentados en la literatura y su impacto en la sostenibilidad y productividad agrícola, y por último, desarrollar recomendaciones basadas en actividades teórico-prácticas para la implementación de la alelopatía en la agricultura sostenible.

La monografía se organiza en tres capítulos: el primero aborda el marco teórico y conceptual de la alelopatía; el segundo presenta la metodología, resultados de estudios experimentales y recomendaciones para su implementación; y el tercero expone las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

## Planteamiento del Problema

Durante las últimas décadas, los agroquímicos han contribuido a la fertilidad del suelo, la salud de las plantas y el control de enfermedades; sin embargo, el uso desequilibrado de estos productos químicos también ha planteado el problema de la contaminación ambiental y las perturbaciones de los ecosistemas. Por lo tanto, la integridad del ecosistema corre mayores riesgos y, por lo tanto, deben implementarse enfoques sostenibles para lograr la producción agrícola y los resultados requeridos (Zahir et al., 2019, p. 54).

De acuerdo con Cecon (2008), la revolución verde, echada a andar en la década de los cincuenta, tuvo como finalidad generar altas tasas de productividad agrícola sobre la base de una producción extensiva de gran escala y el uso de alta tecnología. En los años noventa, se anunció una nueva revolución verde: la revolución genética que uniría a la biotecnología con la ingeniería genética, promoviendo de esta manera transformaciones significativas en la productividad de la agricultura mundial (p. 21).

El modelo agrícola de la revolución verde tiene como objetivo lograr una producción de alto rendimiento a través de prácticas de forzamiento, fomentadas por un sistema de I+d (caracterizado por combinar la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental), gracias a conocimientos obtenidos en áreas como: la mejora genética de las plantas; la química orgánica de síntesis asociada a los fertilizantes químicos y pesticidas, los organoclorados y organofosforados, por ejemplo; la maximización de la función de productividad de los cultivos, revisando el cumplimiento de los procesos de siembra, cosecha y poscosecha (Molina, 2021, p. 197).

Cecon (2008), resalta algunas de las consecuencias de la revolución verde:

Los agricultores pasaron a emplear un conjunto de innovaciones técnicas sin precedentes, entre ellas los agrotóxicos, los fertilizantes inorgánicos y, sobre todo, las máquinas agrícolas (p. 22).

Con la utilización de los agrotóxicos se acabaron las plagas y también sus enemigos naturales. El problema es que muchas plagas desarrollaron mutaciones genéticas, lo que les garantiza su resurgimiento, esta vez aniquilador debido a la muerte de sus enemigos naturales, causando daños a la agricultura y probando la ineficacia de gran parte de estos agrotóxicos. (p. 24 - 25).

Son varios los estudios sobre la repercusión de estos productos sobre la salud humana, ya sea por contacto directo o por ingestión. (p. 25).

Del Puerto et al. (2014), describen también, sobre los efectos de los plaguicidas en el medio ambiente, donde los productos de síntesis química utilizados en la agricultura para controlar las plagas, enfermedades y arvenses provocan una contaminación ambiental, y está dada fundamentalmente por la aplicación directa a los cultivos agrícolas, ocasionando que los restos de producto se dispersen en el ambiente y se conviertan en contaminantes para los sistemas biótico (animales y plantas principalmente) y abiótico (suelo, aire y agua) amenazando su estabilidad y representando un peligro de salud pública. Shadab et al. (2024), describen que los productos químicos sintéticos para el control de plagas agrícolas tienden a alterar el pH del suelo, lo que produce efectos adversos sobre la microfauna presente.

## Justificación

El manejo que se ha dado en la agricultura convencional es causa de gran parte de las afectaciones negativas que ha sufrido el medio ambiente, logrando desestabilizar los ecosistemas y la calidad de vida de forma general en el planeta, cubriendo la demanda alimenticia y demás productos generados de las producciones agrícolas, pero a un costo muy alto, ya que se ha generado una gran inestabilidad de los recursos ambientales, es por esto que se busca conocer sobre otra forma de agricultura, donde se pueda retribuir al medio ambiente con la estabilidad de los recursos, siendo necesarios para la sobrevivencia, por medio de metodologías tecnológicas sostenibles como lo es la alelopatía, y que, de acuerdo con Durán (2009), se ocupa del estudio de las interacciones químicas planta – planta y planta – microorganismos, ya sean estas perjudiciales o benéficas. En las comunidades bióticas, muchas especies se regulan unas a otras por medio de la producción y liberación de repelentes, atrayentes e inhibidores químicos (Durán, 2009 p. 42).

Durán (2009), indica que en los tejidos vegetales hay ciertas sustancias que constituyen un sistema de defensa. Estas sustancias llamadas aleloquímicos alomónicos, son compuestos moleculares que actúan como señales antialimentarias, tóxicas, alteradoras de la fisiología y/o comportamiento sexual o poblacional de los insectos. Estas relaciones se hacen importantes a medida que las plantas adultas sintetizan esencias y aromas característicos.

La alelopatía tiene un futuro prometedor para su aplicación en la agricultura, en el manejo natural de arvenses, la mejora de la salud del suelo y la supresión de enfermedades vegetales. Comprender el mecanismo de acción de la alelopatía, la identificación de plantas alelopáticas y la naturaleza de las interacciones alelopáticas podría conducir a la aplicación

adecuada de la alelopatía en la agricultura para el manejo de arvenses, el control de enfermedades de las plantas y la mejora de la salud del suelo. Posteriormente, los rendimientos y la producción de los cultivos pueden mejorarse de manera sostenible y puede minimizarse la dependencia de agroquímicos peligrosos (Zahir et al., 2019, p 54 - 55).

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar la aplicación de la alelopatía como una estrategia para la producción agrícola sostenible por medio del análisis bibliográfico de estudios científicos, evaluando su potencial para reducir el uso de agroquímicos y mejorar la sostenibilidad agrícola.

### **Objetivos específicos**

Compilar y analizar la literatura científica sobre los compuestos alelopáticos presentes en diversas plantas y sus efectos en cultivos agrícolas.

Evaluar los métodos de aplicación de compuestos alelopáticos en sistemas de cultivo documentados en la literatura y su impacto en la sostenibilidad y productividad agrícola.

Desarrollar recomendaciones basadas en actividades teórico-prácticas para la implementación de la alelopatía en la agricultura sostenible.

## Resultados

Se investigó a cerca de la aleopatía de forma general en varias bases de datos con el fin de encontrar información relevante; donde se hallaron 58 búsquedas incorporadas a la monografía, las cuales se utilizaron para fundamentar principalmente el marco conceptual y teórico, luego se realizó una búsqueda bibliométrica en la base de datos Science Direct, con una ecuación de búsqueda relacionada con el tema en estudio; donde se hallaron 83 artículos, descartándose 27; con los cuales se sustentó el desarrollo metodológico por medio de estudios científicos dónde se evidencia relación directa de la aplicación de la aleopatía en estudios de campo y laboratorio.

**Tabla 1**

*Cantidad de artículos identificados por base de datos consultada*

Base de datos	Número de documentos encontrados
Google Libros	6
Google	10
ELibro	1
Dialnet	2
EBSCO	9
Science Direct	83
Redalyc	4
AGROSAVIA	2
Repositorio ESPE	1

Frontiers	1
Comisión Interamericana de Agricultura Orgánica – CIAO	1
Gallica	1
Scielo	4
Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo	1
DOAJ	2
Biblioteca digital de Bogotá – BIBLORED	1
ResearchGate	2
Secretos para contar	1
Repositorio UPCT	1
SpringerLink	2
Scopus	1
FAO	1
MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute)	4

---

*Nota.* Esta tabla muestra las 23 bases de datos consultadas y el número de documentos encontrados en cada una

### **Ecuación de Búsqueda utilizada en Science Direct**

“allelopathy AND plant secondary metabolites AND sustainable agriculture AND agricultural productivity AND allelopathic interactions”.

Esta estrategia de búsqueda se diseñó para identificar literatura científica relacionada con el papel de la alelopatía en la agricultura sostenible y su impacto en la productividad agrícola, integrando aspectos ecológicos, bioquímicos y agronómicos del fenómeno.

### **Justificación de los Términos Incluidos**

#### ***Allelopathy***

El término “allelopathy” se incluyó porque representa el concepto central del tema de investigación. La alelopatía es un fenómeno biológico mediante el cual una planta libera compuestos químicos que influyen en el crecimiento, desarrollo o supervivencia de otros organismos cercanos. Estos compuestos, denominados aleloquímicos, pueden tener efectos inhibitorios o estimuladores sobre otras plantas (Cheng & Cheng, 2015).

Además, la alelopatía constituye un mecanismo importante en la competencia vegetal y en la dinámica de los ecosistemas agrícolas, siendo ampliamente estudiada como estrategia para el manejo de arvenses y la reducción del uso de agroquímicos en la agricultura (Pedrol et al., 2024).

#### ***Plant secondary metabolites***

El término “plant secondary metabolites” se incorporó porque los efectos alelopáticos son producidos principalmente por metabolitos secundarios sintetizados por las plantas, los

cuales cumplen funciones ecológicas como defensa contra herbívoros, competencia entre especies y señalización química en los ecosistemas (Teoh, 2015).

Estos metabolitos incluyen compuestos como fenoles, terpenoides, alcaloides y flavonoides, que pueden actuar como aleloquímicos y afectar el crecimiento de otras plantas o microorganismos (Golijan Pantović et al., 2020). Por esta razón, la inclusión de este término permite recuperar investigaciones que analizan la base bioquímica de los procesos alelopáticos.

### ***Sustainable agriculture***

El término “sustainable agriculture” se incluyó para enfocar la búsqueda en estudios que analicen la aplicación de la alelopatía como estrategia para sistemas agrícolas sostenibles.

La agricultura sostenible se define como un enfoque de producción agrícola que busca satisfacer las necesidades alimentarias actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas, mediante el uso eficiente de los recursos naturales, la reducción del impacto ambiental y el mantenimiento de la fertilidad del suelo y la biodiversidad (Food and Agriculture Organization [FAO], 2018).

En este contexto, la alelopatía ha sido ampliamente estudiada como una estrategia ecológica que puede contribuir a sistemas agrícolas sostenibles, ya que los compuestos alelopáticos producidos por las plantas pueden utilizarse para controlar arvenses de manera natural, reducir la dependencia de herbicidas sintéticos y mejorar la estabilidad ecológica de los agroecosistemas (Ain et al., 2023; Cheng & Cheng, 2015).

Por lo tanto, la inclusión del término “sustainable agriculture” en la ecuación de búsqueda permite identificar investigaciones que analizan el potencial de la alelopatía como herramienta para mejorar la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola, integrando aspectos ecológicos, agronómicos y ambientales.

### ***Agricultural productivity***

El término “agricultural productivity” se añadió para recuperar estudios que analicen el impacto de la alelopatía en el rendimiento de los cultivos.

Diversas investigaciones han demostrado que los efectos alelopáticos pueden influir en la productividad agrícola al mejorar el control natural de arvenses, aumentar la eficiencia en el uso de recursos y favorecer el crecimiento de los cultivos bajo determinadas condiciones (Chou, 1999; Vajja et al., 2025). Por lo tanto, este término permite relacionar el fenómeno ecológico de la alelopatía con su aplicación práctica en la producción agrícola.

### ***Allelopathic interactions***

El término “allelopathic interactions” se incluyó para recuperar estudios que analicen las interacciones ecológicas entre plantas mediadas por compuestos químicos alelopáticos.

Estas interacciones influyen en procesos como la competencia entre especies, la distribución de las plantas y el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas (Cheng & Cheng, 2015). Su inclusión amplía la búsqueda hacia investigaciones que examinan las relaciones ecológicas específicas generadas por la liberación de aleloquímicos.

## **Justificación de los operadores booleanos**

### ***Operador AND***

El operador booleano “AND” se utilizó para combinar los diferentes conceptos clave del tema de investigación. Este operador permite que los resultados recuperados contengan todos los términos incluidos en la ecuación, lo que aumenta la precisión de la búsqueda y reduce la recuperación de información irrelevante.

De esta forma, el operador AND integra los conceptos de:

Alelopatía

Metabolitos secundarios de plantas

Agricultura sostenible

Productividad agrícola

Interacciones alelopáticas

Esto garantiza que los artículos encontrados analicen la relación entre los mecanismos químicos de la alelopatía y su aplicación en sistemas agrícolas sostenibles, proporcionando resultados más específicos y relevantes para el objetivo de la investigación.

### **Número de documentos repetidos**

Ninguno

### **Criterios de selección y exclusión establecido para los artículos**

Para la recopilación de información científica sobre la alelopatía como un sistema para la producción agrícola sostenible, se establecieron criterios de inclusión y exclusión con el fin de garantizar la pertinencia, actualidad y calidad de los documentos analizados.

### ***Criterios de selección (inclusión)***

**Año de publicación (2020–2025).** Se seleccionaron artículos publicados entre 2020 y 2025. Este rango temporal permite incluir información reciente y actualizada, reflejando los avances más recientes en el estudio de la alelopatía y su aplicación en la agricultura sostenible, evitando al mismo tiempo un período de búsqueda demasiado amplio que pudiera incluir información desactualizada.

**Tipo de documento.** Se incluyeron artículos de investigación, artículos de revisión y capítulos de libros. Los artículos de investigación aportan resultados experimentales y datos empíricos, mientras que los artículos de revisión sintetizan el conocimiento existente sobre el tema. Los capítulos de libros científicos también proporcionan análisis detallados y contextualización teórica relevante para comprender la alelopatía y su relación con los sistemas agrícolas sostenibles. Relación con la ecuación de búsqueda

Se seleccionaron documentos que estuvieran directamente relacionados con los términos incluidos en la ecuación de búsqueda: “allelopathy AND plant secondary metabolites AND sustainable agriculture AND agricultural productivity AND allelopathic interactions”. Este criterio permitió recuperar estudios que abordan simultáneamente la alelopatía, los metabolitos secundarios de las plantas y su relación con la agricultura sostenible y la productividad agrícola, garantizando que los documentos seleccionados estuvieran alineados con el objetivo de la monografía.

**Relevancia temática con el objetivo del estudio.** Se incluyeron artículos que analizan el papel de la alelopatía en la interacción entre plantas, el control de arvenses, la productividad de los cultivos o su aplicación en sistemas agrícolas sostenibles. Este criterio asegura que los

documentos seleccionados contribuyan directamente a comprender cómo la alelopatía puede utilizarse como una estrategia ecológica para mejorar la sostenibilidad agrícola.

### ***Criterios de exclusión***

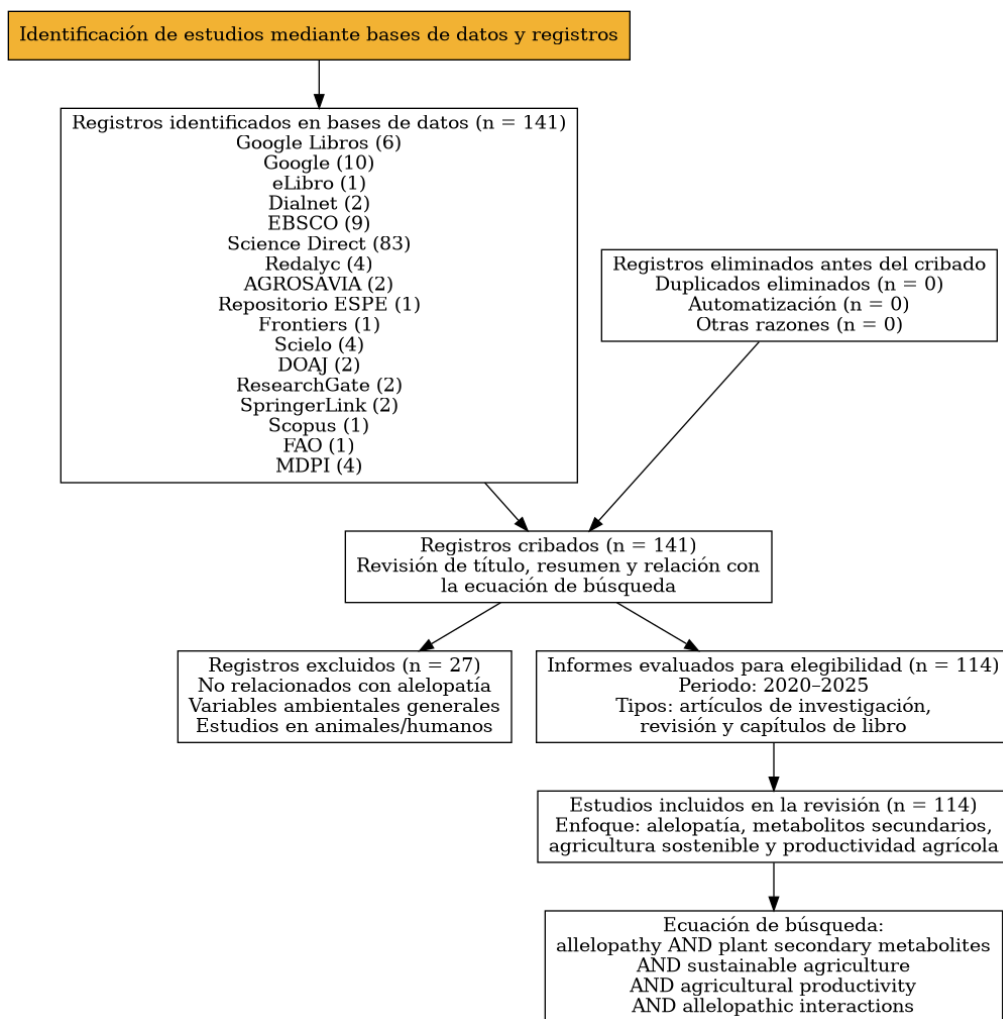
**Documentos no relacionados directamente con el tema de estudio.** Se excluyeron artículos que, aunque relacionados con la sostenibilidad ambiental o la ecología, no abordaban directamente la alelopatía en el contexto de la producción agrícola sostenible. Algunos estudios recuperados trataban temas ambientales generales, como microplásticos en ecosistemas terrestres, que, si bien están vinculados con la sostenibilidad ambiental, no se relacionan directamente con el objetivo central de la monografía, que es analizar la alelopatía como herramienta para la producción agrícola sostenible. Artículos que no abordaban las interacciones alelopáticas en sistemas agrícolas.

También se excluyeron estudios centrados únicamente en aspectos químicos o fisiológicos de los metabolitos secundarios sin relacionarlos con su función en los sistemas agrícolas o la productividad de cultivos. El objetivo del estudio se enfoca en la aplicación agrícola de la alelopatía, por lo que se priorizaron investigaciones que vincularan estos compuestos con procesos ecológicos o agronómicos.

**Número de documentos descartados de acuerdo con cada uno de los criterios de exclusión establecidos**

**Figura 1**

*Diagrama de flujo del proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de literatura científica sobre alelopatía y agricultura sostenible*



*Nota.* Diagrama de flujo del proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de literatura científica sobre alelopatía y agricultura sostenible aplicado en la monografía. Adaptado de: *PRISMA 2020, propuesto por Page & cols., complementado con la ecuación de búsqueda*

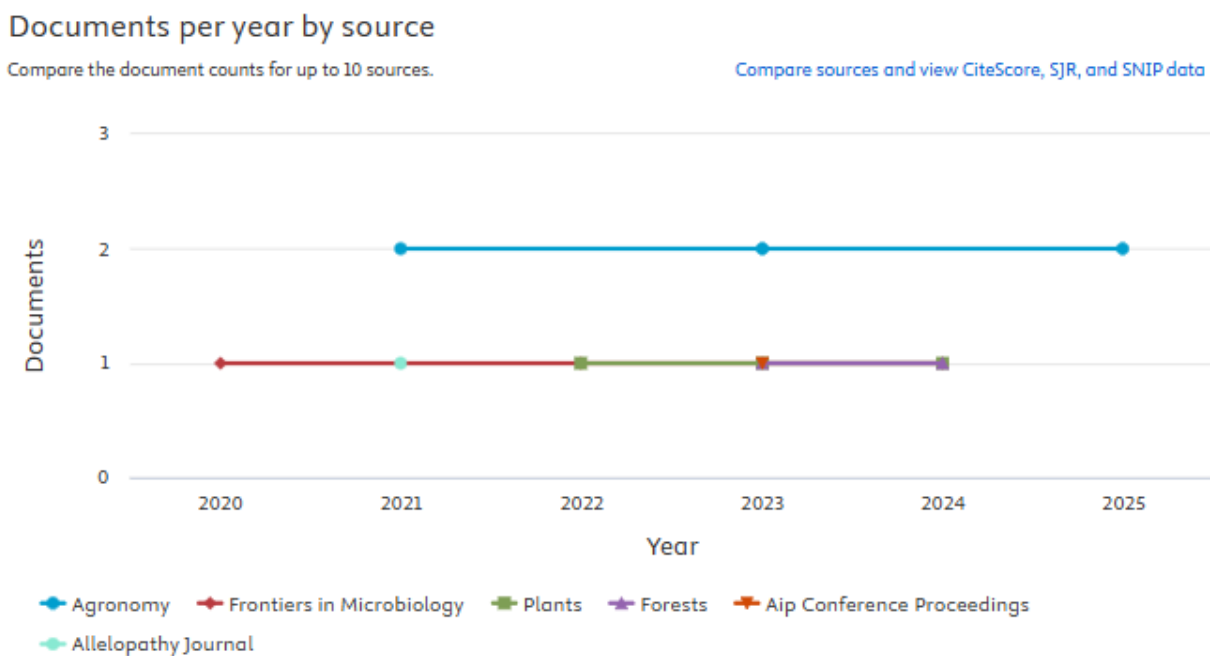
## Resultados

Los artículos seleccionados para la investigación sobre la “aplicación de la alelopatía como un sistema para la producción agrícola sostenible, se encontraron en varias bases de datos, y principalmente, en la base de datos Science Direct, por medio de la ecuación de búsqueda: “allelopathy AND plant secondary metabolites AND sustainable agriculture AND agricultural productivity AND allelopathic interactions”, hallándose 83 en total, de los cuales se seleccionaron 56, de acuerdo con los criterios establecidos, sin embargo, se decidió realizar el análisis bibliométrico a partir de una búsqueda en base de datos Scopus, ya que esta base de datos sí permite generar las gráficas respectivas para concluir las características generales de la información encontrada, en su misma plataforma. Por lo cual se realizó una búsqueda por medio de la ecuación: “(Allelopathy OR allelopathic interactions) AND plant secondary metabolites AND sustainable agriculture AND agricultural productivity”; algo modificada a la de Science Direct, teniendo en cuenta la cantidad de artículos generados, siendo para este caso de 58 documentos, en el período comprendido de 2020 a 2025 para las dos búsquedas.

## Análisis de acuerdo a la búsqueda bibliométrica en Scopus

### Figura 2

*Documentos por año según la fuente en Scopus*



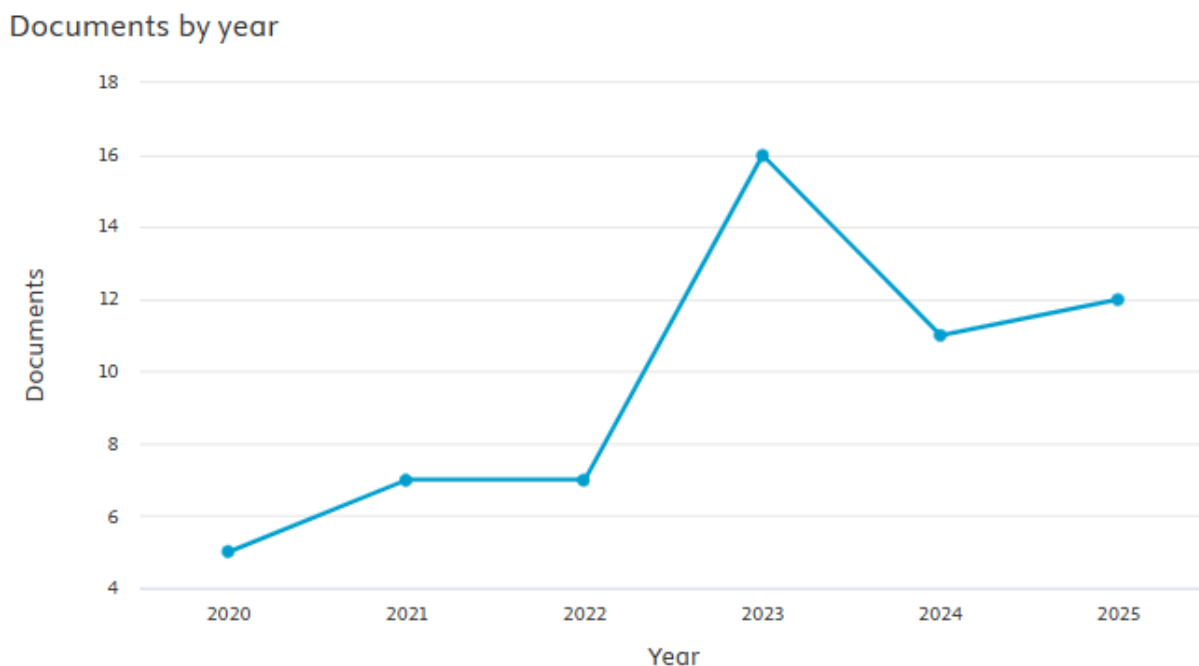
*Nota.* Documentos por año según la fuente de acuerdo a la ecuación de búsqueda publicados en Scopus. Tomado de: *Base de datos Scopus*. <https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/pages/search/publications?searchId=cbdd64e9-13be-4935-a384-c6dbdeb16ed1>

La producción por fuente se mantiene estable en el tiempo, sin cambios significativos en el número de publicaciones. La revista *Agronomy* destaca con una producción constante de aproximadamente 2 documentos por año, posicionándose como la principal fuente. Otras revistas como *Plants*, *Forests* y *Frontiers in Microbiology*, presentan una participación menor pero continua, mientras que *AIP Conference Proceedings* y *Allelopathy Journal* muestran aportes

puntuales. En general, se observa una distribución equilibrada entre varias fuentes, con predominio de una revista líder.

### Figura 3

*Documentos por año publicados en Scopus*



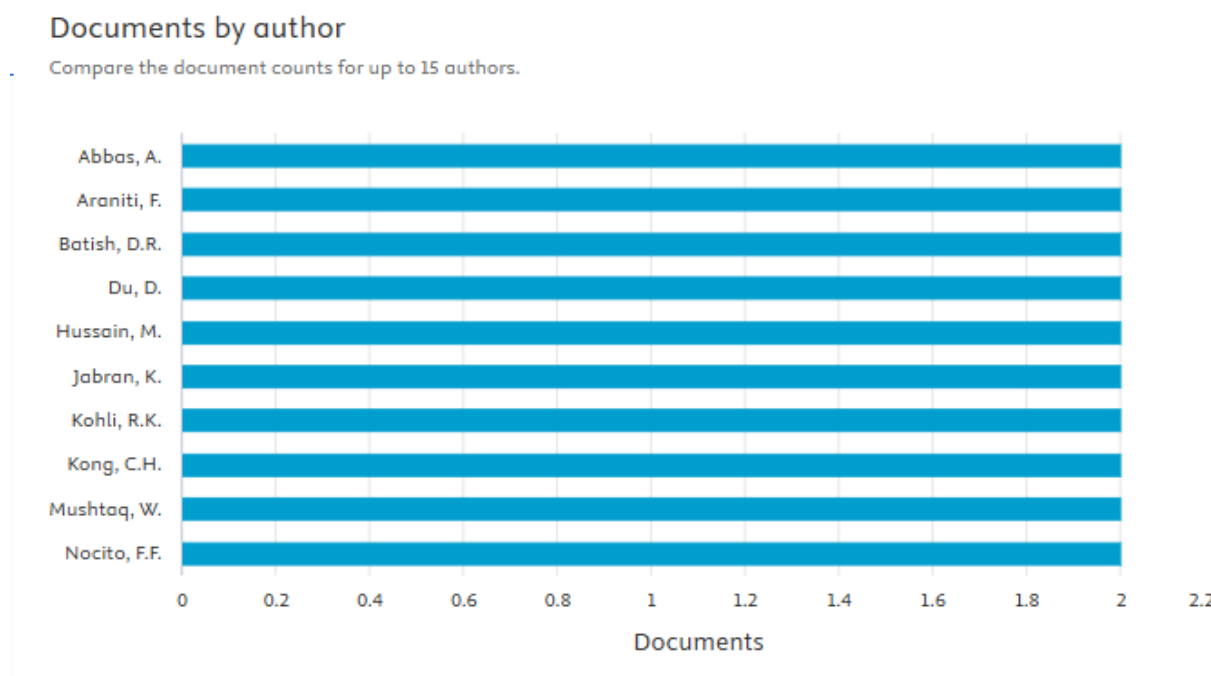
*Nota.* Documentos por año de acuerdo a la ecuación de búsqueda publicados en Scopus. Tomado de: *Base de datos Scopus*. <https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/pages/search/publications?searchId=cbdd64e9-13be-4935-a384-c6dbdeb16ed1>

La figura muestra una tendencia general creciente en la producción científica entre 2020 y 2025. Se observa un aumento moderado hasta 2022, seguido de un incremento significativo en 2023, año con mayor número de publicaciones. Posteriormente, hay una leve disminución en

2024 y una ligera recuperación en 2025. En conjunto, los datos indican un creciente interés en la temática, con algunas fluctuaciones recientes.

#### Figura 4

*Documentos por autor publicados en Scopus*



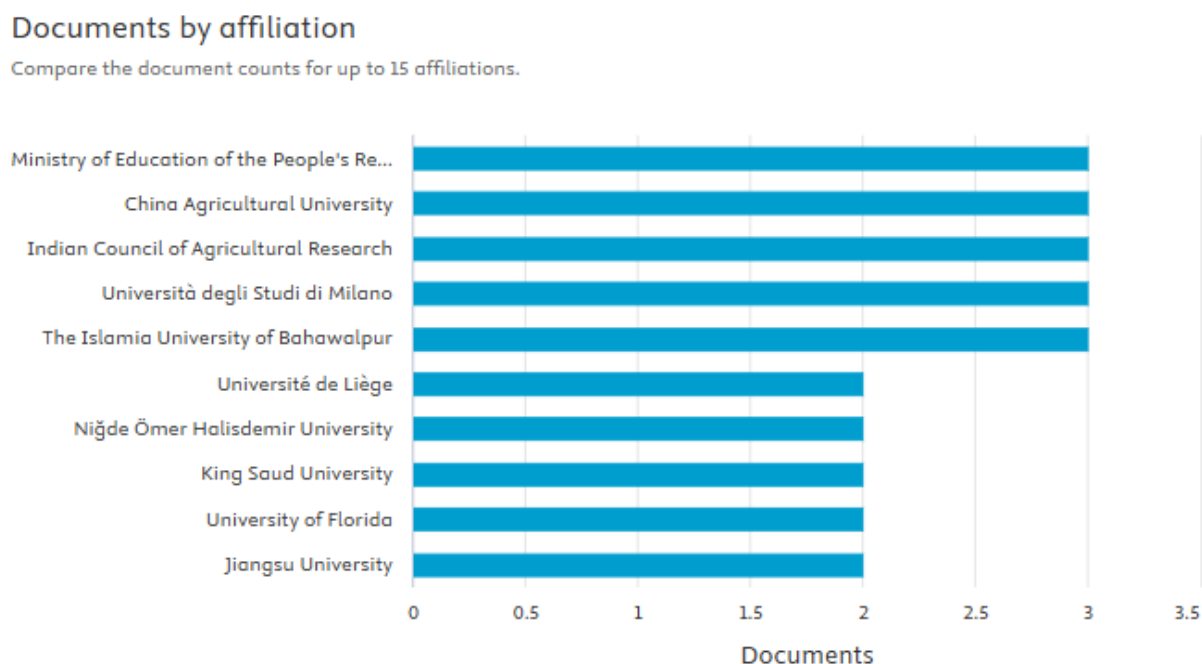
*Nota.* Documentos por autor de acuerdo a la ecuación de búsqueda publicados en Scopus.

Tomado de: *Base de datos Scopus*. <https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/pages/search/publications?searchId=cbdd64e9-13be-4935-a384-c6dbdeb16ed1>

La figura muestra que varios autores presentan una producción similar, con aproximadamente 2 publicaciones cada uno. No se observa un autor claramente dominante, lo que indica una distribución equilibrada de la producción científica. Esto sugiere que el tema ha sido abordado por diferentes investigadores sin una concentración marcada en un solo autor.

## Figura 5

*Documentos por afiliación publicados en Scopus*



*Nota.* Documentos por afiliación de acuerdo a la ecuación de búsqueda publicados en Scopus.

Tomado de: *Base de datos Scopus*. [https://www-scopus-](https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/pages/search/publications?searchId=cbdd64e9-13be-4935-a384-c6dbdeb16ed1)

[com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/pages/search/publications?searchId=cbdd64e9-13be-4935-a384-c6dbdeb16ed1](https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/pages/search/publications?searchId=cbdd64e9-13be-4935-a384-c6dbdeb16ed1)

La figura muestra las principales instituciones donde se desarrollaron las investigaciones. Se observa que entidades como el Ministry of Education of the People's Republic of China, China Agricultural University y el Indian Council of Agricultural Research presentan el mayor número de publicaciones con 3 documentos cada una. Otras instituciones muestran una producción ligeramente menor pero similar entre sí.

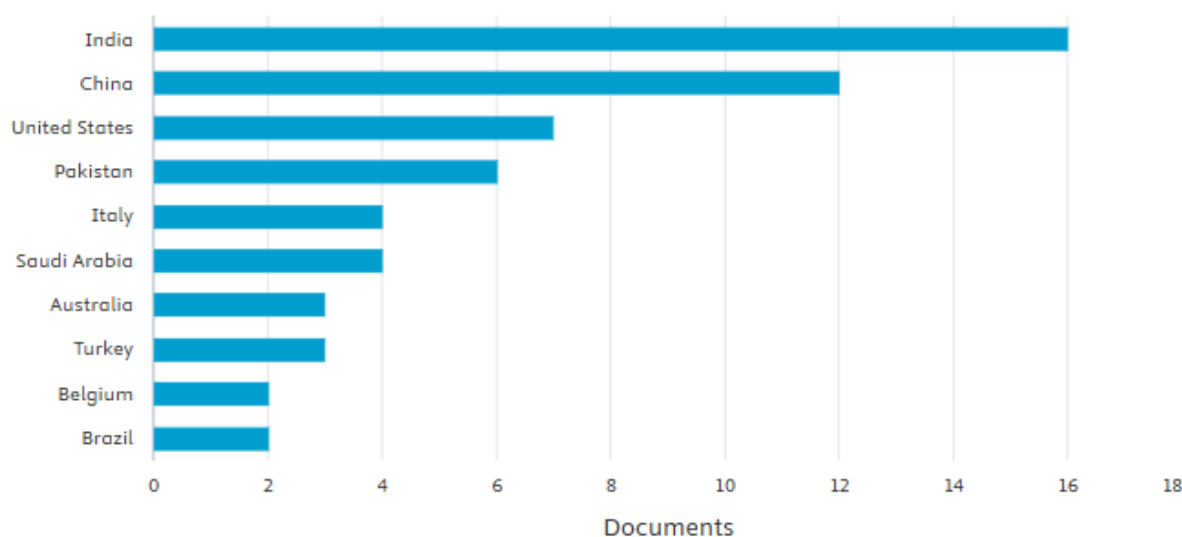
En general, los resultados evidencian una concentración moderada de la producción científica en instituciones específicas, principalmente vinculadas al ámbito agrícola y académico, lo que resalta su papel en el desarrollo de la temática.

### Figura 6

*Documentos por país o territorio publicados en Scopus*

#### Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



*Nota.* Documentos por país o territorio de acuerdo a la ecuación de búsqueda publicados en Scopus. Tomado de: *Base de datos Scopus*. <https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/pages/search/publications?searchId=cbdd64e9-13be-4935-a384-c6dbdeb16ed1>

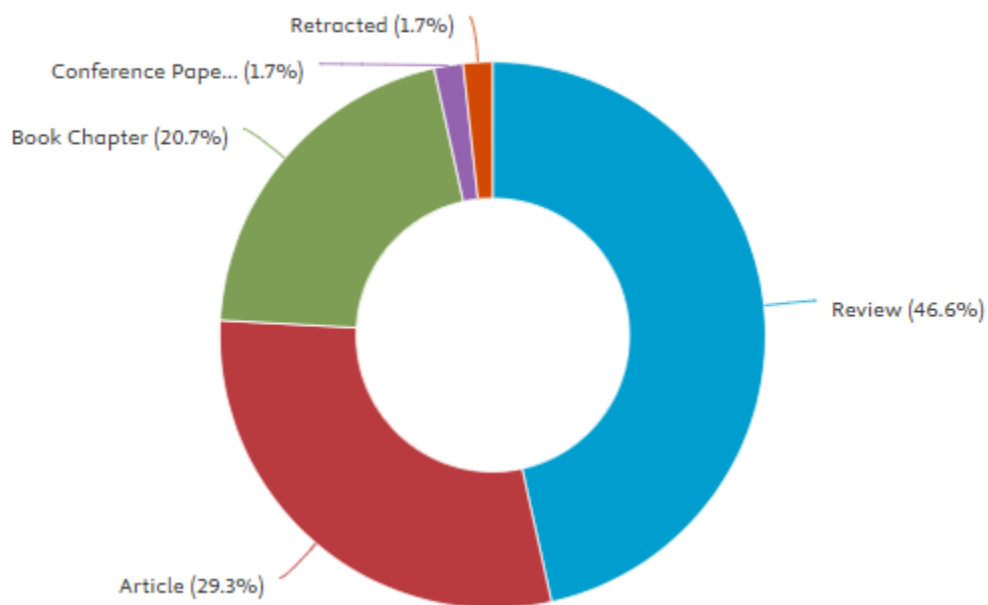
La figura muestra que India lidera la producción científica con el mayor número de publicaciones, seguida por China y Estados Unidos. Otros países como Pakistán, Italia y Arabia Saudita presentan una participación menor.

En general, los resultados indican que la investigación está concentrada principalmente en países asiáticos, lo que sugiere un alto interés en la temática dentro de estas regiones, especialmente en el ámbito agrícola. Aunque no se evidencia en la gráfica; a nivel sudamérica solo participa Chile además de Brasil.

### Figura 7

*Documentos por tipo publicados en Scopus*

#### Documents by type



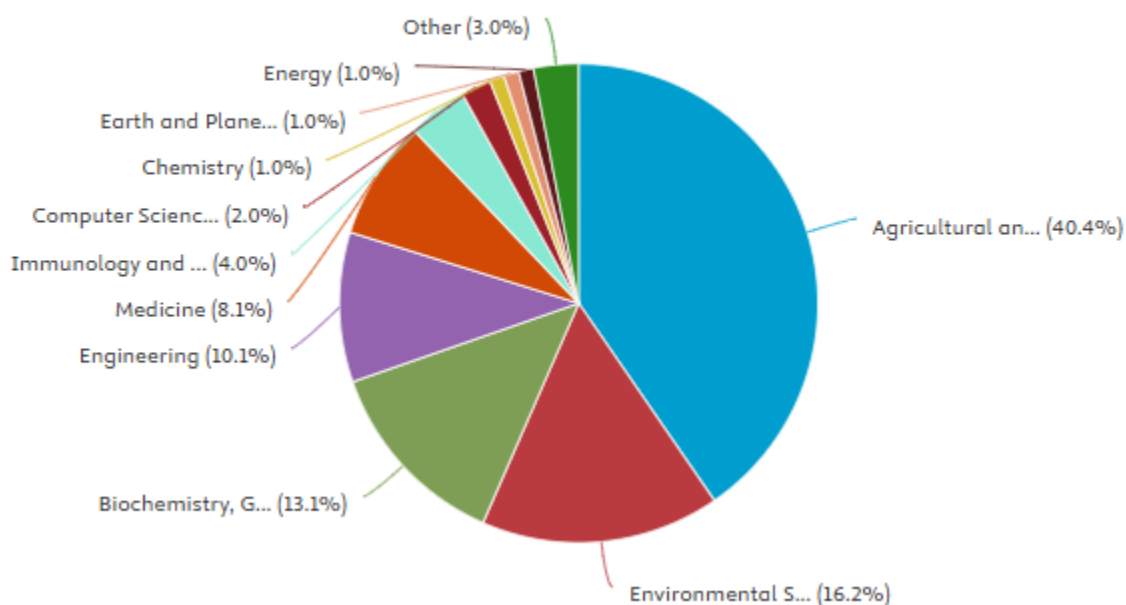
*Nota.* Documentos por tipo de acuerdo a la ecuación de búsqueda publicados en Scopus. Tomado de: *Base de datos Scopus*. <https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/pages/search/publications?searchId=cbdd64e9-13be-4935-a384-c6dbdeb16ed1>

La mayor proporción de documentos corresponde a los artículos de revisión (46.6%), lo que indica un alto nivel de consolidación del tema. Los artículos científicos (29.3%) reflejan una producción relevante de investigaciones originales, mientras que los capítulos de libro (20.7%) evidencian presencia en obras académicas. Finalmente, los conference papers y artículos retractados (1.7% cada uno) tienen una participación mínima, indicando baja presencia en eventos y buena confiabilidad en las publicaciones.

### Figura 8

*Documentos por área temática publicados en Scopus*

#### Documents by subject area



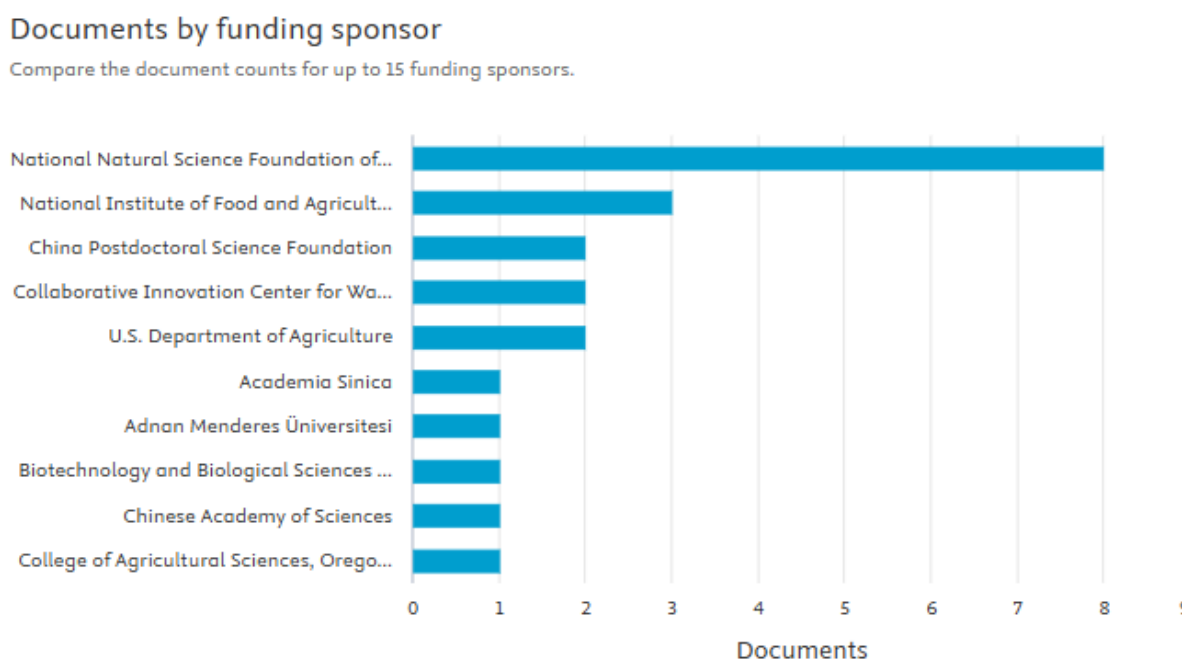
*Nota.* Documentos por área temática de acuerdo a la ecuación de búsqueda publicados en Scopus. Tomado de: *Base de datos Scopus*. <https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/pages/search/publications?searchId=cbdd64e9-13be-4935-a384-c6dbdeb16ed1>

La mayor producción se concentra en Ciencias Agrícolas y Biológicas (40.4%), lo que indica que el tema está fuertemente relacionado con este campo. Le siguen las Ciencias Ambientales (16.2%) y la Bioquímica, Genética y Biología Molecular (13.1%), evidenciando un enfoque interdisciplinario orientado al estudio del entorno y procesos biológicos. Otras áreas como Ingeniería (10.1%) y Medicina (8.1%) también aportan al desarrollo del tema, mientras que disciplinas como química, energía y ciencias de la computación presentan una participación menor.

En conjunto, los resultados reflejan que el tema tiene un enfoque principalmente biológico y ambiental, con aportes complementarios de otras áreas.

## Figura 9

*Documentos por entidad financiadora publicados en Scopus*



*Nota.* Documentos por entidad financiadora de acuerdo a la ecuación de búsqueda publicados en Scopus. Tomado de: *Base de datos Scopus*. <https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/pages/search/publications?searchId=cbdd64e9-13be-4935-a384-c6dbdeb16ed1>

La National Natural Science Foundation of China destaca como el principal financiador con el mayor número de documentos, lo que evidencia su fuerte apoyo al desarrollo del área. Le siguen instituciones como el National Institute of Food and Agriculture y otras organizaciones científicas con una participación menor pero relevante. Además, diversas entidades presentan contribuciones reducidas, lo que indica una distribución diversificada del financiamiento, aunque

con predominio de una institución líder. En general, los resultados reflejan que el impulso investigativo proviene principalmente de organismos gubernamentales y académicos.

### **Análisis de los resultados encontrados en la investigación**

#### ***En cultivos de cereales y/o relacionados***

El estudio en *Zea mays* indicó que los residuos de arvenses como *S. halepense*, *C. rotundus*, *P. hysterophorus*, *E. colonum* y *C. diffusa* ejercen un efecto alelopático inhibitorio sobre la emergencia, altura y biomasa de las plántulas, especialmente a los cinco días de incorporación, mientras que *P. hysterophorus* y *C. diffusa* prolongan la reducción del crecimiento. Asimismo, extractos de *Pennisetum glaucum* y *Crotalaria spectabilis* mostraron un efecto estimulante al incrementar la germinación del cultivo.

El estudio en *Glycine max* mostró que extractos de *Avena strigosa* y *Raphanus sativus* aumentan la germinación y el crecimiento de plántulas, mientras que en monocultivo se incrementa la acumulación de ácidos fenólicos con potencial autotóxico; sin embargo, en asociación con *Zea mays* se reduce este efecto alelopático, evidenciando una interacción favorable.

El estudio en *Triticum aestivum* indicó que compuestos como benzoxazinonas (BXZ), fenoxazinonas y ácidos fenólicos inhiben el crecimiento de arvenses como *Bromus japonicus*, *Chenopodium album* y *Lolium rigidum*, siendo potenciados por la actividad microbiana del suelo. Además, bacterias antagonistas del género *Pseudomonas* controlan selectivamente arvenses sin afectar el cultivo e incluso mejoran su crecimiento.

El estudio en *Hordeum vulgare* evidenció que extractos de *Ambrosia artemisiifolia* reducen significativamente la germinación y el crecimiento de plántulas, con efectos inhibitorios más marcados en raíces y brotes, aunque con menor sensibilidad relativa frente a otras especies.

El estudio en *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare*, *Brassica juncea* y *Eleusine coracana* indicó que extractos de *Erigeron annuus*, *Stellaria media* y *Poa annua* reducen la germinación, el crecimiento, la absorción de nutrientes y el contenido de clorofila, siendo el efecto dependiente de la concentración y con mayor toxicidad de *E. annuus*.

El estudio en *Triticum aestivum* mostró que los lixiviados, exudados y residuos de *Avena fatua* y *Lolium temulentum* contienen ácidos fenólicos como el ácido cítrico y cumárico, los cuales suprimen el crecimiento del cultivo y afectan propiedades del suelo según su concentración.

El estudio en *Avena sativa*, *Lolium perenne* y *Raphanus sativus* evidenció que extractos de *Baccharis ulicina* generan una fuerte fitotoxicidad, reduciendo la germinación y el crecimiento, especialmente en raíces.

El estudio en *Sorghum bicolor* indicó que sus exudados radiculares, en conjunto con los de *Solidago canadensis*, ejercen efectos inhibitorios sobre especies nativas, pero pueden favorecer especies invasoras como *Bromus sterilis*, evidenciando una interacción alelopática diferencial.

El estudio en *Oryza sativa* evidenció que compuestos como sesquiterpenlactonas presentes en *Lagascea mollis* inducen alteraciones fisiológicas, como malformaciones radiculares, reduciendo el vigor y crecimiento del cultivo.

Finalmente, diversos estudios indicaron que la combinación de extractos alelopáticos con consorcios bacterianos potencia el control de arvenses y mejora el rendimiento en cultivos como maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*) y algodón (*Gossypium hirsutum*), evidenciando sinergias positivas en sistemas agrícolas sostenibles.

### ***En cultivos de leguminosas y/o relacionados***

El estudio en *Phaseolus vulgaris* indicó que extractos de *Helianthus annuus*, *Zea mays*, *Ipomoea batatas* y del propio cultivo ejercen un efecto alelopático inhibitorio sobre la germinación, sobrevivencia y crecimiento inicial, destacándose una mayor reducción en la longitud del tallo según la concentración; además, los residuos de girasol disminuyen significativamente la longitud radicular.

El estudio en *Vigna umbellata* evidenció que extractos de *Ficus auriculata* y *Ficus semicordata* pueden estimular el crecimiento y la biomasa de plántulas, mostrando un efecto alelopático positivo, con menor sensibilidad en comparación con otros cultivos evaluados.

El estudio en *Glycine max* y *Vigna mungo* mostró que extractos de hojarasca de *Morus alba* y *Grewia optiva* generan efectos inhibitorios en etapas iniciales, pero sin afectar significativamente el rendimiento final, indicando una disminución del efecto alelopático con el tiempo.

La incorporación de biomasa de *Chromolaena odorata* en el cultivo de *Glycine max* indicó que mejora el crecimiento y rendimiento del cultivo sin afectar la germinación, evidenciando un efecto alelopático positivo asociado a la fertilidad del suelo.

El estudio en *Cicer arietinum* mostró que extractos de raíz de *Rauwolfia tetraphylla* estimulan el crecimiento radicular, el vigor de plántulas y la calidad fisiológica mediante la modificación del patrón de la rizosfera.

El estudio en *Cicer arietinum* evidenció que extractos de *Dactyloctenium aegyptium* y *Chenopodium album* presentan efectos antifúngicos significativos contra *Fusarium oxysporum* y *Sclerotium rolfsii*, mejorando la germinación, crecimiento y características fisiológicas del cultivo al reducir la incidencia de patógenos.

El estudio en *Pisum sativum* indicó que extractos y residuos de *Sorghum bicolor* reducen la infestación de arvenses y aumentan el rendimiento, evidenciando un efecto alelopático útil en el manejo sostenible de arvenses.

El estudio en *Pisum sativum* mostró que extractos y polvo de *Eruca sativa* inhiben el crecimiento de arvenses como *Phalaris minor* y *Beta vulgaris*, mientras que a concentraciones adecuadas incrementan el rendimiento del cultivo, asociado a compuestos como glucosinolatos y fenoles.

El estudio en *Medicago ruthenica* evidenció que compuestos como ácidos orgánicos y flavonoides presentes en sus extractos actúan como aleloquímicos, sugiriendo un potencial alelopático sobre especies vecinas.

El estudio en *Vicia faba* indicó que extractos de *Ononis vaginalis* reducen la germinación de la arvense *Rumex dentatus* sin afectar significativamente el cultivo, evidenciando selectividad alelopática.

*Vicia faba* mostró que el cultivo intercalado con especies como ajo y el uso de microorganismos benéficos reduce enfermedades y plantas parásitas como *Orobancha spp.*, mejorando el rendimiento mediante interacciones biológicas complementarias.

El estudio en *Trigonella foenum-graecum* evidenció que su actividad alelopática se incrementa con la poliploidización, inhibiendo el crecimiento de *Cyperus rotundus* mediante alteraciones fisiológicas como daño de membranas, estrés oxidativo y disminución de la respiración celular.

#### ***En cultivos de hortalizas y/o relacionados***

El estudio en *Raphanus sativus*, *Allium cepa* y *Daucus carota* indicó que los residuos de *Amaranthus hypochondriacus* inhiben el crecimiento de arvenses como *Simsia amplexicaulis* y gramíneas, reduciendo su densidad y biomasa; además, favorecen el rendimiento de cebolla y zanahoria, pero no del rábano, evidenciando un efecto alelopático selectivo.

El estudio en *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa* mostró que el aceite esencial de *Citrus sinensis*, rico en limoneno, inhibe significativamente la germinación y el crecimiento radicular, evidenciando un fuerte efecto alelopático.

El estudio en *Lactuca sativa* evidenció que extractos de *Lonchocarpus cultratus*, ricos en flavonoides, inhiben la velocidad de germinación y el crecimiento del hipocótilo y la raíz, mostrando actividad fitotóxica diferencial según la fracción.

El estudio en *Brassica oleracea* var. *italica* asociado con *Vicia faba* indicó que la interacción mejora la fertilidad del suelo (N, P y K) y aumenta la productividad, evidenciando efectos positivos indirectos en el sistema.

El estudio en *Cucumis melo* asociado con *Vigna unguiculata* mostró que la asociación mejora la materia orgánica y nutrientes del suelo sin afectar negativamente el rendimiento, favoreciendo la sostenibilidad del sistema.

El estudio en *Solanum lycopersicum* indicó que compuestos volátiles de *Tagetes erecta*, *Ocimum basilicum* y *Origanum majorana* estimulan el crecimiento, biomasa y floración temprana del cultivo, evidenciando un efecto alelopático positivo.

El estudio en *Apium graveolens* evidenció que extractos ricos en ácidos fenólicos inhiben fuertemente la germinación y el crecimiento radicular de arvenses como *Corchorus olitorius*, *Echinochloa crusgalli* y *Portulaca oleracea*, con efecto dependiente de la dosis.

El estudio en *Helianthus annuus* mostró que residuos de *Cucurbita moschata* generan efectos duales, inhibiendo parcialmente la germinación, pero estimulando el crecimiento, biomasa y contenido de clorofila en ciertos tratamientos.

El estudio en *Coriandrum sativum* indicó que extractos de *Furcraea macrophylla*, *Cyperus rotundus*, *Sorghum bicolor* y *Ruta graveolens* inhiben la germinación de arvenses como *Bidens pilosa* y *Amaranthus dubius*, aunque también afectan negativamente la germinación del cultivo, evidenciando baja selectividad.

### ***En otros cultivos sobre alelopatía y/o relacionados***

Se evidenció que los restos de *Aloe vera*, *Matricaria recutita* y *Plectranthus amboinicus* ejercen un efecto estimulante sobre la germinación de la albahaca. Sin embargo, en etapas de desarrollo vegetativo, especialmente en la elongación del epicótilo y hipocótilo, se observó un efecto inhibitorio marcado principalmente por *Calendula officinalis* y *Plectranthus amboinicus*, asociado a posibles aleloquímicos.

El extracto de nogal, rico en juglona, presenta un fuerte efecto alelopático inhibitor sobre la papa (*Solanum tuberosum*), interfiriendo en procesos fisiológicos clave como el equilibrio hormonal, la actividad de cloroplastos y mitocondrias.

En sistemas de monocultivo de papa, los exudados radiculares modifican la comunidad microbiana del suelo, promoviendo bacterias beneficiosas como *Pantoea sp.* mediante el aumento de ácido indol-3-acético.

Los extractos y lixiviados de *Ruta graveolens* presentan un efecto alelopático dependiente de la concentración, inhibiendo significativamente la germinación y crecimiento de *Panicum turgidum* y *Phalaris minor*.

*Parthenium hysterophorus* libera compuestos como partenina, flavonoides y lactonas sesquiterpénicas que generan efectos alelopáticos altamente negativos, inhibiendo la germinación, fotosíntesis, respiración y desarrollo radicular en cultivos.

Extractos de especies como *Euphorbia bonariensis*, *Xanthium strumarium* e *Imperata cylindrica* mostraron alta capacidad alelopática, reduciendo significativamente la germinación, biomasa y pigmentos fotosintéticos de *Parthenium hysterophorus*.

Las especies de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) presentan compuestos fenólicos, flavonoides y derivados de ácidos que inhiben la germinación y crecimiento de especies receptoras como *Cenchrus ciliaris* y *Peganum harmala*. La intensidad del efecto varía según la especie, siendo algunas altamente fitotóxicas y otras más benignas, lo que evidencia una alelopatía diferencial.

El sistema de cultivo intercalado nogal-té modifica la composición metabólica del suelo y de la planta, aumentando compuestos como polifenoles y alcaloides. Estas interacciones bioquímicas sugieren cambios en la dinámica del sistema suelo-planta que pueden influir indirectamente en procesos alelopáticos y de crecimiento.

El extracto de *Kandelia obovata* inhibe significativamente el crecimiento de algas nocivas como *Alexandrium tamarense* y *Karenia mikimotoi*, mientras que *Aegiceras corniculatum* no presenta efecto inhibitor, demostrando una alelopatía selectiva entre especies vegetales marinas.

El biocarbón reduce la acumulación de compuestos autoinhibidores como el ácido benzoico en sistemas de cultivo cerrado, disminuyendo efectos alelopáticos negativos y mejorando el crecimiento y rendimiento de cultivos como la fresa.

Los exudados radiculares del jengibre estimulan cambios en el rizomicrobioma del crisantemo, promoviendo microorganismos beneficiosos como *Burkholderia* sp. y suprimiendo

enfermedades como la marchitez por *Fusarium*, lo que evidencia una interacción bioquímica positiva entre especies.

Los exudados de *Pinus sylvestris* contienen ácidos fenólicos, flavonoides y terpenos con potencial alelopático. Sin embargo, en asociaciones con especies adaptativas como *Artemisia fruticosa*, se observa una interacción facilitadora que mejora el crecimiento mutuo, reduciendo efectos inhibitorios.

Las lactonas sesquiterpénicas presentes en *Cynara cardunculus* presentan alta actividad fitotóxica, inhibiendo el crecimiento de arvenses como *Portulaca oleracea*, lo que confirma su potencial uso como base para bioherbicidas.

El aceite esencial de *Tagetes minuta*, rico en terpenos como tagetona y ocimeno, presenta propiedades antimicrobianas e insecticidas, contribuyendo indirectamente al control de organismos fitopatógenos y competencia vegetal.

Diversos estudios muestran que metabolitos vegetales, compuestos volátiles y bacterias promotoras del crecimiento pueden tanto estimular como inhibir el desarrollo vegetal, dependiendo del ambiente, la especie y la dosis, evidenciando la complejidad de las interacciones alelopáticas en sistemas agrícolas.

El análisis bibliográfico realizado permitió identificar que la alelopatía constituye una herramienta viable dentro de los sistemas agrícolas sostenibles, especialmente en el manejo de arvenses, plagas y enfermedades. Se evidenció que los compuestos alelopáticos más relevantes corresponden a metabolitos secundarios como compuestos fenólicos, terpenoides, alcaloides y

flavonoides, los cuales presentan efectos tanto inhibitorios como estimulantes sobre otras plantas, dependiendo de su concentración y del contexto ambiental.

En relación con los métodos de extracción, se observó que técnicas como la maceración, extracción Soxhlet y arrastre de vapor permiten obtener compuestos con alta actividad biológica, mientras que métodos tradicionales como infusión y decocción siguen siendo ampliamente utilizados en sistemas agroecológicos por su accesibilidad. Asimismo, los mecanismos de liberación más frecuentes incluyen la lixiviación, la exudación radicular, la volatilización y la descomposición de residuos vegetales; procesos que determinan la disponibilidad de los aleloquímicos en el agroecosistema.

Un aspecto clave identificado fue la diversidad de interacciones alelopáticas entre especies vegetales. Estas interacciones pueden ser negativas, como la inhibición de la germinación y el crecimiento de arvenses mediante compuestos como la sorgoleona producida por *Sorghum bicolor*, o positivas, cuando ciertos extractos en bajas concentraciones estimulan el crecimiento vegetal. También se evidenciaron interacciones indirectas mediadas por el suelo, donde los aleloquímicos modifican la microbiota de la rizosfera, influyendo en la disponibilidad de nutrientes y en la resistencia de las plantas frente a patógenos.

En cuanto a la aplicación práctica, estrategias como el acolchado orgánico, la rotación de cultivos, el uso de cultivos de cobertura y la aplicación de extractos vegetales han demostrado ser eficaces para potenciar estas interacciones alelopáticas en campo. Ejemplos como el uso de especies del género *Tagetes* en el control de nematodos o la incorporación de residuos de sorgo en sistemas de maíz evidencian el potencial de la alelopatía como herramienta de manejo agroecológico. En conjunto, los resultados indican que la integración de interacciones

alelopáticas en los sistemas productivos contribuye a mejorar la fertilidad del suelo, promover la biodiversidad y aumentar la resiliencia de los cultivos frente a condiciones de estrés.

En la propuesta desarrollada para implementar la alelopatía en cultivos agrícolas, se observaron interacciones alelopáticas relevantes. En el cultivo de tomate de árbol, especies del género *Tagetes* liberan compuestos con efecto nematocida, lo que reduce poblaciones de nematodos fitoparásitos y mejora la sanidad del suelo. En el sistema maíz–sorgo, la liberación de sorgoleona por parte del sorgo inhibe la germinación y crecimiento de arvenses al afectar la fotosíntesis, lo que se traduce en una disminución de la competencia por recursos. Por su parte, en el cultivo de café, compuestos como la cafeína y los ácidos fenólicos presentes en residuos orgánicos generan efectos fitotóxicos sobre arvenses, limitando su establecimiento. Estas interacciones evidencian mecanismos como la exudación radicular, la lixiviación y la descomposición de residuos vegetales como vías clave de liberación de aleloquímicos.

Por último, se hacen recomendaciones para la implementación de la alelopatía en la agricultura sostenible y se establece un plan sobre estrategias para la difusión del conocimiento sobre la alelopatía, con la finalidad de poner en práctica la temática y se puedan aprovechar los beneficios.

## Marco Conceptual y Teórico

### Introducción a la Alelopatía

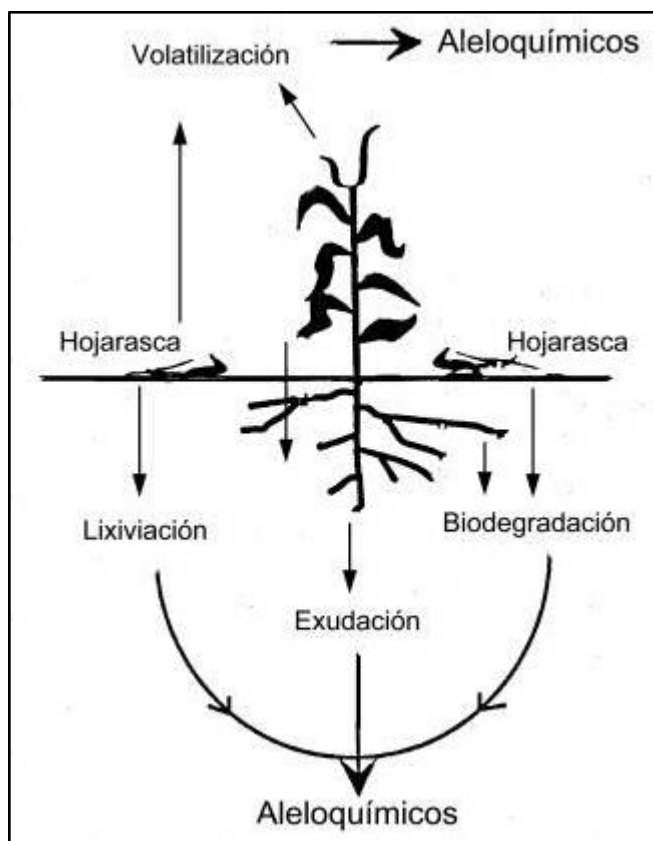
#### *Definición de Alelopatía*

El término alelopatía (del griego allelon = uno al otro, del griego pathos = sufrir; efecto injurioso de uno sobre otro) fue utilizado por primera vez para referirse a los efectos perjudiciales o benéficos, que son directa o indirectamente el resultado de la acción de compuestos químicos, que, liberados por una planta, ejercen su acción en otra. Siguiendo esta definición, en todo fenómeno alelopático existe una planta (donador) que libera compuestos químicos al medio ambiente por una determinada vía (por ej. lixiviación, descomposición de residuos, etc.), los cuales al ser incorporados por otra planta (receptora) provocan un efecto perjudicial o benéfico sobre la germinación, el crecimiento o desarrollo de esta última. Los compuestos alelopáticos que desencadenan el proceso se denominan compuestos, agentes o sustancias alelopáticas. (Blanco, 2006).

La alelopatía es el área de la botánica que estudia, trata y aprovecha las propiedades químicas que poseen las plantas para rechazar, proteger, evitar, atenuar, estimular o inhibir a los agentes patógenos o depredadores externos que pudieran afectar o estar vinculados con el vegetal (Cárdenas, 2014).

**Figura 10**

Vías a través de las cuales se liberan los agentes alelopáticos al entorno



*Nota.* La figura muestra las principales rutas de liberación de compuestos alelopáticos desde las plantas hacia el medio ambiente. Tomado de: *Sampietro, A. (s.f.)*.

<https://www.biologia.edu.ar/plantas/alelopatia.htm>

### ***Historia y Desarrollo del Concepto***

Rice (1984), en su libro “Alelopatía”, describe importantes contribuciones al tema de la alelopatía, desde sus inicios, como se muestra a continuación:

Teofrasto (ca. 300 a. C.) afirmó que el garbanzo (*Cicer arietinum*) no revitaliza el suelo como lo hacen otras plantas afines (legumbres), sino que lo “agota”. Señaló también que el

garbanzo destruye las malas hierbas y “sobre todo y en primer lugar el abrojo” (*Tribulus terrestris*) (p. 2).

Plinio (Plinio Segundo, I d.C.) informó que el garbanzo, la cebada (*Hordeum vulgare*), el fenogreco (*Trigonella foenum-graecum*) y la arveja amarga (*Vicia ervilia*) "quemán" las tierras de cultivo. Plinio afirmó que la "sombra" del nogal (aparentemente *Juglans regia*) es "fuerte, e incluso causa dolor de cabeza al hombre y daño a todo lo plantado en las cercanías; y la del pino también mata la hierba; También afirmó que "en todo caso, que la sombra de un nogal o un pino piñonero o una picea o un abeto plateado toque cualquier planta es indudablemente veneno". Su discusión indicó que estaba usando el término sombra en un sentido amplio para incluir el concepto habitual de exclusión parcial de la luz, más los efectos sobre la nutrición, además, las sustancias químicas que escapan de las plantas al medio ambiente.

La conciencia de Plinio sobre la liberación de sustancias químicas por parte de las plantas quedó demostrada por su afirmación de que «la naturaleza de algunas plantas, aunque no son realmente mortales, es perjudicial debido a su mezcla de aromas o de jugo... Por ejemplo, el rábano y el laurel son perjudiciales para la uva; pues se puede inferir que la uva posee un sentido del olfato y que los olores la afectan en un grado maravilloso...». Plinio también afirmó que «el citisus y la planta llamada halimón por los griegos matan árboles». Afirmó además que la mejor manera de matar el helecho (*Pteridium aquilinum*) es arrancar el tallo con un palo cuando el tallo está brotando «ya que el jugo que gotea del propio helecho mata las raíces» (p. 2 - 3).

Culpeper (1633) afirmó que la albahaca (*Ocimum*) y la ruda nunca crecen juntas ni cerca una de la otra. También afirmó que existe tal antipatía entre las plantas de uva y de col que una muere donde crece la otra. Browne, en su "Jardín de Ciro", publicado en 1658, informó que "los efluvios buenos y malos de los vegetales se promueven o debilitan mutuamente" (Keynes, 1929).

Es notable que esta afirmación todavía sea aceptable en términos de nuestra comprensión actual de la alelopatía (p. 3).

Lee y Monsi (1963) encontraron un informe de Banzan Kumazawa, en un documento japonés de unos 300 años de antigüedad, que indicaba que la lluvia o el rocío que lavaba las hojas del pino rojo japonés (*Pinus densiflora*) era perjudicial para los cultivos que crecían bajo el pino. Lee y Monsi comprobaron esto en una serie de experimentos (p. 3).

Young (1804) afirmó que el trébol era extremadamente propenso a fallar en los distritos donde se lo había cultivado constantemente porque el suelo se enfermaba con el trébol. T. A. (1845) señaló que la enfermedad del trébol se puede prevenir dejando un intervalo de 7 u 8 años entre los cultivos de trébol (p. 3).

De Candolle (1832) sugirió que el problema de las enfermedades del suelo en la agricultura podría deberse a los exudados de las plantas de cultivo y que la rotación de cultivos podría ayudar a aliviar el problema. Observó que los cardos en los campos dañaban la avena; la euforbia y la escabiosa dañaban el lino; y las plantas de centeno dañaban el trigo (p. 3).

Beobachter (1845) afirmó que la planta de brezo (probablemente *Erica* sp.) tiene la propiedad única de formar un estrato de bloques duros a unos pocos centímetros por debajo de la superficie del suelo. Este estrato es impermeable al agua e igualmente impermeable a las raíces de los árboles. A menos que se penetre en este estrato, es inútil plantar árboles porque la mayoría morirá y los que sobrevivan no prosperarán. Beobachter señaló que este estrato parece ser el resultado de los excrementos de las raíces de las plantas de brezo (p. 3).

En 1881, Stickney y Hoy observaron que la vegetación bajo el nogal negro (*Juglans nigra*) era muy escasa en comparación con la de la mayoría de los demás árboles de sombra de uso común. También señalaron que los cultivos no crecían debajo o muy cerca de él. Stickney

afirmó que existía la duda de si esta condición se debía al agua que goteaba del árbol o a su alto requerimiento de minerales, lo que agotaba el suelo. Hoy afirma, sin embargo, que la principal razón por la que la vegetación no prospera bajo estos árboles es el carácter venenoso del goteo. Dijo que el jugo de la hoja era venenoso y que una solución hecha con él mantenía a las moscas alejadas de los caballos (p. 3 - 4).

De esta breve historia se desprende que muchos botánicos, agricultores y jardineros han observado y sugerido muchos casos de alelopatía durante más de 2.000 años. Es igualmente claro que los experimentos científicos controlados sobre este fenómeno no se llevaron a cabo hasta después del año 1.900. Sin embargo, es significativo que la mayoría de las especies que se ha sugerido que tienen efectos químicos pronunciados sobre sí mismas o sobre otras especies hayan demostrado posteriormente tener tales efectos. Es digno de mención que muchas especies de plantas, que se han utilizado ampliamente en medicina y se sabe que tienen poderosos efectos medicinales, también tienen efectos alelopáticos pronunciados (p. 4).

De Candolle (1832), en su libro "*PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE*", menciona algunos datos relevantes que demuestran un análisis sobre las interacciones entre especies vegetales en el cual escribe sobre las diversas excreciones que presentan las plantas: entre estas excreciones, las que salen de las partes foliares generalmente tienen poca influencia sobre las plantas, ya por su propia naturaleza, ya porque son arrastradas lejos por la movilidad de la atmósfera; pero las excreciones de las raíces, aunque menos conocidas, parecen desempeñar un papel más importante y merecen una atención más particular (p. 1474).

De acuerdo con Candolle (1832), los señores de Humboldt y Plenck tuvieron la ingeniosa idea de buscar en este hecho la causa de las atracciones y repulsiones de ciertas plantas. Así, si,

como se admite generalmente, la ciruela de los campos es perjudicial para la avena, la euforbia y la escabiosa para el lino, el raygrass para el trigo, etc., ello podría deberse al hecho de que estas plantas rezuman agua, que es la causa principal de su repulsión. Si, por el contrario, la salicaria se desarrolla en el sauce, las trufas en el roble o el carpe, etc., es posible que se beneficien de alguna excreción de las raíces de estas plantas (p. 1474).

El término es utilizado por Hans Molisch en 1937, cuando describe en su libro "Influencia de una planta sobre otra: alelopatía", que, el fenómeno ya descrito de los efectos de una planta sobre la otra, que en fisiología desempeña y desempeñará un papel importante, merece ser descrito con un término especial. Propone para ello la palabra "Alelopatía", derivada de dos palabras griegas: (alelón) significa recíproco, mutuo, entre sí, y (pathos) significa pena, dolor o lo que le sucede a uno. Molisch también señala que la palabra "alopatía" es más corta, pero ya se utiliza en la literatura como antítesis de homeopatía (p. 15).

De acuerdo con Kong y Hu (2001), como lo citó Cheng y Cheng (2015, p. 2), en 1996, la Sociedad Internacional de Alelopatía amplió su definición de alelopatía para referirse a cualquier proceso que involucre metabolitos secundarios producidos por plantas, microorganismos, virus y hongos que influyen en el crecimiento y desarrollo de sistemas agrícolas y biológicos. Además, el donante y receptor alelopático debe incluir animales.

**Figura 11**

*Fotografía de Hans Molisch*



*Nota.* Fotografía de Hans Molisch, Catedrático de Fisiología Vegetal en la Universidad de Viena; Hofrat. Tomado de: Šimůnek, M. V., Ruckebauer, P., Hoßfeld, U. (2014).

[https://www.researchgate.net/publication/283496335\\_A\\_half\\_forgotten\\_album\\_Photos\\_of\\_140\\_pioneers\\_of\\_early\\_plant\\_breedinggenetics](https://www.researchgate.net/publication/283496335_A_half_forgotten_album_Photos_of_140_pioneers_of_early_plant_breedinggenetics)

***Importancia de la Alelopatía en la Agricultura***

La alelopatía es la ciencia que estudia las relaciones benéficas entre diferentes plantas - árboles, hortalizas, aromáticas y medicinales - que tienen esencias, resinas y sustancias especiales para contribuir a alejar las plagas, a contrarrestar las enfermedades y a mejorarse entre

ellas cuando se siembran juntas. Esto es lo que pasa cuando se unen maíz, frijol y auyama o calabaza. (Román y Maya, 2011, p. 37).

De acuerdo con Stoll (1986) y Einhellig (1989), como se citó por Anaya (2003) la alelopatía ha sido relacionada en general con problemas de interferencia entre distintos cultivos y arvenses, con fitotoxicidad de abonos verdes y rastrojos, con problemas en cierto tipo de rotación de cultivos, con autotoxicidad en plantaciones viejas o con fracasos en la reforestación. Teniendo en cuenta la necesidad de racionalizar e intensificar la producción de alimentos y materias primas y de proteger y restaurar la naturaleza a la vez, se puede recalcar que una de las opciones que la alelopatía ofrece, es el hallazgo de diversas sustancias susceptibles de utilizarse como herbicidas, insecticidas, fungicidas y microbicidas, menos dañinos para el ambiente en general y por lo tanto más controlables (p. 308).

Este camino de aplicación es muy promisorio aunque largo y costoso. Los inhibidores de la germinación, crecimiento y desarrollo, producidos por las plantas o los microorganismos a ellas asociados, representan un extenso número de compuestos químicos, sin embargo, pocos de ellos se han caracterizado totalmente, por ello, debe fomentarse y apoyarse este tipo de investigación, pues ya se ha comprobado que produce frutos abundantes (Anaya, 2003, p. 308).

Los investigadores actuales comparten su preocupación por la importancia ecológica y fisiológica de las interacciones entre arvenses y cultivos, y hacen especial hincapié en los mecanismos involucrados en los fenómenos de alelopatía y su modo de acción (Choudhary et al., 2023, p. 2). Las sustancias alelopáticas desempeñan un papel importante en el porcentaje de germinación de las semillas, el índice de germinación, el índice de vigor y la longitud de la raíz y el tallo de las plántulas que crecen bajo su influencia (Shadab et al., 2024, p. 498).

Tal como indica Arzola et al. (2018), la alelopatía puede llegar a ser un medio real para controlar las arvenses si estas características se manifiestan en tipos silvestres de especies cultivadas y puedan transferirse a los cultivos deseados. Al lograr un control de arvenses de este modo, se evitan gastos, contaminaciones, y aplicaciones extras de herbicidas. El mismo autor describe las diversas alternativas para explotar la alelopatía en la agricultura:

Sintetizar estos productos, o sus análogos para usarlos como herbicidas, aislando e identificando los productos tóxicos naturales.

Incorporar el mecanismo tóxico en los cultivos mediante una manipulación genética.

Utilizar mulch, residuos y cultivos de cobertura alelopática.

Manipular el comportamiento de las semillas de las arvenses usando los componentes de las plantas para adelantar la germinación de estas semillas.

Méndez (2017) resalta que el estudio de las interacciones químicas entre las principales especies de un agrosistema y del impacto de los aleloquímicos en la dinámica y la producción de los mismos, debe conducirnos hacia las metas ecológicas. Numerosas investigaciones científicas han demostrado que los productos cultivados por el sistema orgánico y/o integral tienen más materia seca y por lo tanto más valor nutritivo por kilogramo de peso. (p. 92).

### ***Objetivos de la Alelopatía en la Agricultura Sostenible***

Permite aprovechar mejor el espacio, la tierra, el agua, la luz, y el suelo estará siempre protegido por la vegetación ubicada a diferentes alturas, como sucede en un bosque natural (Román y Maya, 2011, p. 37).

De acuerdo con Anaya et al., (2001), dado que la alelopatía es un proceso de gran complejidad en el más alto nivel dentro de la ecología química, los objetivos ecológicos más importantes en su estudio son:

Conocer el papel que desempeñan los metabolitos orgánicos activos dentro de la comunidad y las transformaciones e influencias que ejercen cuando son liberados al ambiente (p. 40).

Conocer el beneficio que obtiene el organismo productor de los metabolitos activos de este efecto alelopático (p. 40).

### **Compuestos Alelopáticos**

En los hábitats naturales, las plantas están rodeadas por un gran número de enemigos potenciales. Casi todos los ecosistemas contienen una amplia variedad de bacterias, virus, hongos, nemátodos, arácnidos, insectos, mamíferos y otros animales herbívoros. Por su naturaleza, las plantas no pueden escapar de herbívoros y patógenos por lo que deben protegerse de otras formas (Taiz y Zeiger, 2006, p. 529).

La cutícula (una capa externa cerosa) y la peridermis (tejido protector secundario), además de dificultar la pérdida de agua, constituyen una barrera a la entrada de bacterias y hongos. Además, un grupo de compuestos vegetales conocidos como metabolitos secundarios defienden a las plantas de los herbívoros y microbios patógenos. Los compuestos secundarios pueden tener otras funciones importantes, como la de soporte estructural, en el caso de la lignina, o pigmentos, en el caso de las antocianinas (Taiz y Zeiger, 2006, p. 529).

### ***Cutina, Ceras y Suberina***

Todas las partes de la planta expuestas a la atmósfera están cubiertas por capas de material lipídico que reducen la pérdida de agua y ayudan a bloquear la entrada de hongos patógenos y bacterias. Los principales constituyentes de estas cubiertas son cutina, suberina y ceras. La cutina se encuentra en la mayoría de las partes aéreas de la planta; la suberina está

presente en las partes subterráneas, tallos leñosos y heridas cicatrizadas. Las ceras están asociadas con la cutina y la suberina (Taiz y Zeiger, 2006, p. 529 - 530).

### ***Metabolitos secundarios***

Las plantas producen una gran cantidad y diversidad de compuestos orgánicos que no parecen tener una función directa en el crecimiento y desarrollo. Estas sustancias se conocen con el nombre de metabolitos secundarios, productos secundarios o productos naturales. Los metabolitos secundarios no tienen función reconocida o directa en los procesos de fotosíntesis, respiración, transporte de solutos, síntesis de proteínas, asimilación de nutrientes, diferenciación o formación de carbohidratos, proteínas y lípidos (Taiz y Zeiger, 2006, p. 533 - 534).

Los metabolitos secundarios también difieren de los metabolitos primarios (aminoácidos, nucleótidos, azúcares, acil lípidos) en que tienen una distribución restringida en el reino vegetal. Es decir, un metabolito secundario determinado se encuentra con frecuencia en una sola especie vegetal o grupo de especies relacionadas, mientras que los metabolitos primarios se encuentran en todo el reino vegetal (Taiz y Zeiger, 2006, p. 534).

De acuerdo con Taiz y Zeiger (2006, p. 534), se descubrió que muchos metabolitos secundarios tenían importantes funciones ecológicas en las plantas:

Protegen a las plantas de la ingestión por herbívoros y de la infección por patógenos microbianos (p. 534).

Sirven como atrayentes de polinizadores y dispersadores de semillas y como agentes en la competencia planta-planta (p. 534).

Los metabolitos secundarios vegetales pueden dividirse en tres grupos químicamente diferentes: terpenos, fenoles y compuestos que contienen nitrógeno. (Taiz y Zeiger, 2006, p. 536).

**Terpenos.** Los terpenos, o terpenoides, constituyen el mayor grupo de productos secundarios. Los diferentes compuestos de esta clase son generalmente insolubles en agua. Son biosintetizados a partir de acetil CoA o de intermediarios glicolíticos (Taiz y Zeiger, 2006, p. 536).

Así, en ocasiones a los terpenos se los conoce como isoprenoides. Los terpenos se clasifican por el número de unidades de cinco carbonos que contienen, aunque debido a las numerosas modificaciones metabólicas se puede hacer difícil reconocer las unidades originales de cinco carbonos. Los terpenos de diez carbonos, que contienen dos unidades C, se denominan monoterpenos, los terpenos de 15 carbonos (3 unidades C) son sesquiterpenos; y los terpenos que tienen 20 carbonos (4 unidades C) son diterpenos. Los terpenos más grandes incluyen triterpenos (30 carbonos), tetraterpenos (40 carbonos) y politerpenoides ( $[C]$ , cuando  $n > 8$ ) (Taiz y Zeiger, 2006, p. 537).

***Los terpenos defienden a muchas plantas de los herbívoros.*** De acuerdo con Gershenzon y Croteau (1992), como se citó por Taiz y Zeiger (2006), los terpenos son toxinas y repelentes para un gran número de insectos y mamíferos que se alimentan de plantas, de forma que parece que desempeñan un importante papel defensivo en el reino vegetal (p. 539). Por ejemplo, los ésteres de monoterpenos llamados piretroides que se encuentran en las hojas y flores de especies de *Chrysanthemum* tienen una actividad insecticida muy elevada. Tanto los piretroides naturales como los sintéticos son componentes habituales de los insecticidas comerciales debido a su baja persistencia en el ambiente y a su mínima toxicidad para los mamíferos (Taiz y Zeiger, 2006, p. 539).

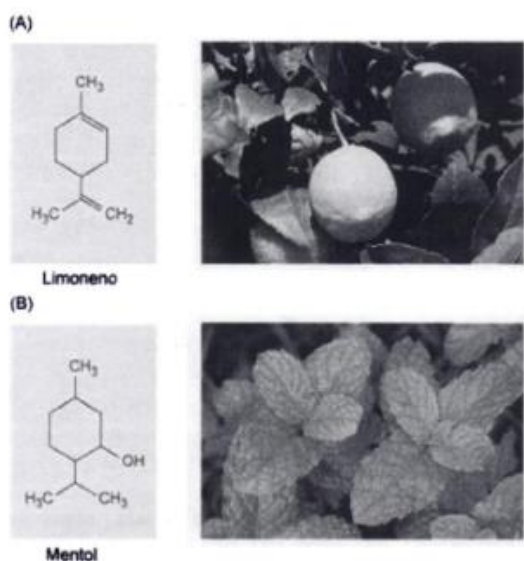
Según Trapp y Croteau (2000), como lo citó Taiz y Zeiger (2006), en coníferas como el pino y el abeto, los monoterpenos se acumulan en los conductos de resina de las acículas, ramitas y troncos. Estos compuestos son tóxicos para un gran número de insectos, incluyendo el escarabajo de la corteza, plaga muy importante para las especies de coníferas de todo el mundo. Muchas coníferas responden a la invasión de este escarabajo produciendo una cantidad adicional de monoterpenos (p. 539).

Muchas plantas contienen mezclas de monoterpenos y sesquiterpenos volátiles, llamados aceites esenciales, que producen un olor característico de sus hojas. La menta, el limón, la albahaca y la salvia son ejemplos de plantas que contienen aceites esenciales. El principal monoterpeno constituyente del aceite de menta es el mentol y el del limón es el limoneno (Taiz y Zeiger, 2006, p. 539).

Los aceites esenciales son bien conocidos por sus propiedades repelentes de insectos. Con frecuencia se encuentran en los pelos glandulares que se proyectan desde la epidermis y sirven para «prevenir» de la toxicidad de la planta, actuando como un potencial repelente de herbívoros, antes de haber efectuado un mordisco de prueba. En los pelos glandulares, los terpenos se almacenan en un espacio extracelular modificado de la pared celular. Los aceites esenciales pueden extraerse de la planta por destilación, por vapor, y son comercialmente importantes como aromas alimentarios y para fabricar perfumes (Taiz y Zeiger, 2006, p. 539 - 540).

## Figura 12

*Estructuras del limonero (A) y mentol (B)*



*Nota.* Estos dos monoterpenos actúan como defensas contra insectos y otros organismos que se alimentan de estas plantas. Tomado de: Taiz, L. y Zeiger, E., 2006. (A, foto © Calvin Larsen/Photo Researchers, Inc.; B, foto© David SierenA'isuals Unlimited).

<https://fisiologiavegetalundec.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/fv-taiz-zeiger-vol-i.pdf>

De acuerdo con Turlings y col. (1995); Kessler y Baldwin (2001), como lo citó Taiz y Zeiger (2006), investigaciones recientes han revelado una interesante peculiaridad en el papel de los terpenos volátiles para la protección de la planta. En maíz, algodón, tabaco silvestre y otras especies, ciertos monoterpenos y sesquiterpenos son producidos y emitidos una vez el insecto ha iniciado su ataque. Estas sustancias repelen insectos herbívoros ovíparos y atraen a sus enemigos naturales, como insectos predadores y parásitos, que matan a los insectos herbívoros,

ayudándoles a minimizar los daños (p. 540). Es decir, los terpenos volátiles no sólo suponen un método de defensa *per se*, sino que proporcionan una llamada para ser defendidas por otros organismos. La capacidad de las plantas de atraer a los enemigos naturales de los insectos herbívoros se presenta como una nueva posibilidad en el control ecológico de plagas (Taiz y Zeiger, 2006, p. 540).

Entre los terpenos no volátiles antiherbívoros se encuentran los limonoides, un grupo de triterpenos (C30), conocidos como las sustancias amargas de los cítricos. Quizás el más poderoso de los repelentes de insectos sea la *azadiractina*, un limonoide complejo presente en el árbol *Azadirachita indica* de África y Asia (Taiz y Zeiger, 2006, p. 540).

Las fitoecdisonas, aisladas inicialmente del helecho común, *Polypodium vulgare*, son un grupo de esteroides vegetales con la misma estructura básica que las hormonas de la muda de insectos. La ingestión de fitoecdisonas por los insectos interrumpe la muda y otros procesos de desarrollo, teniendo con frecuencia consecuencias letales (Taiz y Zeiger, 2006, p. 541).

Los triterpenos activos contra herbívoros vertebrados incluyen los cardenólidos y las saponinas. Los cardenólidos son glicósidos (compuestos con uno o más azúcares unidos) que confieren un sabor amargo y son extremadamente tóxicos en animales superiores (Taiz y Zeiger, 2006, p. 541).

Las saponinas son esteroides y glicósidos triterpénicos, y su nombre se debe a sus propiedades jabonosas. La presencia en una única molécula de elementos solubles en lípidos (el esteroide o triterpeno) y en agua (el azúcar) confiere a las saponinas propiedades detergentes, formando una cubierta jabonosa cuando se agitan en agua. Se cree que la toxicidad de las saponinas es debida a su capacidad para formar complejos con esteroides. Las saponinas pueden

interferir con la absorción de esteroides en el aparato digestivo o bien romper membranas celulares una vez incorporadas al torrente sanguíneo (Taiz y Zeiger, 2006, p. 542).

**Compuestos fenólicos.** Los compuestos fenólicos de las plantas forman un grupo químicamente heterogéneo de unos 10.000 compuestos: algunos son solubles sólo en solventes orgánicos, otros son ácidos carboxílicos y glicósidos solubles en agua, mientras que otros son grandes polímeros muy insolubles (Taiz y Zeiger, 2006, p. 543).

De acuerdo con su diversidad química, los fenoles tienen funciones muy diversas en las plantas. Muchos tienen papeles en la defensa de las plantas contra herbívoros o patógenos. Otros participan en el soporte mecánico, en la atracción de polinizadores y dispersantes de frutos, en la absorción de la radiación ultravioleta dañina o en la reducción del crecimiento de las plantas competidoras próximas (Taiz y Zeiger, 2006, p. 543).

***La fenilalanina es un intermediario en la biosíntesis de la mayoría de compuestos fenólicos de las plantas.*** Los compuestos fenólicos de las plantas son biosintetizados en diferentes rutas y, por ello, constituyen un grupo heterogéneo desde un punto de vista metabólico. Existen dos rutas básicas implicadas: la ruta del ácido siquímico y la ruta del ácido malónico. La ruta del ácido siquímico es responsable de la biosíntesis de la mayoría de los fenoles en las plantas. La vía del ácido malónico, aunque es una fuente importante de fenoles en hongos y bacterias, es poco empleada en plantas superiores (Taiz y Zeiger, 2006, p. 543).

El glifosato, conocido herbicida de amplio espectro comercialmente disponible como Roundup®, mata a las plantas porque bloquea una etapa en esta ruta. La ruta del ácido siquímico está presente en plantas, hongos y bacterias, pero no en animales. Los animales no son capaces

de sintetizar los aminoácidos aromáticos, fenilalanina, tirosina y triptófano, por lo que son nutrientes esenciales en sus dietas (Taiz y Zeiger, 2006, p. 543).

La mayor parte de los compuestos fenólicos de las plantas derivan de la fenilalanina por la eliminación de una molécula de amonio para formar ácido cinámico. Esta reacción está catalizada por la fenilalanina amonio liasa (PAL), posiblemente el enzima más estudiado del metabolismo secundario. La PAL está situada en un punto de ramificación entre el metabolismo primario y el secundario, por eso, la reacción que cataliza es una etapa reguladora importante en la formación de muchos compuestos fenólicos (Taiz y Zeiger, 2006, p. 543 -544).

La actividad PAL se ve incrementada por factores ambientales, como niveles de nutrientes bajos, luz (por su efecto sobre el fitocromo) e infección fúngica. El punto de control parece ser el inicio de la transcripción. La invasión fúngica, por ejemplo, inicia la transcripción del RNA mensajero que codifica la PAL, aumentando así su concentración en la planta, lo que estimula la síntesis de compuestos fenólicos (Taiz y Zeiger, 2006, p. 544).

Las reacciones posteriores a la catalizada por la PAL dan lugar a la adición de más grupos hidroxilo y otros sustituyentes. El ácido *trans*-cinámico, el ácido p-cumárico, y sus derivados son compuestos fenólicos simples llamados fenilpropanoides porque contienen un anillo de benceno y una cadena lateral de tres carbonos. (Taiz y Zeiger, 2006, p. 544 - 546).

***Algunos compuestos fenólicos simples son activados por la luz ultravioleta.*** Muchos compuestos fenólicos simples tienen funciones importantes en las plantas como defensas frente a insectos, herbívoros y hongos. De especial interés es la fototoxicidad de ciertas cumarinas, llamadas furanocumarinas, que tienen unido un anillo de furano. Estos compuestos no son tóxicos hasta que son activados por la luz. La luz del sol en la región ultravioleta A (UV-A) (320-400 nm) provoca que algunas furanocumarinas pasen al estado electrónico de mayor

energía. Las furanocumarinas activadas pueden introducirse en la doble hélice del DNA y unirse a las bases pirimidínicas, citosina y timina, bloqueando así la transcripción y la reparación, provocando la muerte de la célula (Taiz y Zeiger, 2006, p. 547 - 548).

Según Sandberg y Berenbaum (1989), como lo citó Taiz y Zeiger (2006), las furanocumarinas fototóxicas son especialmente abundantes en miembros de la familia Umbelíferae, incluyendo especies como el apio, la chirivía y el perejil. En apio, el nivel de estos compuestos puede aumentar hasta 100 veces si la planta se somete a estrés o a enfermedades. Algunos insectos se han adaptado a sobrevivir en plantas que sintetizan furanocumarinas y otros compuestos fototóxicos viviendo en telarañas o bien en hojas enrolladas, donde no reciben las longitudes de onda activadoras (p. 548).

**Lignina.** Además de proporcionar soporte mecánico, la lignina tiene una función protectora significativa en las plantas. Su resistencia evita que las plantas sean alimento para animales y su estabilidad química hace que sea relativamente difícil de digerir para los herbívoros. Por unión a celulosa y proteínas, la lignina reduce la digestibilidad de estas sustancias. La lignificación bloquea el crecimiento de patógenos y es una respuesta frecuente ante una infección o herida (Taiz y Zeiger, 2006, p. 550).

**Principales flavonoides.** Las antocianinas, las flavonas, los flavonoles y las isoflavonas. Mientras los grupos hidroxilos y los azúcares aumentan la solubilidad de los flavonoides en agua, otros sustituyentes como grupos metilésteres o unidades modificadas de isopentilo hacen que los flavonoides tengan un carácter lipofílico (hidrofóbico). Diferentes tipos de flavonoides realizan funciones muy diversas en la planta, incluyendo la pigmentación y la defensa (Taiz y Zeiger, 2006, p. 550).

***Antocianinas.*** Los pigmentos coloreados de las plantas pertenecen a dos tipos principales: carotenoides y flavonoides. Los carotenoides, son compuestos terpenoides amarillos, naranjas y rojos, que sirven como pigmentos auxiliares en la fotosíntesis. Los flavonoides son compuestos fenólicos que incluyen un amplio rango de sustancias coloreadas. El grupo más extendido de flavonoides pigmentados son las antocianinas, responsables de la mayoría de los colores rojo, rosa, morado y azul de las plantas. Debido a que colorean flores y frutos, las antocianinas son muy importantes en la atracción de animales para la polinización y la dispersión de las semillas. (Taiz y Zeiger, 2006, p.551).

La evolución del color de las flores ha podido estar determinada por la presión selectiva de diferentes polinizadores que, con frecuencia, tienen preferencias por diferentes colores. El color, desde luego, es un tipo de señal usado por las flores para atraer a los polinizadores. Los compuestos volátiles, particularmente los monoterpenos, proporcionan los olores atractivos. (Taiz y Zeiger, 2006, p. 552 - 553).

***Los isoflavonoides (isoflavonas).*** Los isoflavonoides se encuentran frecuentemente en las legumbres y tienen diferentes funciones. Algunos, como los rotenoides, tienen una potente actividad insecticida; otros tienen efectos antiestrogénicos. En los últimos años, los isoflavonoides que han llegado a conocerse mejor son las fitoalexinas, compuestos antimicrobianos sintetizados en respuesta a la infección fúngica o bacteriana que ayudan a limitar la invasión del patógeno (Taiz y Zeiger, 2006, p. 554).

***Los taninos disuaden a los herbívoros.*** Una segunda clase de polímero fenólico vegetal con propiedades defensivas, además de la lignina, son los taninos. Hay dos clases de taninos: condensados e hidrolizables. Los taninos condensados son compuestos formados por la polimerización de unidades de flavonoides. Son constituyentes frecuentes de las plantas leñosas.

Como los taninos condensados pueden ser hidrolizados a antocianinas por tratamientos con ácidos fuertes, se les denomina algunas veces proantocianidinas. (Taiz y Zeiger, 2006, p. 554 - 555).

Los taninos hidrolizables son polímeros heterogéneos que contienen ácidos fenólicos, sobre todo ácido gálico y azúcares simples. Son más pequeños que los taninos condensados y se hidrolizan más fácilmente, siendo necesarios sólo ácidos diluidos. (Taiz y Zeiger, 2006, p. 556).

Los taninos son generalmente toxinas que reducen significativamente el crecimiento y la supervivencia de muchos herbívoros cuando son añadidos a sus dietas. Además, los taninos actúan como repelentes alimenticios de una gran diversidad de animales. Los mamíferos del tipo del vacuno, los ciervos y los monos, evitan las plantas o partes de las plantas que contienen concentraciones elevadas de taninos. Por ejemplo, los frutos inmaduros contienen altos niveles de taninos que suelen concentrarse en la piel (Taiz y Zeiger, 2006, p. 556).

Los taninos pueden inactivar las enzimas digestivas de los herbívoros y formar complejos agregados entre los taninos y las proteínas vegetales difíciles de digerir. Los taninos vegetales también sirven como defensas contra microorganismos. Por ejemplo, la parte central de muchos árboles contiene elevadas concentraciones de taninos que ayudan a prevenir la podredumbre producida por hongos o bacterias (Taiz y Zeiger, 2006, p. 556 - 557).

**Compuestos que contienen nitrógeno.** Los alcaloides comprenden una gran familia de más de 15.000 metabolitos secundarios que contienen nitrógeno y se encuentran aproximadamente en un 20% en las especies de plantas vasculares. En estas sustancias, el átomo de nitrógeno está formando parte de un anillo heterocíclico, un anillo que contiene átomos de nitrógeno y de carbono. Como su propio nombre sugiere, muchos alcaloides son alcalinos. A los

valores de pH normales del citosol (pH de 7,2) o de la vacuola (pH de 5 a 6), el átomo de nitrógeno está protonado; por tanto, los alcaloides están cargados positivamente y, por lo general, son solubles en agua (Taiz y Zeiger, 2006, p. 558).

A nivel celular, el mecanismo de acción de los alcaloides en animales es bastante variable. Muchos alcaloides interfieren con componentes del sistema nervioso, especialmente los transmisores químicos; otros afectan al transporte a través de la membrana, a la síntesis de proteínas o a actividades enzimáticas diversas (Taiz y Zeiger, 2006, p. 560).

No todos los alcaloides que aparecen en las plantas son producidos por ellas mismas. Muchas herbáceas hospedan simbiontes fúngicos endógenos que crecen en el apoplasto y sintetizan una gran variedad de alcaloides. Las herbáceas con hongos simbiontes suelen crecer mejor y estar mejor defendidas de los insectos y mamíferos herbívoros. Desafortunadamente, algunas herbáceas con simbiontes como la festuca (*Festuca arundinacea*), importantes como hierba de pasto, pueden ser tóxicas para el ganado cuando su contenido en alcaloides es demasiado alto (Taiz y Zeiger, 2006, p. 561).

***Los glicósidos cianogénicos liberan cianuro de hidrógeno venenoso.*** Los glicósidos cianogénicos liberan un veneno muy conocido que es el gas cianuro de hidrógeno (HCN). Los glicósidos cianogénicos están ampliamente distribuidos en el reino vegetal y se encuentran frecuentemente en leguminosas, herbáceas y otras especies de la familia de la rosa (Taiz y Zeiger, 2006, p. 562 - 563).

Existen evidencias importantes que indican que los glicósidos cianogénicos tienen una función protectora en algunas plantas. El HCN es una toxina de acción rápida que inhibe metaloproteínas, como por ejemplo la citocromo oxidasa, enzima clave en la respiración mitocondrial. La presencia de glicósidos cianogénicos evita que determinadas plantas sean el

alimento de insectos y otros herbívoros tales como caracoles y babosas. No obstante, como ocurre con otras clases de metabolitos secundarios, algunos herbívoros se han adaptado a alimentarse de plantas cianogénicas y toleran grandes dosis de HCN (Taiz y Zeiger, 2006, p. 563 - 564).

Los tubérculos de mandioca o yuca (*Manihot esculenta*), un alimento rico en hidratos de carbono, esencial en la dieta de muchos países tropicales, contiene altos niveles de glicósidos cianogénicos. Se están dirigiendo numerosos esfuerzos a reducir el contenido de glicósidos cianogénicos en esta especie en aproximaciones tanto de mejora convencional como de ingeniería genética. Sin embargo, no se busca una completa eliminación de los glicósidos cianogénicos ya que estas sustancias son probablemente las responsables de que la mandioca pueda ser almacenada durante mucho tiempo sin ser atacada por plagas de patógenos (Taiz y Zeiger, 2006, p. 564).

***Los glucosinolatos liberan toxinas volátiles.*** Una segunda clase de glicósidos vegetales son los glucosinolatos o glicósidos del aceite de mostaza, que se degradan para liberar sustancias de defensa volátiles. Se encuentran principalmente en las Brassicaceae y familias vegetales próximas, y liberan los compuestos responsables del olor y el gusto de muchos vegetales como el repollo, el brócoli y los rábanos (Taiz y Zeiger, 2006, p. 564).

La liberación de compuestos volátiles olorosos de los glucosinolatos está catalizada por un enzima hidrolítico llamado tioglucosidasa o mirosinasa, que libera la glucosa de su unión al átomo de azufre. La aglicona resultante, porción de la molécula que no es un azúcar, se reordena, perdiendo un sulfato y generando productos de olor fuerte y químicamente reactivos, como isotiocianatos y nitrilos, dependiendo de las condiciones de hidrólisis. Estos productos funcionan como toxinas de herbívoros y repelentes alimenticios. Al igual que los glicósidos cianogénicos,

en la planta intacta los glucosinolatos se almacenan físicamente separados de los enzimas que los hidrolizan, y se ponen en contacto con estos enzimas cuando la planta es triturada (Taiz y Zeiger, 2006, p. 564).

***Los aminoácidos no proteicos defienden de los herbívoros.*** De acuerdo con Rosenthal (1991), como lo describen Taiz y Zeiger (2006), los aminoácidos no proteicos ejercen su toxicidad de varias formas. Algunos bloquean la síntesis o incorporación de aminoácidos proteicos; otros, como la canavanina, pueden incorporarse por error en las proteínas. Tras la ingestión, la canavanina es reconocida por los enzimas del herbívoro que normalmente unen arginina a su molécula de RNA de transferencia, de forma que es incorporado a las proteínas en lugar de la arginina. El resultado normalmente es una proteína no funcional porque su estructura terciaria o su sitio catalítico están alterados. La canavanina es menos básica que la arginina por lo que quizás pueda alterar la capacidad del enzima de unir sustratos o de catalizar reacciones químicas (565 - 566).

***Ciertas proteínas vegetales inhiben la digestión en los herbívoros.*** Las proteínas antidigestivas mejor conocidas en plantas son los inhibidores de proteinasas. Encontradas en legumbres, tomate y otras plantas, estas sustancias bloquean la acción proteolítica de los enzimas digestivos de los herbívoros. Una vez en el tracto digestivo de los herbívoros, inhiben la digestión proteica por unión fuerte y específica al sitio activo de enzimas, como la tripsina y la quimotripsina, que hidrolizan proteínas. Los insectos que se alimentan de plantas que contienen inhibidores de proteinasas tienen tasas de crecimiento reducidas, y el desarrollo se puede

compensar por la adición de aminoácidos suplementarios en su dieta (Taiz y Zeiger, 2006, p. 566 - 567).

***El ácido jasmónico es una hormona vegetal del estrés que activa numerosas respuestas de defensa.*** Los niveles de ácido jasmónico aumentan de manera vertiginosa en respuesta al daño causado por diferentes herbívoros e inicia la formación de diferentes clases de defensas vegetales, además de los inhibidores de proteinasas, incluyendo terpenos y alcaloides. En plantas, el ácido jasmónico se sintetiza a partir del ácido linolénico que se libera de las membranas lipídicas y es convertido en ácido jasmónico (Taiz y Zeiger, 2006, p. 568).

***Defensa Vegetal Contra Patógenos.*** Aunque carecen de sistema inmunitario, las plantas muestran una sorprendente resistencia a enfermedades producidas por hongos, bacterias, virus y nemátodos presentes en el ambiente (Taiz y Zeiger, 2006, p. 570).

***Algunos compuestos antimicrobianos se sintetizan antes del ataque por patógenos.*** Varias clases de metabolitos secundarios tienen una fuerte actividad antimicrobiana in vitro; por lo que se ha propuesto que funcionen como defensas contra patógenos en la planta intacta. Entre ellos están las saponinas, un grupo de triterpenos que se cree que alteran las membranas fúngicas al unirse a esteroides (Taiz y Zeiger, 2006, p. 570).

***La infección induce defensas antipatógenos adicionales.*** Algunas defensas son inducidas por el ataque de herbívoros o infección microbiana. Las defensas que sólo son producidas después del daño inicial por herbívoros, teóricamente necesitan una menor inversión en recursos de la planta que las defensas que están siempre presentes, aunque deben ser activadas rápidamente para ser efectivas. Al igual que los inhibidores de proteinasas, otras defensas inducidas parecen iniciarse por complejas redes de transducción de señal, que suelen implicar al ácido jasmónico (Taiz y Zeiger, 2006, p. 570).

Una vez infectadas por un patógeno, las plantas despliegan un amplio espectro de defensas contra los microbios invasores. Una defensa común es la respuesta hipersensible, por la que las células que rodean la zona de infección mueren rápidamente, privando al patógeno de nutrientes y evitando su extensión. Después de una respuesta hipersensible satisfactoria, queda una pequeña zona de tejido muerto en el sitio donde se ha iniciado la invasión, pero impide que el resto de la planta se vea afectada. La respuesta hipersensible con frecuencia está precedida por la producción de especies reactivas de oxígeno. Las especies reactivas de oxígeno pueden contribuir a la muerte celular como parte de la respuesta hipersensible o actuar para matar directamente al patógeno (Taiz y Zeiger, 2006, p. 571).

***Las fitoalexinas.*** Son un grupo diverso de metabolitos secundarios con una fuerte actividad antimicrobiana que se acumulan en los alrededores del sitio de infección. La producción de fitoalexinas parece ser un mecanismo común de resistencia a microbios patógenos para un amplio rango de plantas. Sin embargo, diferentes familias de plantas utilizan diferentes tipos de productos secundarios como fitoalexinas. Por ejemplo, los isoflavonoides son las fitoalexinas más comunes en las leguminosas, mientras que en *Solanaceae*, como la patata, el tabaco y el tomate, las fitoalexinas son diversos sesquiterpenos (Taiz y Zeiger, 2006, p. 572).

***Algunas plantas reconocen sustancias específicas liberadas por los patógenos.*** Dentro de una especie, las plantas difieren con frecuencia en su resistencia a patógenos microbianos. Estas diferencias se refieren a la velocidad e intensidad de las reacciones de la planta. Las plantas resistentes responden más rápido y más vigorosamente a los patógenos que las plantas susceptibles. Por tanto, es importante aprender cómo perciben las plantas la presencia de los patógenos e inician la defensa (Taiz y Zeiger, 2006, p. 573).

Complementando lo anterior, Cárdenas (2014), describe algunos principios activos alelopáticos, como se muestra a continuación:

**Limonoides.** Son principios activos presentes en mayor porcentaje en plantas pertenecientes a la familia de las rutáceas; aleloquímicos que por su carácter ácido y astringente, atacan el sistema sensorial perceptivo, masticador, y succionador de los insectos, ocasionando en ellos graves daños tracto intestinales, lo que ocasiona el repudio de los insectos hacia estos componentes fitoquímicos (p. 36 - 37).

Son considerados limonoides los siguientes principios activos: el citral, el limoneno, el meliantriol, el eufol, carvacrol, azadirachtrina y el tirucallol, reportados en algunas plantas como el limón, la toronja, la naranja, la ruda, la cidra, la mandarina, el jengibre, la jícama, el ciruelo chino, el ciruelo dulce, el árbol de nim, entre los más descritos (p. 37).

**Lactonas.** Son aleloquímicos isoprenoides que al ingresar al organismo de algunos animales fitófagos se enmascaran en la actividad enzimática confundiendo con otras enzimas, provocando desestabilidad gastrointestinal, ocasionando en el insecto un cambio en el metabolismo digestivo e inhibiendo varias actividades digestivas y aún hormonales (p. 37).

Las lactonas también pueden ocasionar efectos antimicóticos sobre hongos, ocasionando el englobamiento de las esporas de ciertos hongos fitopatógenos hasta floccular junto a ellos, impidiendo su diseminación sobre las láminas foliares (p. 38).

**Saponinas.** Son glúcidos de efectos saponificantes, “es decir rompen la tensión superficial” de muchas membranas y líquidos orgánicos, “similar efecto al jabón”, su acción hemolítica hace que las saponinas destruyan a los componentes de la hemolinfa de los insectos

que constituye “la sangre” en ellos, provocando coagulación, derrames internos y la muerte de éstos. Su acción también suele darse en otros animales (p. 38).

**Alcaloides.** Algunos de ellos además de su conocido efecto fármaco dinámico, suelen tener también efectos aleloquímicos sobre otras especies de plantas y animales. Por su compleja y a veces particular composición, son sustancias químicas que alteran de manera prolongada o radical el sistema nervioso en la mayoría de insectos, aves, y aún animales superiores como herbívoros y el hombre. (p. 38).

Los alcaloides se reportan como neurotóxicos en el ser humano y ganglio-tóxicos en insectos, cuyo efecto aleloquímico de algunos de ellos, es provocar desorientación ganglio-cerebral en los insectos, atrofiando órganos de percepción y alteran la psiquis, causando graves trastornos y disfunción en los ocelos y antenas receptoras de la orientación. Los alcaloides más usuales con carácter aleloquímico son: la nicotina, la anabasina, laconiína, la teobromina, la escopolamina, la cicutina, la piretrina, entre otros (p. 39).

En nuestra flora existen plantas que presentan estas alelomonas, entre las más conocidas están: la amapola, el tabaco, el guanto, el floripondio, la cicuta, la hierba mora, la ruda, el marco, el canayuyo, el chamico, entre otras (p. 39).

**La nicotina y coníina.** Son alcaloides fuertes y venenosos, que se extraen del tabaco y la cicuta, en forma de sulfato de nicotina, aplicados como reguladores de plagas en la agricultura provocan parálisis en los nervios respiratorios de los insectos; por su uso frecuente como insecticida botánico u orgánico ha llegado a controlar plagas insectiles tales como la langosta (ortópteros), la mosca blanca (dípteros), el escarabajo negro (coleopteros), al aplicarlo como

solución sobre las hojas, este queda impregnado en ellas y los insectos al alimentarse de éstas hojas asperjadas mueren por envenenamiento del tracto digestivo (p. 39 - 40).

De la pimienta y el ají, en particular de sus frutos, al ser disecados y pulverizados se los usa como repelente de amplio espectro en la agricultura, por contener como principios activos la piperina y capsaicina; la primera es un alcaloide líquido de olor penetrante e irritante a las mucosas respiratorias, y el segundo es un polióside astringente (que provoca ardentía e irritación) (p. 40).

**Los ácidos fórmico y gálico.** Son sustancias irritantes, picantes y astringentes presentes en la ortiga, la raíz del cartucho, el jengibre, entre otros; sus extractos se emplean en el campo para eliminar pulgones, parásitos que afectan la lámina foliar de muchas plantas en cultivos establecidos, en especial de ornamentales (p. 40).

### **Plantas con Potencial Alelopático**

El control orgánico con plantas se ha utilizado desde hace mucho tiempo y su funcionamiento se basa en repeler o atraer insectos, gusanos y agentes transmisores de enfermedades. Las plantas que se usan para estos fines son las hortalizas, aromáticas, medicinales y arvenses.

#### ***Tipos de control alelopático***

Los tipos de control que frecuentemente se usan se vienen haciendo con plantas acompañantes, con plantas repelentes y/o con cultivos trampas (Méndez, 2017, p. 92)

Méndez (2017), clasifica el control alelopático de la siguiente manera:

**Plantas acompañantes.** Se refiere al uso de plantas por medio de las cuales los cultivos se encuentran en combinación exitosa con otras plantas para proporcionarse un beneficio mutuo (p. 92).

**Plantas repelentes.** Son plantas de aroma fuerte para mantener alejados los insectos de los cultivos; este tipo de plantas protegen los cultivos de plagas hasta una distancia de 8 metros, algunas repelen un insecto específico y otras varias plagas. Generalmente las plantas repelentes se deben sembrar bordeando los extremos de los cultivos o alrededor de los mismos, para ejercer una barrera protectora (p. 92 - 93).

Desde tiempos remotos gran variedad de hierbas aromáticas se han plantado en los bordes, en pequeñas áreas de cultivos de vegetales, o también como cercas vivas algunas especies arbóreas, conociendo los beneficios que brindan la mayoría de las plantas. La única excepción a la regla es el Hinojo (*Floeniculum*) el cual genera efectos adversos en muchas plantas (Méndez, 2017, p. 93)

De acuerdo con Méndez (2017), todas las plantas aromáticas ejercen una influencia sobre sus plantas vecinas, al igual que los cultivos en donde se desarrollan. El mismo autor hace una descripción por medio de ejemplos como se muestra a continuación:

**Acelga (*Beta vulgaris*).** Es una excelente planta para mejorar el drenaje en suelos pesados (p. 93).

**Ajo (*Allium sativum*).** Promueve el crecimiento de algunos vegetales. Cuando se cultiva con rosas se proporciona un beneficio mutuo. Los ajos, cebollas y los cebollines inhiben el crecimiento de la arveja y el fríjol por lo cual no se deben intercalar. Para los granos almacenados se colocan dientes de ajos entre los granos para protección contra los gorgojos. En

cambio, el ajo, en extracto, se puede usar contra enfermedades como el tizón tardío o gotera de la papa y/o el tomate y la pudrición marrón en frutales. Los insecticidas de ajo controlan y repelen pulgones, áfidos, chinches, moscas, zancudos, nematodos. En cultivos de flores nunca debe emplearse el ajo, es muy cáustico (p. 93).

***Ahuyama o zapallo (Cucurbita máxima).*** Las semillas maceradas en alcohol se emplean como insecticidas contra cucarachas, colocando cebos (p. 93).

***Albahaca (Ocimum Basilium).*** Las hierbas aromáticas son benéficas para los vegetales de huerto, debido a que estimulan las cualidades de algunas plantas. Téngase presente que la albahaca por ejemplo se rechaza fuertemente con la ruda, pero es excelente compañera del tomate y además repele moscas y mosquitos. Entre la albahaca y la ruda no existe armonía quizás por la misma naturaleza de las plantas, pues la albahaca es dulce y la ruda es de las hierbas más amargas (p. 93).

***Apio (Apium gravealens).*** Cuando se siembra alternado con los puerros se logra ejercer un gran beneficio a este último. También se ha encontrado que cuando el repollo crece en vecindad del apio es afectado por microorganismos patógenos, es buen compañero de los puerros, tomate y frijol arbustivo (p. 93 - 94).

***Barbasco (Ply Jlantus ichthyomthius o tephrosia purpurea).*** Estas plantas contienen sustancias rotenoides de alto poder insecticida y rápida degradación, características que le permiten controlar efectivamente muchas plagas en cultivos y ser de muy baja toxicidad para mamíferos (p. 94).

Una fórmula que es muy eficaz, macerar hojas frescas hasta obtener una cucharadita de extracto y colocarlo con cuatro dientes de ajo y cuatro cebollas cabezonas rojas de tamaño mediano dentro de una taza todos machacados y macerados. Dejar la mezcla al sereno y al día

siguiente vertirla toda en 10 litros de agua potable, adicionando una cucharadita de jabón de coco (no detergente). Esta fórmula bien preparada es efectiva para controlar minadores y comedores de hoja (p. 94).

***Caléndula (Calendula officinalis)***. La caléndula exuda sustancias de sus raíces, las cuales eliminan nemátodos del suelo, sembrada entre surcos y camas de rosas o claveles controla los nematodos, lo mismo que si se siembra en otros cultivos. Los tomates y la uchuva producen más frutos cuando se intercala caléndula, pues el olor de las flores y hojas de caléndula en oración, actúan como excelentes repelentes de insectos en general; intercalada con la hierbabuena repele la palomilla y otras plagas (p. 94).

Es una planta muy útil porque en sus cultivos por ser brillante su colorido atrae la polinización. Como principios activos está que los extractos actúan como bactericidas, por lo tanto, es utilizada para el control de enfermedades causadas por bacterias en cultivos de tomate, cítricos, banano, plátano y flores (p. 94).

***Cilantro (Corindrum sativum)***. Planta medicinal que atrae con sus flores, abejas e insectos benéficos mejorando la polinización de cultivos hortifrutícolas (p. 94).

***Cola de caballo (Equisetum bogotanse)***. Es una planta de uso medicinal empleada también en forma orgánica como fungicida para controlar hongos en solanáceas en general. Como fórmula se utilizan 1.500 gramos de hierba fresca de cola de caballo, se hierven en 10 litros de agua, luego se enfrían y se adiciona una cucharadita de jabón de coco. Esto se emplea contra hongos fumigando cada dos semanas (p. 94).

***Curcuma (Curcuma Jonga l)***. Los rizomas son la parte de la planta que se utiliza para la protección de cultivos como insecticidas y como repelente contra arañuelas, gorgojos y polillas.

En cuanto a la fórmula, los rizomas pulverizados extractados con acetona y diluidos en agua en una preparación 1:5 se emplean para controlar larvas de *spodoptera* (p. 94).

***Girasol (Helianthus annuus)***. Hervir 10 litros de agua en un recipiente de acero inoxidable, cuando el agua esté hirviendo agregar 500 gramos de flores secas y tapar el recipiente, enfriar y colocar para su inmediata aplicación, esta infusión insecticida repele moscas (p. 94 - 95).

***Helecho (Polypodium vulgares o Dryteris paloceal o Dryteris filix)***. Colocar 500 gramos de hojas secas en 10 litros de agua y dejar reposar durante 24 horas, luego hervir durante 10 minutos, enfriar y colar. Antes de aplicar, agregar 90 litros de agua y una cucharadita raspada de jabón de coco. Esta infusión controla ácaros, pulgones y cochinillas (p. 95).

***Hierbabuena o yerbabuena (Menta piperita)***. La yerbabuena, cultivada o esparcida entre los cultivos de repollo los protege de la mariposa blanca. Cuando se siembra en compañía se puede inhibir la producción de aceite esencial, mientras que la manzanilla por sí misma se beneficia de esta asociación y podrá incrementar el contenido de aceite, sin embargo, cuando se la siembra alternada con ortiga en una proporción de tres surcos de yerbabuena por uno de ortiga se incrementa su contenido de aceite en más del 10%. Es una excelente acompañante de muchas plantas, por su fuerte olor mejora la salud y el sabor de la col, y la defiende de la polilla blanca y pulgones. Sembrada debajo de los cítricos previene el ataque de áfidos y pulgones (p. 95).

***Hortiga (Urticaurens)***. Sembrada cerca de cualquier planta aromática le aumenta la pungencia y el aroma, por ejemplo, al lado de la hierbabuena, le incrementa el doble de la

cantidad del aceite esencial. En su mayoría, las plantas acompañantes, además de crear un beneficio mutuo, también ejercen una acción repelente (p. 95).

***Lechuga (Lactiva sativa)***. La lechuga gusta de las fresas, es ayudada por la presencia de zanahoria y hace que los rábanos sean más grandes. Plantadas en buenos suelos o debidamente acondicionados ayudan al crecimiento de la cebolla (p. 95).

***Limoncillo (Cimbopagon citratus)***. Planta que atrae abejas y crea una atmósfera benéfica a su alrededor (p. 95).

***Manzanilla (Anthemis novilis)***. El macerado de manzanilla es efectivo contra un buen número de enfermedades en plantas, especialmente cuando las plantas tratadas son jóvenes, es además efectiva para el control de la pudrición del cuello en las plantas de invernadero. 500 gramos de flor seca y molida para 30 m<sup>2</sup> de superficie incorporado en pre siembra controla el *fusarium* en cultivos de clavel, granadilla, curuba, maracuyá, y pasifloráceas (p. 95).

Esta especie es una de las plantas compuestas más usadas en la agricultura orgánica, contiene hormonas de crecimiento, las cuales particularmente estimulan el crecimiento de la levadura más aún cuando se utiliza su extracto en dilución de (1x8 ppm) bajo condiciones de crecimiento del cultivo; la manzanilla, en pequeñas cantidades aumenta el contenido de aceite esencial junto a las plantas de hierbabuena, ayuda también al crecimiento de la cebolla y el repollo, sembrando una planta cada 3 metros del cultivo (p. 95).

***Mejorana***. Sembrada en eras intercaladas, en el cultivo de hortalizas mejora el sabor y repele el ataque de los áfidos (p. 96).

***Nabo (Bracica napus)***. El nabo afloja los suelos pesados, los suaviza y sus raíces mejoran el drenaje, también mejora el suelo maltratado sin aplicación de exceso de productos químicos (p. 96).

***Orégano (Origanum vulgare)***. Presenta efectos benéficos sobre plantas que se encuentran a su alrededor porque mejora su crecimiento y sabor. Compañero del rábano y repollo (p. 96).

***Ortiga picante (Urteco urens)***. Esta es una especie que ayuda a las plantas vecinas a crecer, más resistentes a pudriciones, cambia los procesos químicos en sus vecinas, pues en muchas incrementa el contenido de aceite esencial y estimula la formación del compost (p. 96).

Las hojas y los tallos de esta especie de planta se descomponen e incorporada al suelo es ideal para los cultivos, además hay ciertas secreciones en las raíces, las cuales estimulan la vida y la fermentación en el compostaje. Ayuda a la planta vecina a desarrollar resistencia contra hongos que producen pudrición del pie de la planta, controla pulgones (p. 96).

***Papaya (Carica papaya)***. Las hojas de papaya se utilizan para controlar hongos, ya que sus principios activos tienen efectos fungicidas especialmente para el control de la roya y el mildew polvoso. La fórmula consiste en macerar o machacar 500 gramos de hojas frescas, adicionar un litro de agua y colocar a esta mezcla 5 litros más de agua jabonosa o sea 10 grs de jabón no detergente (p. 96).

***Perejil (Petrocebioenum sativa)***. Buen compañero de rosas y tomates, sus flores atraen a las abejas (p. 96).

***Rábano picante (Raplamus rophomistrum)***. Los rábanos ayudan al crecimiento de los vegetales como la arveja, el fríjol; sembrar lechuga asociada con rábanos permite que estos se desarrollen mejor y sean más grandes. Sembrar unas cuantas semillas de rábano junto al pepino cohombro, le mantendrá alejado del gorgojo rayado del pepino (*diatroica veta*). Es el mejor compañero de la papa pues repele la chiza (p. 96).

**Repollo (*Brassica oleraceae*).** Las raíces maceradas de repollo representan una acción insecticida que controla moscas. La combinación de repollo y remolacha es excelente (p. 96).

**Romero (*Rosmarinus officinalis*).** El romero y la salvia tienen un efecto mutuo estimulante del crecimiento, compañero del repollo, fríjol, zanahoria y salvia. Repele la polilla del repollo, el escarabajo y la mosca de la zanahoria (p. 96).

**Ruda (*Ruta gravealns*).** Esta planta además de atraer todas las clases de moscas negras y su flor esterilizar la mosca, su extracto posee acciones insecticidas que controlan la antracnosis y los hongos resistentes, también repele las moscas en las casas, establos, porquerizas y fosas de compostaje. Esta planta se debe sembrar o cultivar cerca de las pilas de abonos o alrededor de cultivos hortifrutales, eso sí lejos de la albahaca. Como trampa atrae las moscas y polillas negras además en florecencia, al posarse las moscas en ella, sufren esterilización, ejerciendo un control reproductivo de esta plaga. Deben sembrarse mínimo de 3 a 6 plantas de ruda en triángulos (p. 97).

**Saúco (*Sambucus nigra l*).** La fórmula consiste en hervir 500 gramos de hojas y flores de saúco en dos litros de agua, enfriar y colar para adicionar una cucharadita de jabón de coco no detergente. Se utiliza para controlar pulgones. (p. 97).

**Tabaco (*Nicotiana tabacum*).** Las hojas y tallo del tabaco negro se usan para una protección de cultivos. La concentración más alta de sustancias tóxicas y activas se encuentra en los tallos y en las nervaduras florales. Su espectro o acción es fungicida, insecticida, repelente y acaricida. El tabaco posee toxinas que inhiben la respiración y elimina los insectos por ingesta o por contacto. La nicotina que existe en la planta de tabaco es uno de los tóxicos orgánicos más poderosos y por tal razón hay que evitar el contacto de los preparados directamente con la piel durante su aplicación (usar guantes). Después de una aplicación de extracto de nicotina

procedente de tabaco sobre plantas de uso comestible es importante esperar un período de degradación biológica del producto durante 4 o 5 días (p. 97).

Como fórmula se deben macerar 500 gramos de tabaco en 200 gramos de carbonato de soda y 40 gramos de jabón coco no detergente en 20 litros de agua. Esta mezcla es efectiva contra pulgones en frutales y hortalizas. Las nervaduras de tabaco molidas y mezcladas con jabón de tierra son eficaces para el control de nuches en vacunos (p. 97).

**Tomillo (*Thymus vulgaris*).** Controla el gusano del repollo y actúa como repelente de zancudos y su principio activo actúa como fungicida para control de la sigatoka en bananos y otros hongos. Sembrado en diferentes sitios de la huerta atrae insectos benéficos y detiene el ataque del gusano comedor de hoja en el repollo (p. 97).

**Totumo (*Crescentia cujete*).** Las raíces maceradas se emplean como insecticida para controlar las cucarachas (p. 97).

**Cultivos trampa.** Algunos hortifruticultores tradicionales acostumbran a usar plantas altamente atractivas para los insectos que los desvían de los cultivos. Estas plantas llamadas cultivos trampa, pueden ser sembradas alrededor de los surcos o entre ellos para que atrapen las plagas, eliminándolas con facilidad (Méndez, 2017, p. 98).

Según Méndez (2017), los cultivos trampa también pueden servir como lugares de reproducción de parásitos, depredadores de plagas, como el saúco negro; el mismo autor menciona ejemplos de dichos cultivos como se muestra a continuación:

**Alfalfa (*Medicagos sativa*).** Esta planta sembrada en franjas dentro de un cultivo de algodón atrae la atención de algunas larvas masticadoras que causan estragos. Hay variedades de alfalfa para diferentes altitudes (m.s.n.m.) (p. 98).

***Fríjol canabalia (Canabalia insoforme)***. Tiene como principio activo la canabalina toxion, controlando la hormiga arriera; actúa también como un eficaz fungicida e insecticida (p. 98).

***Papaya (Carica papaya)***. Las hojas de papaya se utilizan para controlar hongos, ya que su principio activo tiene efectos fungicidas especialmente para el control de la roya y el *mildium* polvoso (p. 98).

Emplear estas fórmulas:

Macerar o machacar 500 gramos de hojas frescas de papaya, adicionar un litro de agua, colar y mezclar con 5 litros más de agua jabonosa (20 gramos de jabón no detergente) (Méndez, 2017, p. 98).

Macerar y colar 500 gramos de hojas y flores frescas de papaya en un litro de agua, durante 20 minutos al fuego, hasta llegar al punto de ebullición, luego dejar enfriar y sacar, este extracto mezclarlo con 20 litros de agua pura, adicionar los 40 gramos de jabón de coco y fumigar las hojas que presenten hongos (Méndez, 2017, p. 98).

***Soya (Ghycine max)***. Algunos coleópteros son atraídos por plantas de soya puestas al arroz, a los lotes de cultivos de arveja, cebolla, coliflor, lechuga, perejil y rábano (p. 98).

***Tabaco (Nicotina tabacum)***. Las plantas de tabaco florecido y estratégicamente ubicadas en cultivos, segregan una sustancia pegajosa, lo cual permite que las moscas blancas y negras y los insectos plaga de voladores se adhieran a las hojas y flores, muriendo con gran facilidad, constituyéndose en efectivo control (p. 98).

## **Métodos de Extracción de Compuestos Alelopáticos**

### **La infusión**

Es uno de los métodos de extracción más conocido, en donde las hojas, flores, epicarpios (cáscaras), o partes de vegetales en fresco o en seco, entran en contacto con agua, alcohol, o solución hidroalcohólica extractora y extrae los componentes fitoquímicos mayoritarios en especial componentes esenciales. El método de infusión se basa en añadir agua caliente o ardiente para obtener sus principios activos, el recipiente recibe a la muestra, se tapa y se espera unos cuantos minutos (15 minutos) hasta que se forme el compuesto tisano, se deja enfriar y más tarde se cuela o filtra (Cárdenas, 2014, p. 58).

### **La decocción**

Es un método similar al anterior, pero se diferencia en que se hace hervir la muestra de la planta en fresco o en seco por un tiempo de alrededor de 30 minutos en recipientes apropiados cerrados y con la respectiva solución extractora (agua, alcohol y mezclas hidroalcohólicas). Para su aplicación esta solución deberá ser filtrada. (Cárdenas, 2014, p. 58 - 59).

### **Los extractos o zumos**

Este procedimiento se realiza para aprovechar primordialmente vitaminas y sales minerales que se encuentran en los vegetales; para ello se lava bien la parte a emplearse, se ralla o machaca o tritura o licúa, para luego exprimir con una tela seca y limpia, a presión, hasta obtener el zumo, conservándose, de esta manera, los minerales y vitaminas a utilizarse (Cárdenas, 2014, p. 59).

### **El macerado o reposado**

Es una técnica de extracción a temperatura ambiente, en la cual se deja macerar la muestra vegetal en un solvente extractor durante largos períodos, mínimo 8 días, hasta años,

evitando la contaminación por hongos u otros microorganismos que generalmente suelen adherirse, para ésta técnica es preferible utilizar refrigeración a  $-4^{\circ}\text{C}$  con el propósito de mantener descontaminado el reposado, para ésta técnica se requiere un recipiente herméticamente cerrado, y disolventes orgánicos ideales para su extracción como alcohol etílico, metílico, agua, o mezcla hidroalcohólica, terminado el largo periodo se cuela y se recupera el reposado (Cárdenas, 2014, p. 59 - 60).

Los extractos obtenidos deben almacenarse en recipientes adecuados, tales como recipientes de hierro enlozado, cristal, madera o acero inoxidable, entre otros adecuados. Después del tiempo previsto, se cuela el reposado hasta presión reducida; esto es valiéndose de una tela fina o liencillo, se filtra el contenido y luego se exprime la fibra, hasta que éste expulse todo su contenido. Una de las ventajas, es lograr una extracción de los principios activos casi sin modificación de sus componentes (Cárdenas, 2014, p. 60).

### **Extracción por arrastre de vapor**

Esta técnica tiene como principal efecto la evaporación y/o volatilidad de los componentes aromáticos o terpenoides en relación con la temperatura, utilizando como extractores soluciones alcohólicas, hidroalcohólicas, cetónicas o bencénicas de acuerdo a la polaridad (p. 60 - 61).

Se arma el aparato con los respectivos tubos, accesorios y el refrigerante a utilizarse (lineal, liebig o espiral). Un balón grande u otro recipiente con mejor conveniencia contendrá el solvente y la muestra vegetal, al calentarse el solvente, este va evaporándose, vapor que irá arrastrando los componentes fitoquímicos (Cárdenas, 2014, p. 61).

Los componentes inmersos en el vapor, son arrastrados por diferencia en su punto de ebullición, pues unos compuestos hierven a menor grado que otros (Cárdenas, 2014, p. 61).

El vapor que llega al serpentín del refrigerante se condensa y cae en forma líquida con los componentes extraídos. Este método se usa para extraer componentes terpénicos en especial aceites esenciales y otros de carácter volátil o aromático (Cárdenas, 2014, p. 61).

### **Extracción por soxhlet**

Es un proceso de extracción continua, para lo cual se utiliza el extractor soxhlet el cual consta de varios materiales de vidrio especialmente acoplados para la extracción: un balón de 1 L, una manta de calentamiento o estufa de media luna que embona al balón, un sifón de vidrio, un condensador, y mangueras conectadas para la entrada y salida del agua que va actuar como refrigerante del vapor que recibe (Cárdenas, 2014, p. 61 - 62).

### **Extracción por percolación**

Se realiza en varias columnas de vidrio, con llaves de separación, similar a una bureta, en las cuales se agrega la muestra del material vegetal en fresco o en seco, luego se hace pasar a través del tubo los solventes apropiados, por lo general de polaridad decreciente (Cárdenas, 2014, p. 62).

El solvente debe bañar completamente a la muestra, luego de unos minutos se va recogiendo o colectándose las fracciones de cada solvente en recipientes separados. Este método se utiliza para separar pigmentos fotosintéticos como la clorofila, carotenos, antocianinas, etc (Cárdenas, 2014, p. 62).

## Métodos de Aplicación de Compuestos Alelopáticos

De acuerdo con Hidalgo e Hidalgo (2011), existen una gran cantidad de agentes alelopáticos que se sintetizan y se almacenan en diferentes tejidos de las plantas, haciéndolo de forma libre o por el contrario combinados con otras sustancias, pudiendo ser liberados al medio como una respuesta a los factores de estrés biótico o abiótico. La liberación de estas sustancias al entorno se realiza por las siguientes vías:

### **Volatilización**

Se produce en plantas que producen etileno y aceites esenciales volátiles, fundamentalmente terpenoides. Los géneros que comúnmente liberan estos compuestos volátiles son: *Artemisa*, *Salvia*, *Parthenium*, *Eucalyptus* y *Bassica*. La toxicidad de estos compuestos volátiles se puede prolongar por absorción en las partículas del suelo, pudiendo permanecer durante algunas semanas o meses. Este efecto se produce con mucha frecuencia en ecosistemas desérticos y mediterráneos, donde las elevadas temperaturas producen un alto nivel de volatilización (p. 1112).

### **Lixiviación**

Es la extracción acuosa de sustancias presentes en la planta por efecto de la lluvia, niebla, nieve o rocío. La efectividad depende del nivel de precipitación, así como de la edad de la planta y del tipo de tejido. Entre los agentes alelopáticos destacan: polifenoles, terpenos, alcaloides y carbohidratos (p. 1112).

### **Exudación**

Sustancias exudadas por las raíces, que pueden reducir la germinación de las semillas, así como el crecimiento de raíces y brotes, o bien la absorción de nutrientes y la nodulación. Entre

estas sustancias se destacan los ácidos hidroxámicos y ácidos fenólicos derivados del ácido benzoico (p. 1112).

### **Descomposición de residuos vegetales**

Los residuos en descomposición de las plantas, pueden liberar grandes cantidades de agentes alelopáticos, pudiendo ser transformados por la microflora del suelo, en sustancias con actividad biológica distinta a las originales o precursoras (p. 1112).

La aplicación en sistemas de cultivo se efectúa con diferentes métodos, como lo son: el acolchado, la rotación de cultivos y los extractos líquidos y pulverizaciones.

### **Acolchados o mulching**

Los acolchados consisten en cubrir de forma artificial parte del suelo de una plantación, con el objetivo de proteger y mejorar las condiciones de crecimiento y desarrollo de los cultivos. Además, posee la capacidad de amortiguar los efectos de las condiciones meteorológicas y actuar sobre algunos de los parámetros agronómicos que afectan al desarrollo óptimo de los vegetales (Salazar, 2016).

Los materiales utilizados en la práctica del acolchado se pueden diferenciar entre aquellos que son inertes (plásticos, arena, grava, etc.) y orgánicos (paja, restos cultivo anterior, hojas secas, acículas de pino, serrín o virutas de madera libre de compuestos químicos, corteza de árboles, césped o hierba cortada, cartones sin barnices, etc.) (Salazar, 2016).

Los restos de coníferas normalmente se mezclan con otros materiales tales como paja y vegetales verdes, pues pueden acidificar mucho el suelo. Los más usados son las cortezas de algunos pinos (Caravaca, 2015, p. 262).

El empleo de la técnica del acolchado en agricultura ecológica aporta una serie de ventajas que justifican su utilización. En primer lugar, el acolchado permite proteger a los

cultivos de las temperaturas extremas, tanto en zonas donde son frecuentes las bajas temperaturas, como en las regiones que se caracterizan por una alta insolación acompañada de temperaturas estivales muy altas (Salazar, 2016).

La cubrición superficial del suelo también supone disminuir la evaporación del terreno, y por consiguiente ayuda a aumentar la humedad del terreno. También esta capa evita el impacto de las gotas de agua directamente sobre el terreno y reduce la erosión por el viento y a causa del agua que circula por la superficie al frenar su velocidad (erosión hídrica). Otra de las funciones importantes del uso del acolchado es su capacidad para controlar el crecimiento y desarrollo de las hierbas adventicias, que compiten con las plantas cultivadas por los recursos hídricos y los nutrientes. Según ciertos estudios, el acolchado también favorece la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire que rodea a las plantas, lo que repercute en una mayor tasa de crecimiento. En el caso de utilizar *films* plásticos que actúan como barrera física entre el suelo y la parte aérea de las plantas, se aumenta también la calidad y presentación de los frutos al evitar el contacto directo con la tierra (Salazar, 2016).

Dependiendo de si el material utilizado es orgánico, estas cubiertas también contribuyen a mejorar los parámetros físicos, químicos y biológicos de los suelos, al actuar sobre su estructura, aportar materia orgánica y beneficiar el incremento de la población microbiana del suelo (Salazar, 2016).

De acuerdo con Caravaca (2015), dentro de las ventajas del acolchado orgánico están:

La producción de un incremento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y en el contenido en humus del suelo (p. 262).

Controlar el crecimiento de semillas de malas hierbas, ya que el acolchado forma una capa sin luz que asfixia a las semillas. Si las semillas consiguen germinar serán arrancadas fácilmente, pues el suelo está muy mullido (p. 263).

Algunos tipos de acolchado orgánico liberan nutrientes al suelo, lo que ayuda a mantener la fertilidad del mismo. Además, al mejorar las condiciones físicas también se favorece la disponibilidad de los nutrientes del suelo para las plantas. El incremento de la actividad microbiana del suelo ayuda a conservar e incluso a aumentar la fertilidad del suelo. Como se ha visto, el acolchado favorece la actividad de seres vivos en el suelo, y la presencia de microorganismos ayuda a la descomposición de los restos orgánicos del suelo, entre ellos también del propio acolchado. Por tanto, se favorece la liberación de nutrientes de los materiales que se utilizan en el acolchado (p. 263).

### **Rotación de Cultivos**

La Rotación de cultivo se define como la sucesión recurrente y regular de diferentes cultivos en el mismo terreno a lo largo de varios años y la forma o secuencia en que se irán estableciendo los cultivos hasta que vuelva a repetirse ese cultivo en el mismo terreno o lugar. (Infante y San Martín, 2016, p. 124).

Se define como rotaciones al permanente intercambio de especies y variedades en el lugar de siembra. Es una práctica planificada y con criterio técnico, un sistema en el que se alternan diferentes cultivos buscando, sobre todo, la sostenibilidad de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y, en lo posible, su mejoramiento (Curcio, 2019).

Infante y San Martín (2016), mencionan las ventajas de las rotaciones:

Mejora el suelo y la fertilidad tanto química, biológica y física

Mejor aprovechamiento de recursos del predio

Contribuye a la seguridad alimentaria puesto que diversifica la producción y permite homogeneizar las cosechas en el año.

Permite un adecuado control de muchas plagas y enfermedades en especial del suelo.

Mejora la biodiversidad del predio contribuyendo al equilibrio ecológico y estabilidad del agroecosistema.

Infante y San Martín (2016), mencionan los beneficios agronómicos de las rotaciones:

### ***Disponibilidad de nutrientes***

La mayor disponibilidad de nutrientes se debe a diversos factores. Por una parte, hay un aumento de la materia orgánica del suelo, especialmente en rotaciones que integren rastrojos. Por otra parte, la incorporación de leguminosas ha sido la base de diversas rotaciones durante muchos años, debido a su capacidad de fijar nitrógeno. Finalmente, se sabe que las plantas exploran el suelo de diferente manera. Así los cultivos de raíces profundas pueden utilizar nutrientes ubicados más profundamente y de este modo pueden traer a la superficie volviéndolos disponibles para cultivos de raíces más superficiales, siempre que los rastrojos no se saquen del terreno (Infante y San Martín, 2016, p. 124).

### ***Control de plagas y enfermedades***

Uno de los más importantes efectos de la rotación sobre los cultivos, es el beneficio obtenido por un mejor control de plagas y enfermedades (Infante y San Martín, 2016, p. 124).

En el control de plagas, un buen diseño de rotación permite sincronizar los insectos plaga y sus enemigos naturales. Es así como un cultivo de invierno compatible puede permitir invernar a un gran número de parásitos. Las arvenses alrededor o dentro de los campos pueden cumplir una función similar al albergar poblaciones de plagas y equilibrar la plaga y sus enemigos naturales. Para el control de algunas enfermedades, estudios indican que en las rotaciones se

producen en el suelo modificaciones microbiológicas y bioquímicas en relación a suelos manejados con rotaciones culturales limitadas o con monocultivos. Se aconsejan las rotaciones para reducir la población de patógenos en el suelo, en especial cuando los tratamientos químicos son pocos efectivos (Infante y San Martín, 2016, p. 125).

### ***Disminución de arvenses***

La rotación de cultivos es una de las mejores medidas utilizadas para combatir a las arvenses invasoras persistentes. Sin embargo, a pesar de reconocer la acción perjudicial de la arvense, en los sistemas orgánicos no se busca la erradicación total de las arvenses, pues se ha comprobado ampliamente que algunas de ellas son beneficiosas, pues son el refugio a los controladores naturales de plagas o actúan como cultivos trampa para ellas (Infante y San Martín, 2016, p. 125).

### ***Efecto de las excreciones radiculares***

Las raíces con exigencias semejantes no se toleran mutuamente, porque excretan sustancias parecidas. Así muchas plantas son autointolerantes, soportando mal el monocultivo. Por el contrario, en cultivos mixtos o intercalados, el enraizamiento puede ser perfecto siempre que las especies tengan exigencias nutricionales diferentes y diferentes excreciones radiculares, como ocurre con el maíz (*Zea mays* L.) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*) (Infante y San Martín, 2016, p. 126).

La rotación de cultivos es beneficiosa sobre el suelo, la sanidad vegetal, la biodiversidad y los requerimientos de los cultivos. En el ciclo de rotaciones deberían incluirse los periodos de descanso que otorgan beneficios al ecosistema sobre el suelo, las plagas y enfermedades, los ciclos de las arvenses y la biodiversidad. (Curcio, 2019, p. 47).

Los problemas de no planificar rotaciones de acuerdo con Curcio (2019), podrían ser:

Plagas y enfermedades asociadas al cultivo repetido podrían quedar en la parcela en estado de latencia, en espera de la nueva plantación, aumentando las poblaciones exponencialmente (p. 47).

Podría disminuir la disponibilidad de nutrientes, siempre en la misma profundidad del suelo, ya que si se cultivan sistemáticamente especies de necesidades nutritivas semejantes que tienen similar profundidad de raíz, se podrían provocar problemas de carencias nutricionales a las plantas (p. 47).

### ***Planificación de la rotación***

Según Infante y San Martín (2016), el éxito de los sistemas orgánicos de producción depende del diseño de rotaciones, que debe responder a los siguientes criterios técnicos:

Equilibrar la acumulación de la fertilidad con la extracción que hacen los cultivos, pues hay cultivos que aportan nutrientes y cultivos que sacan. El fundamento del tipo de cultivo que se establece es que una especie muy extractiva, por ejemplo, como el trigo, sea establecida en un potrero donde continuamente se estableció leguminosa para la incorporación de N, y finalmente se deja en descanso (pradera). Al sembrar trigo por varios años seguidos en un mismo lugar, se agotan los nutrientes del suelo y el trigo va rindiendo cada vez menos.

Incorporar cultivos de leguminosas y abonos verdes.

Incluir cultivos con diferentes sistemas radiculares.

Separar en el espacio y en el tiempo los cultivos que presentan susceptibilidades similares a plagas, enfermedades y arvenses.

Mantener o incrementar los niveles de materia orgánica del suelo.

El esquema de rotación ideal mantiene para cada año superficies similares por grupo de cultivos (chacras, cereales y praderas). Esto significa que, si el esquema de rotación es de seis años, el número de lotes o sectores en rotación deberá también ser seis.

**Definir el ordenamiento dentro de la rotación.** Para un suelo de regular calidad, se hará una rotación a 6 años, incluyendo un cereal (trigo), y leguminosas como lenteja, haba y arveja, para el consumo familiar, avena vicia como abono verde y pradera mejorada para dar descanso a los potreros. El criterio más exigente para el ordenamiento es ir alternando entre cultivos más exigentes o que extraen nutrientes del suelo y cultivos menos exigentes, que incluso incorporan nutrientes (Infante y San Martín, 2016, p. 127).

De acuerdo con Infante y San Martín (2016), un ejemplo de rotación, para un predio de secano con suelos degradados, se presenta a continuación:

Para una rotación a 6 años, se divide en seis potreros iguales, con la siguiente rotación anual:

***Potrero 1.*** Trigo

***Potrero 2.*** Lentejas

***Potrero 3.*** Habas y arvejas

***Potrero 4.*** Avena y vicia

***Potrero 5 y 6.*** Pradera mejorada

De acuerdo a la rotación, para el año siguiente, donde estaba el cultivo 1, se establece el cultivo 2, y así sucesivamente. Al cabo de seis años, cada portero habrá tenido todas las especies de cultivo y habrá recibido el tratamiento mejorador de la rotación. Al sexto año, la distribución de los cultivos es igual que en el primer año (Infante y San Martín, 2016, p. 128).

## Extractos Líquidos y Pulverizaciones

Luna y Lara (2007, p. 15 - 17), señalan algunas recomendaciones para el uso de extractos de plantas para fitocontrol:

Para determinar la calidad del extracto es necesario recordar que, además del método utilizado para su obtención está afectada por el tipo y calidad de la materia prima, la cual a su vez la influyen los factores mencionados en la siguiente figura:

### Figura 13

*Factores que influyen en la calidad de la materia prima de origen vegetal*

CLIMA	RECOLECCIÓN	DESECACIÓN
Temperatura	Personal calificado	Condiciones del secadero
Pluviosidad	Época del año	Temperatura óptima de la desecación
Duración del día	Hora del día	Situación cercana a los cultivos
SUELOS Y AGUAS	MANEJO DEL CULTIVO	CONSERVACIÓN
Calidad del suelo	Propagación por semillas	Evitar proliferación de microorganismos contaminantes.
Calidad del agua	Propagación por medios vegetativos.	Mantener contenidos de humedad, temperatura, luz y oxígeno adecuados
	Sistemas de fertilización y riego	

*Nota.* La calidad de la materia prima vegetal depende de factores climáticos, edáficos, de recolección, manejo del cultivo, desecación y conservación. Obtenido de: Luna, L. y Lara, G., 2007.

[https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2178/42957\\_48664.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2178/42957_48664.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Muchas sustancias con actividad alelopática tienen efectos benéficos a muy bajas concentraciones y, superando una determinada cantidad, actúan negativamente sobre la planta receptora, de ahí se sugiere realizar pruebas con los extractos producidos, a nivel de campo, que permitan hacer comparaciones para mejorar la actividad del producto.

Por ejemplo, se encontró que el extracto acuoso de tabaco, a concentraciones superiores a 30%, inhibe la germinación de semillas de tomate, mientras que a concentraciones más bajas produce estimulación del crecimiento de tallos y raíces.

En las primeras etapas de crecimiento de las plantas, se sugiere no utilizar extractos con concentraciones superiores a 10%.

En plantaciones adultas y extractos con concentraciones entre 10 y 15%, utilizar entre 150 a 200 cc por bomba de 20 litros.

No utilizar insecticidas ni fungicidas de síntesis (químico) en mezcla con los extractos vegetales.

Hacer rotación de extractos vegetales.

Aplicar los extractos vegetales en horas de la tarde cuando no haya presencia de rayos solares.

### ***Ejemplo de aplicación de extracto alelopático en estudio de laboratorio***

En un estudio donde se evaluó el extracto de las semillas de *Campomanesia lineatifolia* en *Taraxacum officinale*. Se utilizó un diseño completamente al azar en la fase I (sobre semillas), y en la fase II (sobre plantas), aplicando cuatro tratamientos correspondientes a las concentraciones del extracto (0, 3, 6 y 9 %) (Cabeza et al., 2021).

En la primera fase del estudio, las semillas fueron puestas en papel absorbente dentro de las cajas “petri”, hidratadas periódicamente con los extractos alelopáticos, excepto el testigo que solo se hidrató con agua destilada (Cabeza et al., 2021).

En la segunda fase, las semillas fueron sembradas en materas con turba hidratada a capacidad de campo y con riego cada tercer día. Después de la germinación, se adicionó fertilizante líquido de grado 12-4-8 (N-P-K) y se preparó tomando 10 mL, disueltos en 1L de agua; de esta solución se aplicó 40 mL por materia una vez por semana. En el momento en que las plántulas alcanzaron en promedio 10 cm de altura, se hicieron aplicaciones foliares de manera uniforme a todo el follaje de los extractos con un atomizador de 10 mL. En cada tratamiento fue necesario agregar coadyuvante para lograr una cobertura uniforme en las hojas (Cabeza et al., 2021).

En la fase I, las concentraciones de 3, 6 y 9 % inhibieron totalmente la germinación; en la fase II, para estos mismos tratamientos, la incidencia fue del 100 %, y la severidad más alta (65,5 %) se presentó con el tratamiento de 9 %. Se encontró efecto alelopático del extracto de semillas de *C. lineatifolia* sobre la germinación y fisiología de *T. officinale* (Cabeza et al., 2021).

De acuerdo con los resultados, se demuestra la acción fitotóxica de este extracto sobre el follaje de las plantas, que se caracterizó por presencia de clorosis y tonalidades rojizas sobre la lámina foliar. Es probable que el daño causado por el bioherbicida esté relacionado con alteraciones en los fotosistemas, que en presencia de luz están sintetizando especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), que causan daños en diferentes biomoléculas, principalmente sobre las clorofilas, siendo este proceso responsable de la clorosis en las hojas de *T. officinale* (Cabeza et al., 2021).

**Tabla 2***Compuestos alelopáticos, métodos de extracción, dispersión y usos*

Compuesto Alelopático	Método(s) de Extracción más Adecuado(s)	Dispersión Recomendada	Principales Usos	Cita Bibliográfica
Ácido p-cumárico	Extracción con metanol o etanol acuoso, seguido de análisis por HPLC	Lixiviación en suelo o exudados radiculares	Inhibición de germinación y crecimiento radicular de arvenses	Li et al., 2010
Ácido p-hidroxibenzoico	Extracción con metanol/etanol acuoso o hidrólisis alcalina	Lixiviación desde residuos vegetales o exudación radicular	Inhibición del crecimiento de plántulas y autotoxicidad vegetal	Li et al., 2010
Juglona	Extracción con etanol o acetato de etilo de hojas y cáscara de nogal	Liberación por lixiviación o descomposición de residuos	Control natural de arvenses; alelopatía del nogal	Medic et al., 2021
Alcaloides	Extracción ácido-base con solventes orgánicos	Lixiviación o liberación desde tejidos vegetales	Defensa química contra herbívoros y fitotoxicidad	Liu et al., 2025
Flavonoides	Extracción con metanol o acetona acuosa	Exudados radiculares o lixiviados foliares	Inhibición del crecimiento de raíces y señalización química	Stalikas, 2007
Cumarinas	Extracción con etanol o metanol	Liberación en suelo por residuos vegetales	Bioherbicidas naturales y actividad antimicrobiana	Cheng & Cheng, 2015

Antraquinonas	Extracción con etanol o acetona y purificación cromatográfica	Lixiviación desde tejidos vegetales	Fitotoxicidad y control de arvenses	Duval et al., 2016
Terpenos	Hidrodestilación o CO <sub>2</sub> supercrítico	Volatilización o aceites esenciales	Bioherbicidas, actividad insecticida y antimicrobiana	Nishida et al., 2005
2,3-butanodiol	Captura de compuestos volátiles y análisis por GC-MS	Volatilización	Señalización química entre plantas y microorganismos	Ryu et al., 2003
Lactonas sesquiterpénicas	Extracción con etanol/metanol y cromatografía	Liberación desde hojas o residuos vegetales	Potencial bioherbicida	Macías et al., 2006
$\beta$ -ocimeno	Hidrodestilación de aceites esenciales	Volatilización	Comunicación química entre plantas y defensa	Arora et al., 2016
Tagetona	Hidrodestilación del aceite esencial de <i>Tagetes minuta</i>	Volatilización	Actividad herbicida, insecticida y antimicrobiana	Salehi et al., 2018
Dihidrotagetona	Hidrodestilación de aceites esenciales	Volatilización	Actividad antioxidante y herbicida	Karimian et al., 2014
Tagetenona	Hidrodestilación y análisis GC-MS	Volatilización	Alelopatía y actividad antimicrobiana	Salehi et al., 2018
Limoneno	Hidrodestilación o prensado en frío de cítricos	Volatilización	Bioherbicida natural y actividad insecticida	Nishida et al., 2005

Triterpenos	Extracción con metanol o etanol acuoso	Lixiviación desde residuos vegetales	Defensa vegetal y bioherbidas	Francis et al., 2002
Sorgoleona	Extracción con solventes orgánicos de raíces de sorgo	Exudación radicular	Control natural de arvenses	Dayan et al., 2010
Benzoxazinoides (DIMBOA, DIBOA)	Extracción con metanol/agua y análisis LC-MS	Exudación radicular o descomposición de residuos	Supresión de arvenses y defensa vegetal	Cheng & Cheng, 2015

---

*Nota.* Se presentan algunos compuestos alelopáticos, los métodos de extracción más utilizados, sus formas de dispersión y principales usos reportados en la literatura

## **Impacto de la Alelopatía en la Sostenibilidad y Productividad Agrícola**

Es imperativo aumentar el rendimiento de los cultivos para satisfacer las demandas de una población mundial en rápido crecimiento, al mismo tiempo que se protege el medio ambiente de los impactos adversos, uno de los principales desafíos que enfrenta la humanidad en esta fase del cambio climático global. Para superar este problema y reducir la dependencia de los fertilizantes químicos, los científicos ahora consideran la implementación de estrategias de bioestimulantes como un enfoque rentable y ambientalmente amigable para lograr una agricultura sostenible (Han et al., 2024, p. 2149).

Los productos naturales derivados de plantas, como los metabolitos secundarios -entre ellos, alcaloides, terpenoides, compuestos fenólicos y fitoalexinas-, ofrecen alternativas prometedoras debido a su capacidad para mejorar la inmunidad vegetal e inhibir la actividad de plagas (Jahan et al., 2025, p. 1). Las plantas han desarrollado estrategias de defensa elegantes contra los estreses bióticos y abióticos, utilizando principalmente metabolitos secundarios. Los metabolitos secundarios desempeñan funciones tanto en las defensas constitutivas (por ejemplo, tomatina) como en las respuestas inducidas (por ejemplo, fitoalexinas), que permiten a las plantas una defensa efectiva contra patógenos y herbívoros (Kumar et al., 2025, p. 1).

Los extractos vegetales son ricos en fitoquímicos bioactivos, los cuales pueden mejorar la resistencia de las plantas a enfermedades, plagas y estrés abiótico (por ejemplo, sequía, salinidad y temperaturas extremas), además de promover el crecimiento y la productividad vegetal. Asimismo, la aplicación de extractos vegetales mediante riego al suelo puede cambiar significativamente el microbioma del suelo en la rizosfera e interactuar indirectamente con las plantas, estabilizando finalmente su crecimiento. Actualmente, la aplicación de extractos vegetales en su conjunto es efectiva, ya que enfatiza la contribución de las interacciones

complejas entre múltiples compuestos, siendo los extractos de algas marinas los más estudiados y utilizados. De manera interesante, los extractos vegetales son compatibles con los fertilizantes y pueden aplicarse en conjunto con los aportes de nutrientes para mejorar aún más su efectividad (Han et al., 2024, p. 2149).

Prácticas agronómicas como la rotación de cultivos, el cultivo intercalado y los cultivos de cobertura con especies que poseen potencial alelopático podrían formar parte de las prácticas agrícolas convencionales para un control de arvenses económico y eficaz. La extracción de aleloquímicos de plantas donantes y su uso como bioherbicida podría ser otro enfoque para utilizar la alelopatía en el manejo de arvenses. El manejo alelopático de arvenses ofrece una oportunidad para mantener la diversidad ecológica y, al mismo tiempo, cumplir con los requisitos de la agricultura sostenible (Choudhary et al., 2023, p. 11).

La incorporación de la alelopatía y los compuestos aleloquímicos en la agricultura moderna se considera cada vez más un enfoque sostenible para mitigar los riesgos ambientales. En los últimos años, se ha puesto de relieve el potencial de los compuestos fenólicos como herbicidas naturales. Su capacidad única para interferir con la disponibilidad de nutrientes del suelo y acumularse en los suelos de la rizosfera proporciona una alternativa ecológica para la supresión de arvenses. Los estudios de caso demuestran su eficacia para frenar el crecimiento de arvenses cuando se integran cuidadosamente en los agroecosistemas (Mushtaq & Fauconnier, 2024, p. 8).

Las arvenses son plantas indeseables que crecen tanto en entornos naturales como en campos cultivados y que afectan negativamente el crecimiento y el rendimiento de los cultivos domésticos, ya que interactúan con ellos para obtener los recursos disponibles, haciendo de las especies cercanas una competencia. En la agricultura controlada, las arvenses se controlan

mediante métodos mecánicos o mediante la aplicación extensiva de herbicidas. Ambos enfoques presentan ventajas y desventajas. Los métodos mecánicos generalmente se basan en la eliminación de arvenses con herramientas manuales o mecánicas. Esta práctica es eficaz en campos pequeños. En áreas más extensas, la eliminación de arvenses resulta muy laboriosa y difícil; por lo tanto, la efectividad de los métodos mecánicos se pierde debido a la dedicación de mano de obra y tiempo. El control químico se basa principalmente en el uso de diversos agroquímicos que muestran buenos resultados eliminando las plantas objetivo. Sin embargo, la contaminación ambiental causada por la aplicación extensiva de estos productos químicos eclipsa su eficacia. Además, el creciente resurgimiento de arvenses resistentes a los pesticidas en los últimos años ha provocado la pérdida de eficacia de algunos herbicidas que eran más efectivos en el pasado (Zahir et al., 2019, p 56).

Para evitar los problemas ambientales y laboriosos asociados con el manejo de arvenses, la introducción de métodos agroambientales tiene un futuro prometedor. El manejo alelopático de plantas nocivas es una investigación atractiva, ya que esta técnica contribuiría al manejo sostenible de arvenses al reducir el uso de pesticidas y sus repercusiones en el medio ambiente. El conocimiento de las propiedades alelopáticas de las plantas puede contribuir al desarrollo de la agricultura orgánica. La alelopatía para el control de arvenses puede manipularse de diversas maneras. En primer lugar, el cultivo de plantas con aleloquímicos activos que suprimen arvenses candidatas podría reducir la probabilidad de arvenses específicas en su entorno (Zahir et al., 2019, p 56).

En segundo lugar, las enmiendas del suelo con residuos de plantas alelopáticas pueden proporcionar una supresión eficaz de arvenses. El suelo puede ser enmendado naturalmente cuando las hojas y otras partes de la planta caen al suelo y, tras una descomposición parcial, se

mezclan con tierra o diferentes tipos de paja, mantillo y residuos que pueden añadirse mecánicamente. Estos residuos liberan aleloquímicos al suelo que algunas arvenses pueden considerar inadecuados para su crecimiento y establecimiento (Zahir et al., 2019, p 56).

Los enfoques prometedores para una agricultura ecológicamente sostenible pueden resultar de las interacciones beneficiosas entre microbios y plantas. En la agricultura sostenible, el desarrollo de biofertilizantes, agentes de biocontrol y biorremediación se ha visto enormemente favorecido por la interacción entre plantas y microbios. Para mejorar la nutrición y la producción de las plantas, las plantas y los microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPM) son cruciales para mantener la estabilidad ecológica y mejorar la salud de las plantas (Laishram et al., 2025, p. 18).

Los exudados radiculares (ER) representan un recurso prometedor, aunque poco explorado, para la agricultura sostenible. Al modificar la dinámica de la rizosfera, atraer microorganismos beneficiosos e interrumpir la comunicación de las plagas, los ER proporcionan una base natural para el control ecológico de plagas y una mayor resiliencia de los cultivos. La integración de estrategias basadas en ER en las prácticas agrícolas ofrece un enorme potencial para reducir la dependencia de plaguicidas sintéticos, mitigar la degradación ambiental y promover la biodiversidad (Afzal et al., 2025, p. 12).

En tercer lugar, el potencial alelopático de diferentes plantas puede aprovecharse utilizando sus extractos o aceites esenciales para el manejo de arvenses, además, se pueden obtener formulaciones orgánicas de plantas alelopáticas para ciertas especies de arvenses. Diversos estudios en la literatura destacan la importancia de diversas plantas como potentes fuentes de extractos alelopáticos, aceites esenciales y formulaciones de herbicidas (Zahir et al., 2019, p 56-59).

Al igual que las arvenses, una amplia gama de fitopatógenos atacan a diferentes cultivos, les causan enfermedades y provocan importantes daños, tanto cualitativos como cuantitativos, en el crecimiento y la producción. Los efectos adversos de los fitopatógenos y las diferentes enfermedades varían considerablemente en los distintos cultivos y en las diferentes condiciones de crecimiento. Además, la naturaleza de los patógenos es diversa; algunos son endófitos, se transmiten por el aire, el suelo o el agua. Para reducir los daños causados por los patógenos en los cultivos, se utilizan ampliamente plaguicidas con diferentes modos de acción y aplicación en los cultivos extensivos. Estos plaguicidas tienen efectos adversos en la salud humana, en organismos no objetivo y en el ecosistema (Zahir et al., 2019, p 59).

Los avances recientes en la investigación alelopática sugieren un papel positivo de los aleloquímicos en el manejo de las enfermedades de las plantas. Los exudados radiculares de algunas plantas son eficaces para controlar los patógenos transmitidos por el suelo, mientras que los compuestos volátiles de las partes aéreas son eficaces para suprimir las enfermedades transmitidas por el aire. Los residuos alelopáticos pueden ser más eficaces para controlar los patógenos transmitidos por el agua. (Zahir et al., 2019, p 59).

Las interacciones entre elementos reguladores (ER) están directamente relacionadas con la productividad. En condiciones de estrés, los ER emergen como factores clave en la comunicación entre plantas y entre plantas y microorganismos, permitiendo un complejo mecanismo de defensa que a menudo se extiende dentro de la misma especie vegetal y entre diferentes especies (Sorty et al., 2025, p. 13).

La alelopatía es un recurso infrautilizado y una estrategia prometedora para lograr un manejo más sostenible de las arvenses en los cultivos. Muchos cultivos potencialmente

alelopáticos pueden utilizarse como cultivos de cobertura, sofocantes y como abono verde para el manejo de arvenses, incluyéndose en cultivos intercalados y rotaciones (Vajja et al., 2025, p. 7).

Un control alelopático eficaz de arvenses puede ser muy beneficioso para las rotaciones de cultivos, especialmente cuando ciertas especies de arvenses ya se han establecido o los suelos se han visto afectados por monocultivos a largo plazo (Vajja et al., 2025, p. 7).

Fundación Hogares Juveniles Campesinos (2004), en su manual sobre agricultura alternativa, menciona algunos beneficios de la alelopatía:

Disminuye los costos (p. 71).

Independiza a los cultivadores de las casas productoras de abonos y pesticidas químicos (p. 71).

Preserva los cultivos, los animales y al hombre (p. 71).

Uso racional de los productos orgánicos (p. 71).

Dificulta la entrada de los insectos a través de barreras con plantas repelentes (p. 72).

Impide la proliferación de plagas, rompiéndoles el ciclo de vida y creando medios de producción de insectos benéficos, estableciendo variedades de cultivos resistentes y haciendo una clasificación de arvenses (p. 72).

Descontaminar las aguas superficiales y mantos freáticos (p. 72).

Mejora la estructura del suelo (p. 72).

Proporciona medios de proliferación de lombrices y otros microorganismos benéficos (p. 72).

Da fuerza a la agricultura autosostenible; aquella que puede perdurar por tiempo indefinido en beneficio de la humanidad, sin deteriorar el medio ambiente (p. 72).

Preserva la calidad del producto (p. 72).

Los fitoquímicos ofrecen una alternativa orgánica prometedora a los pesticidas sintéticos, ya que mejoran el rendimiento de los cultivos y proporcionan una especificidad contra plagas que reduce el daño a los seres humanos y a la vida silvestre. Al aprovechar estos compuestos naturales, se pueden mejorar las medidas de control de plagas garantizando al mismo tiempo la seguridad ambiental. Sin embargo, hasta ahora, las discusiones exhaustivas sobre su potencial, los avances recientes, las aplicaciones innovadoras y las limitaciones de los fitoquímicos en el control de plagas siguen siendo limitadas (Poslinski et al., 2025).

## **Efectos de la Alelopatía en el Crecimiento y Desarrollo de Cultivos de Interés Agronómico**

Desde épocas muy antiguas, se ha investigado acerca de la alelopatía, viendo este tema como una oportunidad de desarrollo para establecer una agricultura más limpia, por medio del conocimiento sobre las reacciones que puede tener una especie vegetal en contacto con otra, en un agroecosistema. Por ello, se realiza una revisión documental sobre casos donde se aprecian resultados en investigaciones reales en las cuales se sustentan evidencias de asociaciones benéficas y/o perjudiciales, mostrando importantes hallazgos, de acuerdo al comportamiento de cada planta según sus compuestos alelopáticos.

### **Cultivos de Cereales**

#### ***Maíz (Zea mays)***

Por medio de un trabajo investigativo en experimentos de laboratorio con el fin de evaluar el comportamiento de la interferencia alelopática en las relaciones maíz-arvenses. Se observó que los residuos incorporados al suelo mostraron una tendencia a influir sobre la emergencia, la altura y el peso verde de plántulas de maíz en dependencia del momento de la siembra a partir de la incorporación, con ciertas particularidades propias a cada especie. Las arvenses *S. halepense*, *C. rotundus*, *P. hysterophorus*, *E. colonum* y *C. diffusa* mostraron fuerte acción inhibitoria sobre el desarrollo del cultivo sembrado a los cinco días, y *P. hysterophorus* y *C. diffusa* mantuvieron una reducción significativa de la altura de plántulas de maíz diez días después de realizada la mezcla de residuos vegetales de arvenses con suelo. Estos resultados muestran que los posibles efectos de los restos vegetales deben tomarse en consideración al definir las labores de preparación del suelo (García, 2005, p. 17).

### ***Extractos acuosos de forraje sobre Glycine max L. Merr., Zea mays L. y Bidens pilosa L.***

El objetivo del presente estudio fue investigar la posible influencia de la alelopatía de los extractos acuosos de cultivos forrajeros, aislados o en consorcio, sobre rendimiento fisiológico de las semillas de soja [*Glycine max* (L.) Merr.] y de maíz (*Zea mays* L.), además de su fitotoxicidad en la hierba *Bidens pilosa* L. Se prepararon extractos acuosos a una concentración del 5% (da Costa Zonetti et al., 2022, p. 71).

Los extractos de *Avena strigosa* y *Raphanus sativus* L., cultivados tanto en forma aislada como en consorcio, aumentaron el porcentaje de germinación de semillas (%G) y la longitud de las plántulas de soja. Asimismo, los extractos de *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br. y *Crotalaria spectabilis* Roth, cultivados aislados y en consorcio, proporcionaron ganancias en el % G de maíz. Además, todos los extractos evaluados suprimieron la germinación y redujeron la velocidad del índice de germinación de la maleza en comparación con el control, siendo el extracto de *R. sativus* el que más redujo el % G de *B. pilosa* (Da Costa Zonetti et al., 2022, p. 71).

### ***Análisis metabolómico del suelo rizosférico: Nueva evidencia que respalda las ventajas ecológicas del sistema de cultivo intercalado de soja y maíz***

Los hallazgos revelan que la etapa de crecimiento ejerce la influencia más significativa en los perfiles metabólicos de los suelos rizosféricos de soja, seguida del método de cultivo y, posteriormente, por las diferencias entre cultivares. Específicamente, durante la etapa de llenado del grano, la población de iones metabólicos del suelo rizosférico de soja difiere notablemente de otras etapas, con niveles más bajos de amidas, alcoholes, cetonas, ésteres y metabolitos nitrogenados, pero mayores concentraciones de metabolitos de ácidos fenólicos. Además, el cultivo intercalado con maíz reduce significativamente el contenido de metabolitos de ácidos

fenólicos en la rizosfera de la soja en comparación con el monocultivo, lo que indica una disminución del potencial alelopático autotóxico. Los resultados destacan la etapa de llenado del grano para los cambios en la población de iones metabólicos de la soja en la rizosfera, lo que sugiere que, a medida que la soja madura, aumenta el potencial alelopático de sus raíces (Mughal et al., 2024).

### ***Trigo (Triticum aestivum L.)***

En una revisión sobre la alelopatía del trigo, se exhibe potencial alelopático debido a la presencia de ácidos fenólicos, flavonoides (PAF), benzoxazinonas (BXZ) y fenoxazinonas (PXZ), que se liberan al entorno y afectan el crecimiento, desarrollo y características fisiológicas de las plantas vecinas. La biosíntesis de BXZ está fuertemente regulada durante el crecimiento de la planta, siendo su acumulación mayor en los tejidos jóvenes y dependiente del genotipo del trigo y las condiciones ambientales. (Hussain et al., 2022, p. 15).

Se ha demostrado que los aleloquímicos de diferentes genotipos de trigo inhiben el crecimiento de diversas especies de arvenses, como *Bromus japonicus*, *Chenopodium album*, *Portulaca oleraceae*, *Avena fatua* y *Lolium rigidum*. La microflora del suelo es responsable de transformar las BXZ en metabolitos bioherbicidas más potentes que pueden aprovecharse como agentes de control de arvenses. La selección y el mejoramiento de cultivares de trigo ricos en BXZ podrían servir como modelos de bioherbicidas y evitar el aumento de los niveles de resistencia a los herbicidas para un manejo más sostenible de las arvenses. Se ha demostrado que las BXZ inhiben el crecimiento y desarrollo de ciertas plagas agrícolas, incluyendo insectos, hongos patógenos y arvenses; por lo tanto, se deben considerar consideraciones para la selección y el mejoramiento de nuevos genotipos de trigo con mayor capacidad defensiva gracias a un mayor contenido de BXZ. Las BXZ del trigo pueden ser útiles como agentes de control de

arvenses debido a su fitotoxicidad, actividad específica y limitada persistencia en el suelo (Hussain et al., 2022, p. 15).

***Bacterias antagonistas de arvenses estimulan el crecimiento, la fisiología y el rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.)***

Es necesario establecer los efectos diferenciales de los agentes biológicos de control de arvenses antes de recomendar su aplicación en condiciones de campo. Estudios previos han reportado que cinco cepas de bacterias antagonistas de arvenses (BAA) controlan las tres arvenses más nocivas del trigo. Se encontró que ninguna cepa causó daño al cultivo al alterar su crecimiento, rendimiento, parámetros fisiológicos y químicos. Tres de las cepas, incluyendo O010 (*Pseudomonas aeruginosa*), T42 (*P. putida*) y W9 (*P. alcaligenes*), no causaron efectos significativos en estos parámetros del trigo, mientras que las cepas 7O0 y L9 (ambas identificadas como *P. fluorescens*) mejoraron significativamente estos parámetros del trigo en todos los experimentos. Por lo tanto, estas 5 cepas de WAB, al ser estrictamente selectivas en el control de la invasión de acedera de hoja ancha, alpiste y avena silvestre en el trigo, pueden utilizarse ampliamente para controlar estas arvenses nocivas (Abbas et al., 2021).

***Bioherbidas***

Los efectos combinados de las bacterias y el extracto alelopático reducen el desarrollo de arvenses a la mitad en comparación con la aplicación exclusiva de extracto vegetal para el control de arvenses. Los consorcios bacterianos pueden aumentar la fertilidad del suelo y estimular el crecimiento y desarrollo de los cultivos. La aplicación combinada de extracto acuoso alelopático con un consorcio de bacterias demostró una mayor eficacia en el control de arvenses y un aumento en el rendimiento de los cultivos, especialmente en trigo, maíz y algodón. Por lo

tanto, ofrece una idea novedosa para descubrir herbicidas y plaguicidas a base de productos naturales (Raza et al., 2025).

***Fitotoxicidad de arvenses comunes sobre la germinación, el crecimiento de plántulas, la absorción de NPK y el contenido de clorofila***

La investigación se llevó a cabo para evaluar los efectos alelopáticos de tres especies de arvenses: *Poa annua*, *Erigeron annuus* y *Stellaria media*, sobre la germinación de semillas, el crecimiento de plántulas, la absorción de nutrientes y el contenido de clorofila de cuatro cultivos agrícolas: *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, *Brassica juncea* y *Eleusine coracana*. Se observaron menores efectos inhibitorios a concentraciones más bajas, tanto en laboratorio como en condiciones de campo. Los resultados también revelaron que las influencias alelopáticas son específicas de cada especie y que las arvenses seleccionadas poseen potencial alelopático en extracto hidrosoluble, cuyo efecto dependía de su concentración en agua. La tolerancia de los cultivos se presentó en el orden de *E. coracana* > *B. juncea* > *H. vulgare* > *T. aestivum*. Entre los extractos de arvenses, la toxicidad de estas se presentó en el orden de *E. annuus* > *S. media* > *P. annua* en todos los cultivos evaluados (Padu et al., 2023).

***La ambrosía (Ambrosia artemisiifolia L.) sobre la germinación de semillas y el crecimiento temprano de plántulas de cebada (Hordeum vulgare L.) y trébol blanco (Trifolium repens L.)***

Este estudio tuvo como objetivo determinar el impacto alelopático del extracto acuoso de hojas de ambrosía (extracto concentrado, 1:2, 1:4 y 1:8) sobre la germinación de semillas y el crecimiento temprano de plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.) (Maksimović et al., 2023, p. 105).

El extracto acuoso de ambrosía examinado tuvo un mayor efecto inhibitor sobre la germinación de las semillas de trébol blanco en comparación con la cebada. La germinación de

las semillas de cebada fue la más baja con el extracto de hoja concentrado (hasta un 70%), mientras que no se observó el mismo proceso en las semillas de cebada a esta concentración. En los demás tratamientos, la germinación fue significativamente menor en ambas especies examinadas en comparación con el control. El crecimiento de brotes y raíces de ambas especies investigadas se inhibió en todos los tratamientos en comparación con el control. Los resultados obtenidos indican que el extracto acuoso de ambrosía inhibe significativamente el crecimiento de raíces y brotes de ambas especies ensayadas, lo que aumenta la necesidad de una investigación más exhaustiva sobre este tema (Maksimović et al., 2023, p. 105).

***Baccharis ulicina* sobre la germinación y crecimiento inicial de *Avena sativa*, *Lolium perenne* y *Raphanus sativus***

*Baccharis ulicina* es una arvense ampliamente distribuida en los pastizales de la zona semiárida argentina. A fin de evaluar sus posibles efectos alelopáticos, se utilizaron extractos acuosos de *B. ulicina* (hoja, tallo, raíz y planta entera) a dos concentraciones (50 y 150 g tejido/L agua) sobre la germinación y crecimiento inicial de *Avena sativa*, *Lolium perenne* y *Raphanus sativus*.

Se registraron la germinación de las semillas y la longitud de coleóptilo /hipocótilo (C/H) y radícula (R). Los extractos con alta concentración redujeron la germinación en promedio 65% mientras que inhibieron la longitud en 58,8% (C/H) y 93,3% (R) para *A. sativa*; 71,5% (C/H) y 87,9% (R) para *L. perenne*, y 93,8% (C/H) y 94,5% (R) para *R. sativus*. Se registró un evidente efecto fitotóxico de *B. ulicina* sobre las especies evaluadas, indicando que la alelopatía sería una estrategia ecológica de la especie. (Tucat et al., 2013, p. 63 - 64).

### ***Características de las plantas y del suelo afectadas por vías alelopáticas de arvenses Avena fatua y Lolium temulentum***

Se comparó el potencial alelopático de *Avena fatua* L. y *Lolium temulentum* L. mediante lixiviados, exudados radiculares, residuos en descomposición en el suelo y descomposición en vías acuáticas. Se tomaron mediciones químicas en trigo (*Triticum aestivum* L.) y en soluciones de suelo descompuesto. Basado en el  $EC_{50}$ , el efecto alelopático de los lixiviados fue mayor en las partes aéreas que en las subterráneas, influenciado por las partes de la planta y las concentraciones. Los exudados radiculares mostraron valores  $EC_{50}$  de  $655,9 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$  para *A. fatua* y de  $625,66 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$  para *L. temulentum* en el peso fresco de plántulas de *T. aestivum*. Los mayores contenidos de ácidos fenólicos determinados por LC-ES/MS en soluciones descompuestas fueron ácido cítrico, con concentraciones de 7,71 y 13,31  $\mu\text{g}/\text{ml}$  en *A. fatua* bajo condiciones aeróbicas, y ácido cumárico, con concentraciones de 9,21 y 16,99  $\mu\text{g}/\text{ml}$  en *L. temulentum* bajo condiciones aeróbicas. Los potenciales alelopáticos de *A. fatua* y *L. temulentum* pueden desempeñar un papel crucial en el crecimiento de *T. aestivum* y en los parámetros del suelo. En general, los residuos vegetales en descomposición pueden suprimir el crecimiento del cultivo y afectar negativamente los parámetros del suelo según su cantidad y tipo (Al-Qthanin et al., 2024, p. 1).

### ***Sorghum bicolor y Solidago canadensis***

Se analizaron los exudados radiculares de la especie invasora *Solidago canadensis* y del cereal *Sorghum bicolor* (L.) Moench cv. 'Hybridsorgo' para determinar interacciones alelopáticas con especies vegetales nativas e invasoras en un ambiente controlado. Tras esterilizar la superficie, se germinaron las semillas de dos especies invasoras (*Bromus sterilis* y

*Veronica persica*) y dos especies nativas (*Youngia japonica* y *Rumex acetosa*) y se trasplantaron al suelo (Afzal et al., 2023, p. 1).

Los resultados revelaron efectos inhibitorios significativos de los exudados radiculares liberados por *Sorghum bicolor* y *Solidago canadensis* sobre la productividad y fisiología de las especies nativas. Las especies invasoras exhibieron respuestas de crecimiento variables, con *Veronica persica* mostrando una expansión reducida de brotes y raíces, pero *Bromus sterilis* reveló una mayor asignación de biomasa de brotes y raíces y nutrición bajo los tratamientos de exudado. Los exudados de *Solidago canadensis* y *Sorghum bicolor* juntos mostraron efectos negativos sinérgicos sobre las especies nativas, mientras que promovieron el crecimiento y la nutrición en *Veronica persica*.

Tomados en conjunto, las respuestas diferenciales de las especies indican que las especies nativas probadas fueron más sensibles a los compuestos alelopáticos que las especies invasoras, lo cual concuerda con la teoría de las armas novedosas. Los efectos heredados de los exudados radiculares tanto de *Sorghum bicolor* como de *Solidago canadensis* podrían promover el establecimiento invasor al imponer una competencia de interferencia aleloquímica contra las especies de plantas nativas. Comprender los mecanismos alelopáticos específicos puede ayudar con el desarrollo de estrategias integradas para el manejo de especies invasoras (Afzal et al., 2023, p. 1).

### ***Manejo integrado de plagas de base biológica en el arroz: Un enfoque respetuoso con los agroecosistemas para la sostenibilidad agrícola***

Si bien el control de insectos, plagas y arvenses sigue siendo la principal herramienta eficaz de protección de cultivos, los riesgos para la seguridad ambiental impulsan a la comunidad científica a proponer estrategias alternativas de manejo de plagas. Las preocupaciones sobre la

sostenibilidad de la agricultura convencional han impulsado la amplia introducción del manejo integrado de plagas (MIP). El MIP de base biológica es un componente importante para el control de plagas de insectos y arvenses en el arroz, ya que es ambientalmente benigno, eficaz y económicamente viable (Fahad et al., 2021).

### ***Exploración y aprovechamiento del fitobioma del arroz para afrontar los desafíos del cambio climático***

El fitobioma comprende las plantas y su entorno inmediato, e incluye numerosos organismos microscópicos y macroscópicos interdependientes que influyen en la salud y la productividad de las plantas. Considerando el impacto de la producción de arroz en la seguridad alimentaria mundial, obtener nuevas perspectivas sobre los componentes interdependientes e interrelacionados del fitobioma del arroz podría mejorar la producción y la salud del cultivo, mantener la función del ecosistema arrocero y combatir los efectos del cambio climático (Hosseiniyan Khatibi et al., 2024).

### ***Arvenses Asociadas al Cultivo de Arroz (*Oryza sativa* L.)***

En un estudio a nivel de laboratorio, donde se recolectaron e identificaron especies de arvense de la familia Asteraceae asociadas al cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en el Tolima-Colombia, se caracterizaron morfológica, bromatológica y farmacognósticamente (Murillo et al., 2006). El análisis permitió detectar sesquiterpenlactonas principalmente en las especies *Lagascea mollis* y *Cyanthillium cinereum* evidenciando la mayor cantidad de sesquiterpenlactonas, con excepción de las especies *Emilia fosbergii* y *Chaptalia nutans* (Murillo et al., 2006).

El efecto de los aleloquímicos de *Lagascea mollis* Cav. sobre *Oryza sativa* L., variedad Fedearroz 50, manifiesta un deterioro de los procesos fisiológicos de esta planta que seguramente

reducen su vigor y crecimiento, revelado en malformaciones de la radícula que probablemente disminuyen su vigor y crecimiento. En general *L. mollis* sería una ayuda en sistemas de agricultura ecológica; los resultados sugieren que las sesquiterpenlactonas tienen efecto alelopático sobre *O. sativa* L. (Murillo et al., 2006).

### **Leguminosas**

***Extractos de girasol (helianthus annus L.), maíz (zea mays L.), frijol (phaseolus vulgaris L.) y boniato (ipomoea batata L.) sobre el crecimiento y desarrollo del frijol común (phaseolus vulgaris L.)***

En un estudio a nivel de laboratorio sobre el potencial alelopático de diferentes concentraciones de extractos de girasol (*helianthus annus* L.), maíz (*zea mays* L.), frijol (*phaseolus vulgaris* L.) y boniato (*ipomoea batata* L.) sobre el crecimiento y desarrollo inicial del frijol común (*phaseolus vulgaris* L.), en disoluciones de 5, 10, 15 y 20 % de la concentración del extracto; siendo participe también un testigo en cada uno de los experimentos, se encontraron hallazgos importantes para el estudio de la alelopatía, logrando analizar que los extractos vegetales de boniato (*Ipomoea batata* L.), maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y girasol (*Helianthus annus*), de acuerdo a los resultados en la germinación y sobrevivencia en los diferentes tratamientos evaluados con independencia de las concentraciones, mostraron una inhibición sobre el frijol común (*phaseolus vulgaris*, L.). (Blanco et al., 2007, p. 2 y 3)

Las evidencias mostraron que, para la longitud del tallo del frijol, los extractos vegetales utilizados afectaron desfavorablemente, siendo la concentración del 10 % la que alcanzó la mayor afectación en los extractos de maíz, mientras que la concentración del 20 % lo hizo en los extractos de frijol y boniato, y para el girasol osciló entre el 15-20 %. (Blanco et al., 2007, p. 5)

Respecto a la longitud de las raíces del frijol común, no hubo afectación por los extractos vegetales utilizados, excepto los residuos de girasol que a concentraciones de 5,15 y 20 % disminuyeron drásticamente su longitud, evidenciándose también que en la concentración del 10% hubo disminución de la longitud de la raíz, pero relativamente, a muy baja escala. (Blanco et al., 2007, p. 5).

***Potencial alelopático de Ficus auriculata y Ficus semicordata sobre el crecimiento de cuatro cultivos alimentarios tradicionales del Himalaya de Garhwal***

La presente investigación se llevó a cabo para evaluar los efectos fitotóxicos de *Ficus auriculata* Lour. y *Ficus semicordata* Buch.-Ham. ex Sm. sobre el crecimiento y la producción de materia seca de *Eleusine coracana* L., *Echinochloa frumentacea* L., *Amaranthus caudatus* L. y *Vigna umbellata* Thunb. En promedio, las hojas y extractos de corteza de ambas especies analizadas estimularon el crecimiento de plántulas de *A. caudatus* (+20.48% y +16.79%) y *V. umbellata* (+0.10% y +4.64%), mientras que para *E. frumentacea* (-28.31% y -50.60%) y *E. coracana* (-8.19% y -19.65%) se observó una reducción en el crecimiento de plántulas. La reducción máxima de biomasa se registró en *E. frumentacea* (-158.67%) y la mínima en *V. umbellata* (-27.12%) bajo los extractos de hojas y corteza.

Los efectos alelopáticos de ambos extractos disminuyeron al aumentar el tiempo de remojo de los extractos, es decir, 24 h > 48 h > 72 h. La tolerancia de los cultivos probados fue en el orden: *A. caudatus* > *V. umbellata* > *E. frumentacea* > *E. coracana*, mientras que la toxicidad de las especies arbóreas fue en el orden: *F. auriculata* > *F. semicordata* (Ranjan Satapathy et al., 2022).

***Influencia alelopática de Morus alba y Grewia optiva en el crecimiento y rendimiento de los cultivos de leguminosas***

Este estudio evaluó el potencial alelopático de *Morus alba* y *Grewia optiva* sobre cultivos de leguminosas (*Vigna mungo* y *Glycine max*) utilizando extractos de hojarasca bajo condiciones de laboratorio y aplicaciones reales de hojarasca en experimentos en macetas (Sharma et al., 2025, p. 1).

Se encontró que a pesar de los efectos supresivos en las primeras etapas, no se observaron reducciones significativas en la madurez del cultivo ni en los caracteres de rendimiento, como la altura de planta, número de vainas, longitud de vaina, número de semillas por vaina, biomasa y rendimiento. El rendimiento por planta en *Glycine max* fue de 12,59 g en el control y 9,23 g bajo *Morus alba*. Estos hallazgos sugieren que, aunque el efecto alelopático influye en las etapas iniciales de crecimiento, su influencia disminuye con el tiempo, lo que indica que tanto *Morus alba* como *Grewia optiva* pueden integrarse de forma segura en los sistemas agroforestales sin comprometer la productividad final de los cultivos de leguminosas (Sharma et al., 2025, p. 1).

***Efectos alelopáticos de Chromolaena Odorata L. en el rendimiento de la soja (Glycine Max L. Merrill)***

Se realizaron estudios sobre los efectos de la biomasa foliar fresca de *Chromolaena odorata* en la germinación, el crecimiento y el rendimiento de la soja (*Glycine max* L. Merrill) en el sitio experimental del Departamento de Ciencias Vegetales de la Universidad Estatal de Ekiti, Ado Ekiti, durante las temporadas de cultivo de 2010 y 2011. Se mezclaron hojas frescas de *Chromolaena odorata* recolectadas en la comunidad universitaria, se pesaron en porciones de 50 g, 100 g, 150 g y 200 g y se aplicaron a la tierra recolectada en macetas hortícolas.

Si bien el porcentaje y la velocidad de emergencia no se vieron afectados por la biomasa fresca, los factores de crecimiento, así como el rendimiento de la soja, sí se vieron considerablemente afectados. Los parámetros de crecimiento se mejoraron con *Chromolaena odorata* en comparación con el control, donde no se aplicó. El mayor rendimiento de soja se obtuvo en las macetas de 150 g con *Chromolaena odorata*, pero fue similar al de las macetas de 200 g. La mejora en el crecimiento y el rendimiento de la soja gracias a la incorporación de biomasa foliar fresca de *Chromolaena odorata* al suelo, sin afectar negativamente la germinación, indica que la arvense es una buena fuente de fertilizante orgánico para la mejora del suelo en la producción de soja en el área de estudio (Oluwafemi, 2012, p. 103).

***Influencia alelopática de Rauwolfia tetraphylla L. para el aumento del vigor radicular de plántulas de gramo (Cicer arietinum L.)***

Se evaluó la acción alelopática de extractos de raíz de *Rauwolfia tetraphylla* L. sobre la alineación del patrón rizosfera en plántulas de gramo (*Cicer arietinum* L.). Se prepararon diversos extractos acuosos de raíz (200, 150, 100, 50, 25 y 12,5 mg ml<sup>-1</sup>) a partir de raíces jóvenes de *Rauwolfia tetraphylla* L. y se observó su efecto en las plántulas al octavo y decimocuarto día, especialmente en la raíz tras remojar las semillas durante la noche (Mandal y Chakraborti, 2021, p. 478).

Se observó una variación significativa en diversos parámetros radiculares y de las plántulas. El extracto de raíz (100 mg ml<sup>-1</sup>) estimuló la longitud total de la raíz, la superficie, etc., lo que también se vio reflejado en la longitud del brote y el índice de vigor de la plántula. En la mayoría de los casos, las acciones alelopáticas en las semillas mejoraron la calidad mediante la modificación del patrón rizosfera, con un rendimiento de las plántulas superior al del

control. Por lo tanto, puede considerarse para la vigorización de semillas en el marco de un programa de producción de semillas/cultivos de Gram (Mandal y Chakraborti, 2021, p. 478).

***Efecto in vitro e in vivo de extractos de arvenses (raíces) en fitopatógenos fúngicos transmitidos por el suelo y leguminosas infectadas por hongos. Cultivo de gramo de Bengala (Cicer arietinum)***

Esta investigación se realizó entre 2020 y 2021. Se recolectaron partes de las raíces de ambas arvenses, *Dactyloctenium aegyptium* y *Chenopodium album*, en una zona cercana de la Universidad de Agricultura y Tecnología Sardar Vallabh Bhai Patel, Meerut. Para determinar el potencial antifúngico de ambas arvenses, se determinó su actividad antifúngica mediante el método de intoxicación alimentaria contra hongos fitopatógenos. Se utilizaron metano, acetato de etilo, alcohol butílico, benceno y extractos de raíces hidrosolubles de ambas arvenses en diferentes concentraciones (5 %, 10 % y 15 %) contra el crecimiento de hongos fitopatógenos en condiciones de laboratorio, así como en las características relacionadas con la infección fúngica del gramo de Bengala (*Cicer arietinum*) en un experimento de cultivo en maceta en una proporción de 1:10. La determinación de los antioxidantes de ambos extractos de arvenses se realizó mediante los métodos DPPH, FRAP y ABTS (Sahrawat, 2024, p. 2175).

Los hallazgos mostraron que la aplicación de extractos concentrados al 15 % tiene un efecto antifúngico máximo contra *Fusarium oxysporum* y *Sclerotium rolfsi* (70-80 %). En el experimento en maceta, se observó que, a mayores concentraciones de extracto metanólico (15%), los cultivos de gramo de Bengala (*Cicer arietinum*) infectados muestran una alta eficacia contra fitopatógenos fúngicos y mejoran diversos parámetros como la germinación, la fisiología vegetal y las características morfológicas. Sin embargo, mayores concentraciones de extracto metanólico promovieron estos parámetros y redujeron el crecimiento fúngico tanto in vivo como

in vitro. Los resultados de este estudio informaron efectos supresores altamente significativos con concentraciones más altas (10% y 15%) (Sahrawat, 2024, p. 2175).

***Efecto alelopático del extracto acuoso de raíz de *Verbesina encelioides* sobre la germinación y el crecimiento de *Vigna radiata*, *Cicer arietinum*, *Cucumis melo* y *Zea mays****

La cromatografía de gases-espectrometría de masas identificó 9 clases de aleloquímicos en los extractos de raíz de *V. encelioides*. Los aleloquímicos, ordenados de mayor a menor concentración, incluyen ésteres metílicos de ácidos grasos, ácido linoleico o linoleato de metilo, ésteres de ácidos grasos, alcanos de cadena larga, alcanos, ésteres sintéticos de ácidos grasos, cloruro de acilo, hidroxiaácidos grasos y esteroides, lo que pone de manifiesto el potencial alelopático de *\*V. encelioides\** sobre las especies vecinas (Barala et al., 2025).

***El sorgo en el manejo de arvenses en guisante (*Pisum sativum* var. *arvense*)***

Un experimento de campo en una granja de investigación agronómica, examinó los efectos de los extractos de agua y los residuos de cultivos de sorgo en la población de arvenses, los índices de manejo de arvenses y la productividad del guisante. Los resultados mostraron que el acolchado superficial de sorgo, la adición de extracto acuoso de sorgo y la incorporación de tallos de sorgo alteraron significativamente la dinámica de las arvenses, comparable a la del deshierbe manual (Patra et al., 2025, p. 273).

Se calcularon los atributos de rendimiento, indicando que todos los tratamientos redujeron significativamente la infestación de arvenses y aumentaron los atributos de rendimiento en comparación con un control de arvenses. El deshierbe manual dio el mejor resultado, pero no es económico debido a la gran cantidad de mano de obra que requiere. El control sostenible de arvenses y la mejora significativa del contenido nutricional de las arvejas se pueden lograr mediante el acolchado superficial de sorgo, la incorporación de tallos de sorgo a

una concentración de 4 mg. ha<sup>-1</sup> y extracto acuoso de sorgo (1:10). Estas prácticas pueden contribuir a una agricultura sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Patra et al., 2025, p. 273).

***Eruca sativa en el control de dos arvenses asociadas con plantas de arveja (Pisum sativum)***

Se realizaron dos experimentos en maceta para investigar el efecto alelopático del extracto alcohólico de brotes frescos de *Eruca sativa* (pulverización foliar) y polvo de brotes de *E. sativa* (mezclado con tierra) en plantas de *Pisum sativum* y dos arvenses asociadas, *Phalaris minor* y *Beta vulgaris* (El-Wakeel et al., 2019, p. 170).

Los resultados indicaron que tanto los extractos alcohólicos como el polvo redujeron el crecimiento de ambas arvenses. Además, se observó una relación directa entre la concentración y la reducción de arvenses. Los extractos alcohólicos de *Eruca sativa* aumentaron los parámetros de rendimiento de las plantas de *P. sativum*. El rendimiento máximo se registró mediante la pulverización de extracto alcohólico de *E. sativa* al 20 %. Por otro lado, se observó claramente que las altas dosis de polvo afectaron negativamente los parámetros de rendimiento de *P. sativum*. Sin embargo, la dosis más baja de polvo (15 g · maceta<sup>-1</sup>) estimuló los parámetros de rendimiento de *P. sativum* en comparación con el tratamiento sin arvenses. El análisis químico del polvo de brotes de *E. sativa* confirmó que la abundante cantidad de glucosinolatos (9,6 μmol · g<sup>-1</sup>) y compuestos fenólicos (46,5 mg · g<sup>-1</sup>) podría ser responsable de su efecto alelopático.

En conclusión, la pulverización de extracto alcohólico de brotes frescos de *E. sativa* al 20 % (p/v) y la mezcla de polvo de brotes de *E. sativa* a razón de 15 g · pot<sup>-1</sup> pueden utilizarse como bioherbicidas naturales para el control de arvenses (El-Wakeel et al., 2019, p. 170).

***Descifrando el potencial alelopático de *Medicago ruthenica* (L.) Trautv.: perspectivas desde los efectos alelopáticos y la metabolómica no dirigida***

En el presente estudio, se emplearon bioensayos vegetales combinados con metabolómica no dirigida para explorar la actividad alelopática y los posibles aleloquímicos de extractos de metanol de raíz (PM), extracto de agua rizosférica del suelo (SW) y extracto de metanol de suelo rizosférico (SM) de *Medicago ruthenica*. El análisis metabolómico reveló que un total de 1.242 metabolitos fueron identificados en los tres grupos de extractos. En el grupo PM, los ácidos orgánicos de cadena corta y sus derivados presentaron abundancias relativas más altas. El grupo SW mostró enriquecimiento en alcaloides y flavonoides, mientras que el grupo SM exhibió mayores abundancias relativas de ácidos orgánicos de cadena larga y sus derivados. Los ácidos orgánicos de cadena corta, sus derivados y los flavonoides fueron identificados como posibles aleloquímicos asociados con *M. ruthenica* (Hua et al., 2025).

***Manejo de *Rumex dentatus* L. en cultivos de *Vicia faba* L. mediante *Ononis vaginalis* Vahl. como bioherbicida potencial***

Se realizó un análisis fitoquímico general de *\*O. vaginalis\** que reveló una alta producción de aleloquímicos, metabolitos secundarios que podrían tener una función similar a la de herbicidas naturales. La germinación de semillas de *\*V. faba\** en cultivos puros y mixtos no se vio afectada significativamente por los tratamientos con bajas concentraciones de extracto acuoso de brotes de *\*O. vaginalis\**. En contraste, la germinación observada en *\*R. dentatus\** disminuyó gradualmente a medida que aumentaban las concentraciones de *\*O. vaginalis\** en ambos cultivos. El estudio confirmó el uso de *O. vaginalis* en las técnicas actuales de control de arvenses (Elghobashy et al., 2024).

***Respuesta de la haba al cultivo intercalado y al control biológico y químico de la jopo y la pudrición de la raíz***

Se investigaron los efectos del cultivo intercalado de diversos cultivos con haba sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento, así como la gravedad de la pudrición de la raíz, la marchitez fúngica y la jopo. Este estudio se llevó a cabo en laboratorio, invernadero y campo para investigar el efecto de los sistemas de cultivo intercalado (fenogreco + haba, lupino + haba, ajo + haba y haba sola). Los sistemas de cultivo intercalado se combinaron con la aplicación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y levaduras como agentes de biocontrol, en comparación con la aplicación química de herbicidas (glifosato) y fungicidas (Rizolex-T50), para controlar la pudrición de la raíz y la jopo (*Orobanche* spp.) en plantas de haba in vivo y en campo infestado naturalmente. In vitro, la levadura y el Rizolex-T50 inhibieron significativamente el crecimiento micelial de hongos patógenos de la raíz.

Los resultados sugieren que el uso del cultivo intercalado de habas y ajo junto con la inoculación con HMA puede reducir la pudrición de la raíz, la marchitez fúngica y la jopo, además de mejorar la rentabilidad de los agricultores egipcios y la producción sostenible (El-Mehy et al., 2022).

***La poliploidización de *Trigonella foenum-graecum* L. potencia su actividad fitotóxica contra *Cyperus rotundus* L.***

Las plantas alelopáticas pueden aumentar su fitotoxicidad tras la mixoploidización. Por lo tanto, se evaluó la actividad fitotóxica de plantas diploides y mixoploides de *\*Trigonella foenum-graecum\** L. (fenogreco) cosechadas en fase vegetativa sobre *\*C. rotundus\**. Los resultados mostraron que el grado de fitotoxicidad dependía del tratamiento y del nivel de ploidía. La inhibición del crecimiento de la arvense parece estar correlacionada con el deterioro

de la membrana (demostrado por un aumento del contenido de malondialdehído (MDA) del 67,55 % y del 57,85 % en hojas y raíces, y un aumento de la fuga de electrolitos del 64,88 % y del 46,46 % en los mismos órganos) y la alteración de la respiración mitocondrial debido a una disminución de la actividad de las deshidrogenasas. El contenido de clorofila y azúcares solubles se vio afectado de manera similar; mientras que el contenido de prolina y carotenoides aumentó (Jmii et al., 2023).

## **Hortalizas**

### ***Residuos de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) en el control de arvenses y rendimiento de rábano, cebolla y zanahoria***

El estudio se realizó para evaluar el efecto del residuo seco del tallo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.* var. Azteca) en el crecimiento de arvenses y el rendimiento de rábano (*Raphanus sativus L.* var. Champion), cebolla (*Allium cepa L.* var. Cambray) y zanahoria (*Daucus carota L.* var. Nantes), para determinar el efecto inhibitorio del amaranto (Tejeda et al., 2011, p. 284).

Con base en las condiciones experimentales establecidas en el presente estudio, los resultados permiten concluir que los residuos de amaranto, incorporados o aplicados superficialmente, disminuyen el número de plantas y el peso seco de las especies de arvenses *Simsia amplexicaulis* y Gramineae (*E. indica*, *P. clandestinum*, *C. dactylon*) en rábano, cebolla y zanahoria. El efecto más significativo de los residuos de amaranto sobre las especies de arvenses indicadas se aprecia a los 32 y 54 días después de la aplicación del tratamiento (Tejeda et al., 2011, p. 294).

Los residuos de amaranto en la superficie del suelo fueron los más favorables para el rendimiento de cebolla y zanahoria, pero el rendimiento de rábano no se vio favorecido por el amaranto en ningún tratamiento (Tejeda et al., 2011, p. 294).

Los resultados indican que en los residuos de amaranto existen sustancias que inhiben el crecimiento de algunas especies de arvenses en condiciones de campo; sin embargo, es necesario encontrar condiciones óptimas de manejo de residuos, como herbicida natural para el control de arvenses sin disminuir el rendimiento de cultivos sensibles como el rábano, o cuando el residuo se incorpora (Tejeda et al., 2011, p. 294).

#### ***Composición química y bioactividad ecológica del aceite esencial de Citrus sinensis***

Los resultados del análisis GC-MS indicaron que el limoneno constituía el 88,1 % del aceite. Las pruebas antirradicales demostraron un potencial notable, con valores de CI50 de 25,14 µg/mL (DPPH) y 7,58 µg/mL (ABTS). El aceite esencial demostró actividad antibacteriana contra cepas multirresistentes de *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*, con valores de concentración mínima inhibitoria (CMI) que oscilaron entre 1,08 y 8,75 mg/mL, y exhibió propiedades anticoagulantes efectivas. Las pruebas insecticidas contra *Tribolium castaneum* indicaron una tasa de mortalidad del 80 % a una dosis de 200 µL, con efectos repelentes mínimos. Se descubrió que la actividad alelopática del aceite esencial inhibe significativamente la germinación de semillas y el crecimiento de raíces en rábano y lechuga (Tayeb et al., 2025).

#### ***Actividad fitotóxica e identificación de constituyentes químicos en las partes aéreas de Lonchocarpus cultratus (Vell.) A.M.G. Azevedo & H.C. Lima (Fabaceae)***

*Lonchocarpus cultratus* (Vell.) A.M.G. Azevedo & H.C. Lima (Fabaceae) es una especie arbórea nativa de la cual se han aislado flavonoides, triterpenos y alcaloides. Se evaluó la

actividad alelopática del extracto metanólico, las fracciones y los compuestos de las partes aéreas de *L. cultratus*. El extracto crudo y sus fracciones inhibieron el tiempo medio de germinación (TMG) y el índice de velocidad de germinación (IVG) de *Lactuca sativa*, pero no el porcentaje de germinación (PG). El extracto crudo y la fracción hexánica inhibieron el crecimiento del hipocótilo de plántulas de *L. sativa*, mientras que las demás fracciones inhibieron el crecimiento de la raíz primaria. Las fracciones de hexano, cloroformo y acetato de etilo inhibieron el crecimiento de la raíz primaria de *Euphorbia heterophylla*. Se identificaron treinta y tres metabolitos mediante análisis UHPLC-MS/MS, siendo los derivados de flavonoides los constituyentes más abundantes (Landim et al., 2022).

### ***Impacto de la asociación de cultivos entre brócoli y haba en la fertilidad del suelo y la producción***

Este estudio tuvo como objetivos evaluar si diferentes patrones de cultivo asociado entre brócoli (*Brassica oleracea var italica*) y haba (*Vicia faba*), bajo manejo orgánico, y una reducción en un 30% de fertilización, pueden mejorar la producción y la fertilidad del suelo comparado con sus respectivos monocultivos. Tras tres ciclos de cultivo desarrollados en el campo de Cartagena, los sistemas asociados incrementaron significativamente el N total, P disponible y K intercambiable (0,13%, 39 mg·kg<sup>-1</sup> y 364 mg·kg<sup>-1</sup>) comparado con el monocultivo de brócoli (0,11%, 11 mg·kg<sup>-1</sup> y 277 mg·kg<sup>-1</sup>). La producción total fue significativamente mayor en los cultivos asociados, con un Land Equivalent Ratio (LER) > 1. Por tanto, la introducción de haba asociada al brócoli es una estrategia viable de agricultura más sostenible, con beneficios ambientales y ahorro económico en fertilizantes y agua (Marcos et al., 2023, p. 98).

Esto demuestra la eficacia de introducir una especie de leguminosa, como el haba, en sistemas de cultivo asociados con hortalizas para mejorar la calidad del suelo y disminuir el uso de insumos externos como fertilizantes y agua (Marcos et al., 2023, p. 100).

### ***Asociación de cultivos hortícolas***

Se evaluaron las propiedades físico-químicas del suelo junto con la producción y calidad de los cultivos en un monocultivo de melón (*Cucumis melo* L.), un monocultivo de caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) y diferentes sistemas de cultivo asociado como (i) cultivo mixto (combinación en la misma hilera de melón y caupí), (ii) cultivo intercalado en hileras 1:1 (mediante la alternancia de hileras de melón-caupí) y (iii) cultivo intercalado en hileras 2:1 (mediante la alternancia de 2 hileras de melón y una hilera de caupí), durante un ciclo de cultivo (Sánchez, 2024, p. 10).

Los resultados han mostrado que la asociación de melón con caupí mejoró la estructura del suelo y su contenido en materia orgánica y nutrientes, y no influyó negativamente sobre la productividad y la calidad del melón, en un año en el que la producción fue muy baja debido a limitaciones impuestas por el estado de alarma debido a la pandemia del COVID19. En principio, un agricultor podría obtener el mismo rendimiento y calidad de melón, o incluso incrementado, mediante la asociación de cultivos que mediante un monocultivo. No obstante, la asociación produciría una mejora de las propiedades del suelo y un incremento en la disponibilidad de nutrientes que permitiría reducir la aplicación de fertilizantes. En relación con la valoración económica, a la vista de los resultados, se podría afirmar que la asociación de los dos cultivos resulta en todos los casos más rentable que el monocultivo, siendo el cultivo mixto aquél en el que se obtiene un mayor beneficio. De todos modos, se necesitan más ensayos a

mayor escala y a largo plazo sobre la asociación de estos dos cultivos para poder generalizar los resultados obtenidos (Sánchez, 2024, p. 40).

### ***Tomate saladette (Solanum lycopersicum Mill.)***

Con el objetivo de analizar los efectos de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) del follaje y de las flores de *Ocimum basilicum*, *Tagetes erecta* y *Origanum majorana*, en el crecimiento del tomate Saladette (*Solanum lycopersicum* Mill.), se encontró que, la asociación de especies aromáticas ofrece un efecto positivo en el crecimiento de las plantas de tomate; expresándose más notorios en etapa de floración de las especies aromáticas. La especie *Tagetes erecta* produjo una diferencia significativa respecto al testigo y *Ocimum basilicum* (Tukey 0.05), esto sugiere que el Cempasúchil tiene algún efecto sobre las variables evaluadas mostrando floración temprana en el tomate (5 d). Posiblemente los compuestos volátiles de las especies aromáticas favorecen la altura, el diámetro del tallo, la biomasa y presentan una floración temprana (5 días) obteniendo una cosecha anticipada (Marroquín et al., 2019, p. 61 - 62).

### ***Actividades alelopáticas del extracto de apio (A. graveolens L. var. dulce) y sus fracciones contra las arvenses Corchorus olitorius, Echinochloa crusgalli y Portulaca oleracea***

Se evaluó la fitotoxicidad del extracto acuoso de apio (2,5-20 g l<sup>-1</sup>, p/v) contra tres especies de arvenses, en condiciones de laboratorio e invernadero. El extracto de apio tuvo un fuerte efecto inhibitor sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de semillas de *Corchorus olitorius*, *Echinochloa crusgalli* y *Portulaca oleracea*. A partir de las curvas dosis-respuesta de las semillas analizadas, se calculó que la CL50 se encontraba en el rango de 6,3 a 8,3 g l<sup>-1</sup> para el porcentaje de germinación, de 7,2 a 8,0 g l<sup>-1</sup> para la longitud del brote y de 1,7 a 3,6 g l<sup>-1</sup> para la longitud de la raíz. Se observó una inhibición completa del crecimiento radicular

en *C. oleraceus* y *P. oleracea* a dosis de 7,5 g l<sup>-1</sup>, lo que correspondió a 15 g l<sup>-1</sup> en las semillas de *E. crusgalli*.

El total de fenólicos en el extracto de apio, a dosis de 20 g l<sup>-1</sup>, alcanzó 201 mg l<sup>-1</sup>. Se identificaron diez ácidos fenólicos en el extracto mediante HPLC, entre ellos, el ácido p-cumárico y el ácido p-hidroxibenzoico, que se presentaron en altas cantidades. El extracto acuoso se distribuyó entre tres disolventes: hexano, cloruro de metileno y acetato de etilo. En general, el residuo acuoso después de la distribución del extracto acuoso con los tres disolventes tuvo el mayor efecto fitotóxico sobre el crecimiento de las plántulas de las semillas objetivo. En un ensayo de invernadero, la aspersión foliar de extracto acuoso de apio (30, 60 y 90 g l<sup>-1</sup>) y sus fracciones no produjo ningún efecto significativo en el crecimiento de arvenses de dos semanas de edad como *C. oleraceus*, *E. crusgalli* o *P. oleracea* (El-Mergawi y El-Desoki, 2018, p. 503).

#### ***Respuestas fisiológicas de plantas de Helianthus annuus L. bajo el efecto alelopático de Cucurbita moschata***

La investigación se realizó para determinar el efecto alelopático de *C. moschata* L. añadida al suelo en proporciones del 5, 10 y 15 % p/p. Las plantas se incubaron durante dos semanas sobre la germinación y el crecimiento de las semillas de *Helianthus annuus*, en comparación con el suelo sin residuos. Los resultados mostraron que el mayor porcentaje de inhibición fue del 20,5 % con una proporción del 15 %. Se observó un aumento en la longitud de brotes y raíces, así como en su peso seco, al tratarse con residuos de *C. moschata* en las tres proporciones, y el mayor porcentaje de estimulación se alcanzó (110, 105,6, 140, 27,4) con una proporción del 15 %. Con un aumento en la proporción, se incrementó la tasa de inhibición. Los resultados mostraron el efecto de *C. moschata* incubada sobre el contenido de clorofilas a y b, y la clorofila total en *H. annuus*. El mayor porcentaje de estimulación fue del 8,6 % en clorofila b

con una proporción del 5 %. Esto se refleja en un aumento del área foliar en algunos tratamientos y una reducción en otros (Iman et al., 2023, p. 1).

***Extractos de Macrophylla furcraea Baker (fique), Cyperus rotundus L. (coquito), Sorghum bicolor L. (sorgo), y Ruta graveolens L. (ruda) sobre la germinación de semillas de las arvenses Bidens pilosa L. (papunga) y Amaranthus dubius Mart (bledo) y del cilantro Coriandrum sativum L.***

En experimentos completamente al azar en condiciones de laboratorio y campo, en Palmira, Valle del Cauca, se evaluó el efecto de extractos de *Macrophylla furcraea* Baker (fique), *Cyperus rotundus* L. (coquito), *Sorghum bicolor* L. (sorgo), y *Ruta graveolens* L. (ruda) sobre la germinación de semillas de las arvenses *Bidens pilosa* L. (papunga) y *Amaranthus dubius* Mart (bledo) y del cilantro *Coriandrum sativum* L. Se obtuvieron los extractos por el método Soxhlet, utilizando agua, etanol y cloroformo como solventes. Los extractos obtenidos se evaluaron en tres diluciones (0, 5 y 10 %) en pruebas de germinación de semillas de las arvenses y del cultivo. (Osorio et al., 2009, p. 103).

De acuerdo con Osorio et al. (2009), a partir del experimento se pudo concluir que:

Los extractos de *Macrophylla furcraea* Baker (Fique) y *Cyperus rotundus* L. (Coquito) en diluciones de 5 y 10%, presentaron mayor poder inhibitorio sobre la germinación de las semillas de *Bidens pilosa* L. (p. 106).

El etanol fue el solvente que presentó mayor efectividad en la extracción de los compuestos capaces de inhibir la germinación de las semillas de las especies evaluadas (p. 106).

Todos los tratamientos evaluados afectaron la germinación de las semillas de *Coriandrum sativum* L. (cilantro) (p. 106).

## Otros Cultivos

### ***Restos de diferentes especies de plantas medicinales sobre la albahaca (*Ocimum basilicum* L.)***

En un estudio realizado por (Rodríguez et al.) 2002, sobre los “Efectos alelopáticos de restos de diferentes especies de plantas medicinales sobre la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en condiciones de laboratorio”, se evaluaron los tratamientos: semillas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sin material vegetal (testigo), semillas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sobre material vegetal de caléndula (*Calendula officinalis* L.), semillas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sobre material vegetal de orégano francés (*Plecthranthus amboinicus* L.), semillas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sobre material vegetal de manzanilla (*Matricaria recutita* L.), semillas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sobre material vegetal de sábila (*Aloe vera* L. N. Burn.) y extracto acuoso del gel al 20 % (v/v), y semillas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sobre material vegetal de la propia especie, en el cual se pudo concluir que:

Al analizar la germinación de la albahaca, se destaca el efecto positivo de las especies, *Aloe vera* L. N. Burn., *Matricaria recutita* L., *Plecthranthus amboinicus* L., incluso por encima del testigo. Puede estar relacionado con que dichas especies liberan al medio sustancias estimulantes en la germinación (Rodríguez et al. 2017).

De acuerdo a la longitud (cm) del epicótilo y del hipocótilo de *Ocimum basilicum* L., el crecimiento resultó más significativo para el testigo, seguido del del *Aloe vera* L. N. Burn., siendo menor la elongación en los demás tratamientos; destacando un poder inhibitorio logrado por *Calendula officinalis* L., sin diferencias significativas con *Plecthranthus amboinicus* L., indicando la posibilidad de que se desarrollen efectos alelopáticos negativos entre estas especies y las semillas de *Ocimum basilicum* L., provocados por determinadas sustancias químicas (aleloquímicos) (Rodríguez et al. 2017).

Respecto al comportamiento de la masa seca del epicótilo como del hipocótilo, frente a los diferentes residuos, se encontró que la mayor acumulación de masa seca ocurre con la *Calendula officinalis* L., seguida del *Aloe vera* L. N. Burn. y del *Ocimum basilicum* L. Las 3 variables restantes mostraron un peso (g) inferior; indicando que el efecto no resulta totalmente negativo en la *Calendula officinalis* L. (Rodríguez et al. 2017).

Los restos de *Calendula officinalis* L., durante los primeros días pudieron inhibir o retardar la multiplicación o crecimiento de las células, ya que la germinación se desencadena a partir de que las semillas se saturan de agua y comienza la mitosis en el embrión, pero si con esta agua penetran algunas sustancias alelopáticas, pueden ser causante del retraso. Sin embargo, se logró una estabilización a partir de los 10 días (Rodríguez et al. 2017).

### ***Papa (Solanum tuberosum)***

En una investigación donde se revisaron algunos compuestos y métodos utilizados para inducir o finalizar el proceso de dormancia de los tubérculos de la semilla de papa, se concluyó que, una alternativa para la inhibición de la brotación en el tubérculo de papa serían los aceites esenciales, entre ellos el extracto de nogal, que posee gran variedad de metabolitos secundarios entre los que se destacan están, alcaloides, flavonoides, cumarinas y antraquinonas como la juglona, un metabolito secundario responsable de la coloración en hojas y cáscaras principalmente, capaz de influir en el desarrollo y crecimiento de plantas que se desarrollan junto a ella, sin embargo su actividad en cloroplastos y mitocondrias puede provocar alteraciones en el balance hormonal de la especie vegetal receptora, que en ciertos casos conduce a una inhibición en el crecimiento (Velástegui et al., 2018).

***Superación de los obstáculos del monocultivo en papa mediante el reclutamiento de bacterias promotoras del crecimiento a través de exudados radiculares***

Se investigó el mecanismo por el cual las plantas reclutan microorganismos beneficiosos utilizando exudados radiculares para mitigar los obstáculos en un sistema de monocultivo de papa de 10 años. Al día 20 después de la emergencia de la papa, los microorganismos del suelo en el sistema de MC promovieron un aumento en el número de raíces adventicias (RA) al incrementar el contenido de ácido indol-3-acético (AIA) en el suelo de la rizosfera. El análisis de las comunidades bacterianas de la rizosfera mediante secuenciación del ARNr 16S reveló que el MC altera la estructura de la comunidad, aumentando la abundancia de *Pantoea* sp. MCC16. El riego con exudados radiculares de papa CC aumentó significativamente el número de raíces adventicias (RA) y la abundancia de *Pantoea* sp. MCC16 (Ma et al., 2025).

***Ruta graveolens L. en la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de Panicum turgidum Forssk. y Phalaris minor Retz.***

*Panicum turgidum* y *Phalaris minor* son arvenses invasoras de cultivos en Egipto. El objetivo principal del presente estudio fue determinar el potencial de utilización del extracto acuoso y lixiviado de brotes de *Ruta graveolens* en diferentes concentraciones (2,5 %, 5,0 %, 7,5 % y 10,0 %) para inhibir la germinación y el crecimiento de *P. turgidum* y *P. minor* en un experimento en placa de Petri. Los resultados indicaron que el grado de inhibición de la germinación y el crecimiento de las semillas de ambas especies receptoras dependió en gran medida de la concentración de extracto acuoso y lixiviado de brotes de *R. graveolens*. El efecto alelopático fue estadísticamente significativo con un valor de  $p \leq 0,05$  para la mayoría de los tratamientos. Los resultados también mostraron que la longitud de la plúmula de *P. turgidum* fue más sensible que la de *P. minor* y responde con mayor intensidad al aumento de la concentración

de extracto acuoso y lixiviado de brotes de *R. graveolens*. Por el contrario, la longitud de la radícula de *P. minor* fue más sensible al extracto acuoso y lixiviado de brotes de *R. graveolens*. Por lo tanto, el extracto y el lixiviado de *R. graveolens* podrían ser prometedores en cuanto a su utilidad como herramienta para el manejo de arvenses (Fakhry et al., 2015, p. 17).

***El acolchado entre cultivos afecta la biología del suelo y la diversidad microbiana en híbridos de algodón Bt transgénicos de secano***

El cultivo de acolchado vivo entre los híbridos de algodón Bt transgénicos, sembrados en hileras amplias, es una opción económica para el control de arvenses, en comparación con el uso de acolchado plástico. Sin embargo, se desconoce su efecto sobre la biología del suelo. En general, el acolchado mejoró la actividad biológica del suelo e influyó en la diversidad microbiana en el algodón Bt.

El acolchado de crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), desmodio (*Desmodium triflorum* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) y lámina de plástico registró una actividad biológica del suelo significativamente mayor, como respiración basal, carbono de la biomasa microbiana y enzimas del suelo, que los demás tratamientos de acolchado. Los cultivos aromáticos (comino amargo (*Centratherum anthelminticum* (L.) Kuntze), ajwain (*Trachyspermum ammi* (L.) Sprague ex Turill), cilantro (*Coriandrum sativum* L.), hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.) y fenogreco (*Trigonella foenum-graecum* L.)) tuvieron un efecto adverso significativo sobre la actividad biológica del suelo en comparación con las prácticas de los agricultores (sin acolchado o con cultivos intercalados). En comparación con el suelo desnudo, el mantillo mejora positivamente la actividad biológica del suelo (Blaise et al., 2021).

### ***Parthenium hysterophorus L. una arvense de importancia internacional***

*Parthenium hysterophorus L.*, es una arvense originaria del Golfo de México y que como consecuencia del comercio internacional de granos y forrajes se ha expandido a otras regiones del mundo. Está clasificada como una de las principales arvenses en la actividad agrícola y ganadera. El objetivo de la revisión fue caracterizar a *Parthenium hysterophorus* (Alviter et al., 2024, p. 5900).

Las publicaciones científicas reportan que *Parthenium hysterophorus L.*, se caracteriza por contener en hoja, tallo, raíz, flor y polen sustancias solubles en agua como la partenina, ácido cafeínico, sesquiterpenos, flavonoides, lactonas, entre otros. También otros reportes indican que la arvense está en constante expansión en el mundo alterando los sistemas agrícolas, ganaderos y ecológicos. Los metabolitos de la arvense causan efectos tóxicos en cultivos y pastizales, como: reducción en tasas de germinación, respiración, fotosíntesis y dinámica estomática, también disminuye crecimiento radicular y afecta maduración de frutos. En salud animal y humana los metabolitos son causantes de dermatitis, inflamación articular, diarreas, entre otros. Sin embargo, otra línea de investigación afirma que los metabolitos tienen efectos citotóxicos que disminuyen el crecimiento tumoral. En conclusión, *Parthenium hysterophorus L.* tiene efectos nocivos en la actividad agrícola y ganadera, y en la salud humana (Alviter et al., 2024, p. 5900).

### ***Efectos alelopáticos diferenciales de las plantas de manglar *Kandelia obovata* y *Aegiceras corniculatum* sobre especies de algas nocivas: Aplicaciones potenciales en el control de floraciones de algas***

Este estudio examinó los efectos de las plantas de mangle *Kandelia obovata* y *Aegiceras corniculatum* sobre especies de algas nocivas. Mientras que el extracto de hojas de *A. corniculatum* no tuvo efecto inhibitorio, el extracto de hojas de *K. obovata* inhibió

significativamente el crecimiento de dos especies de algas dañinas: *Alexandrium tamarense* y *Karenia mikimotoi* (Wong et al., 2024).

### ***Metabolitos secundarios como agentes bioestimulantes y bioprotectores***

Los extractos de algas marinas, las sustancias húmicas, los hidrolizados de proteínas, los aminoácidos, los extractos de plantas y los microorganismos beneficiosos han adquirido importancia como bioestimulantes y bioprotectores debido a su valioso efecto en el crecimiento de las plantas y su capacidad para mitigar los efectos perjudiciales de diferentes factores de estrés abióticos y bióticos. Asimismo, se ha demostrado que los bioestimulantes y bioprotectores de origen microbiano tienen un impacto positivo en los sistemas de cultivo a través de diversos mecanismos (por ejemplo, aumentan la absorción y la eficiencia en el uso de nutrientes, impulsan el desarrollo del sistema radicular, suprimen la infección por fitopatógenos y alivian la toxicidad de metales pesados, entre otros), lo que en última instancia conduce a un mejor crecimiento y rendimiento de los cultivos (Ben Mrid et al., 2021).

### ***Los ácidos fenólicos aliviaron los problemas de replantación consecutiva en lirios al regular su alelopatía sobre los microorganismos de la rizosfera bajo reducción de fertilizantes químicos con agentes microbianos junto con la aplicación de fertilizantes orgánicos***

Los resultados indicaron que estos tratamientos de reducción de fertilizantes condujeron a mejoras en los índices fisicoquímicos del suelo y a reducciones en el contenido total de ácidos fenólicos. Además, los tratamientos ralentizaron la pérdida de diversidad microbiana del suelo y optimizaron las estructuras microbianas, principalmente las bacterias funcionales (como las del filo *Proteobacteria*, géneros *Sphingomonas*, *Bacillus*, etc.) y los hongos endofíticos acumulados, mientras que los hongos patógenos y los patógenos de plantas se redujeron (Han et al., 2025).

### ***Modelo de cultivo intercalado de nogal y té***

En comparación con el monocultivo, el modelo de cultivo intercalado nogal-té incrementó significativamente los nutrientes del suelo, especialmente el nitrógeno total, el potasio disponible, el nitrógeno alcalino hidrolizable y la materia orgánica del suelo, además de alterar la composición de los metabolitos secundarios del té. En particular, aumentó el contenido de flavonoides, polifenoles y alcaloides, mientras que el contenido de aminoácidos mostró una tendencia contraria (Wang et al., 2025).

### ***Potencial alelopático de extractos de arvenses comunes para el manejo efectivo de *Parthenium hysterophorus****

La investigación reveló que los extractos aplicados al 60 % y 90 % de concentración inhibieron significativamente todos los parámetros estudiados (germinación, longitud del brote y de la raíz, biomasa y contenido de pigmentos) en comparación con el control. En particular, *E. bonariensis* y *X. strumarium* mostraron la mayor inhibición de la germinación (19 % y 17 %, respectivamente), mientras que *E. bonariensis* e *I. cylindrica* suprimieron de manera efectiva el crecimiento del brote y de la raíz. *C. album* demostró el mayor impacto en la biomasa seca (0.9 g), el contenido de clorofila (0.038 mg/g FW) y el contenido de carotenoides en las hojas (0.014 mg/g FW) (Siyar et al., 2025).

### ***Perfil fitoquímico y actividad alelopática de ocho especies de *Eucalyptus* sobre el desarrollo de la etapa inicial de crecimiento de cuatro especies locales en el sur de Túnez***

Este estudio tuvo como objetivo 1) investigar y comparar las características fitotóxicas de ocho especies de *Eucalyptus* frecuentemente plantadas en el sur de Túnez (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn., *Eucalyptus gomphocephala* DC., *Eucalyptus torquata* Luehm., *Eucalyptus microtheca* F.Muell., *Eucalyptus occidentalis* Endl., *Eucalyptus diversifolia* Bonpl., *Eucalyptus*

*sargentii* Maiden. y *Eucalyptus torwood*) sobre la germinación de semillas y el crecimiento radicular de *Medicago sativa* L., *Corchorus olitorius* L., *Cenchrus ciliaris* L. y *Peganum harmala* L., y 2) clasificar dichas especies según su eficacia alelopática.

Los resultados destacaron que *C. ciliaris* y *P. harmala* fueron las más susceptibles a los extractos de eucalipto, mientras que *M. sativa* y *C. olitorius* fueron más resistentes.

Estadísticamente, las concentraciones más bajas fueron menos efectivas, pero las más altas tuvieron efectos inhibitorios notables en los parámetros de crecimiento de las plántulas. Se asumió que *E. occidentalis*, *E. gomphocephala*, *E. torquata* y *E. camaldulensis* fueron reconocidas como las especies más nocivas, *E. sargentii* y *E. microtheca* produjeron efectos moderados, mientras que *E. torwood* y *E. diversifolia* se consideraron especies benignas.

Fitoquímicos especialmente los derivados de elagitaninos y flavonoles fueron los principales compuestos identificados, representando entre el 21 y el 78 % y entre el 8 y el 59 %, respectivamente, pero se reconoció que los derivados de ácidos hidroxicinámicos, los derivados del ácido gálico, el contenido total de flavonoles y los ácidos no fenólicos fueron las principales causas de los resultados observados (Chemlali et al., 2024).

### ***Facilitación de la interacción raíz-suelo en plantaciones mixtas de Eucalyptus grandis con especies fijadoras de nitrógeno***

En comparación con las plantaciones de eucalipto puro, las raíces de *E. grandis* en plantaciones mixtas redujeron la liberación de aleloquímicos potenciales, como ácidos fenólicos, flavonoides, lactonas insaturadas y glucósidos. El metil jasmonato, un compuesto químico de señalización común, disminuyó significativamente en plantaciones de especies mixtas.

La comunidad bacteriana del suelo de la rizosfera de *E. grandis* mejoró en las plantaciones mixtas y reclutó más bacterias nitrificantes, fijadoras de nitrógeno y

descomponedoras de celulosa, como la familia Nitrosomonadaceae, géneros MND1, Marmoricola y el grupo intestinal Rikenellaceae RC9. Así, en plantaciones mixtas con aliso se produjeron interacciones ecológicas facilitadoras subterráneas, debidas a que *Eucalyptus grandis* alteró su patrón radicular, reduciendo los niveles de aleloquímicos liberados, atrayendo bacterias beneficiosas y mejorando las propiedades bioquímicas del suelo de la rizosfera (Zhang et al., 2022).

***Etnobotánica, farmacología, fitoquímica y fitotoxicidad de Verbesina encelioides (Cav.) Benth. & Hook. f. ex A. Gray (Girasol silvestre)***

Estudios fitoquímicos han identificado varios compuestos bioactivos, incluyendo alcaloides, flavonoides, fenoles y terpenos, en diferentes partes de la planta. Además de sus propiedades medicinales, *V. encelioides*, presenta una notable fitotoxicidad, lo que sugiere su potencial uso para controlar el crecimiento de otras arvenses. Los compuestos alelopáticos responsables de esta actividad podrían servir como alternativas ecológicas a los herbicidas sintéticos. De la literatura disponible se infiere que la arvense tiene aplicaciones potenciales como insecticida, nematocida, herbicida, antifúngico, antibacteriano, antidiabético, anticancerígeno y antiprotozoario (Kataria et al., 2025).

***La arvense invasora Oxalis pes-caprae L.***

Su biomasa es rica en metabolitos secundarios, en particular derivados de ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y polifenoles, lo que le confiere potencial nutricional y farmacológico, sugiriendo su aplicabilidad en las industrias alimentaria y nutracéutica, sus asociaciones simbióticas con bacterias fijadoras de nitrógeno y oxalotróficas aportan valor ecológico, contribuyendo a la fertilidad del suelo y al ciclo biogeoquímico. Características únicas como la autotomía mejoran su supervivencia bajo estrés biótico y abiótico.

A pesar de su carácter invasor y los riesgos asociados para la biodiversidad, *\*O. pes-caprae\** ofrece oportunidades para la remediación, incluyendo la estabilización de suelos en áreas contaminadas y el tratamiento de aguas residuales mediante bioadsorción. Su capacidad para acumular metales pesados y prosperar en sitios afectados por la minería respalda aún más su papel en la fitorremediación (Di Meo et al., 2025).

***Desarrollo de la producción sostenible de fresa en sistemas de cultivo cerrados: Efectos del biocarbón de bagazo sobre los atributos morfológicos y fisiológicos, el rendimiento y los cambios autotóxicos***

El efecto de interacción entre el cultivar y el biocarbón reveló que el cultivar Paros, cultivado en un medio de biocarbón, presentó los valores más altos de contenido total de clorofila ( $50,83 \text{ mg g}^{-1}$  de peso fresco), número de frutos (11,66), peso del fruto (17 g), rendimiento ( $198,59 \text{ g planta}^{-1}$ ) y capacidad antioxidante (49,32%). Por otro lado, el cultivar San Andreas, cultivado en un medio de biocarbón, mostró la mayor firmeza (7,11 N), acidez titulable (AT) ( $0,97 \text{ mg CA } 100 \text{ g}^{-1}$  de peso fresco), sólidos solubles totales (SST) (10,83%), pH (4,11) y vitamina C ( $17,35 \text{ mg AA } 100 \text{ g}^{-1}$  de peso fresco), mientras que, en ausencia de biocarbón, presentó el mayor contenido de zinc ( $0,50 \text{ mg kg}^{-1}$ ). El cultivar Camarosa, cultivado en sustrato de biocarbón, presentó el mayor nivel de hierro ( $9 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Además, la aplicación de biocarbón produjo una reducción en la concentración de ácido benzoico en el agua de escorrentía en comparación con el método sin biocarbón. En general, la selección de un cultivar apropiado y la aplicación de biocarbón en sistemas hidropónicos cerrados pueden reducir la autotoxicidad, mejorando así el crecimiento y el rendimiento (Aali et al., 2024).

***La interacción del rizomicrobioma mediada por exudados radiculares mejora la supresión de la marchitez por Fusarium en crisantemos***

Se investigó cómo el cultivo intercalado de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium*) con jengibre (*Zingiber officinale*) suprimió la marchitez por *Fusarium* e influyó en el rizomicrobioma asociado. El perfil metabolómico reveló que los exudados de la raíz de jengibre estimularon la liberación de metabolitos específicos por las raíces del crisantemo, lo que promovió el crecimiento y la formación de biopelículas de *Burkholderia* sp. Los hallazgos desentrañaron el mecanismo por el cual el cultivo intercalado de crisantemo con plantas de jengibre modula el rizomicrobioma y, por lo tanto, resulta en una mayor supresión de enfermedades, ofreciendo información valiosa para optimizar las interacciones planta-microbio y mejorar la salud y la productividad de los cultivos (Zhu et al., 2025).

***La colonización por Piriformospora indica mejora la remediación de suelos contaminados con cadmio y cromo mediante el uso de pasto rey***

El escaso crecimiento vegetal y la baja biodisponibilidad de contaminantes en suelos contaminados limitan la eficiencia de la fitorremediación. Este estudio demuestra que la inoculación con *P. indica* mejora la eficiencia de fitorremediación del pasto rey en suelos contaminados con Cd y Cr mediante la regulación múltiple del crecimiento de la planta, el ambiente de la rizosfera, la exudación radicular y la función microbiana del suelo (Zhang et al., 2024).

***Pinus sylvestris var. mongolica***

Se construyó un sistema de cultivo mixto de dos especies, incluyendo *P. sylvestris* y otras seis especies adaptativas, en el terreno arenoso de Mu Us. Mediante la identificación de posibles aleloquímicos en los exudados radiculares de *P. sylvestris* y una serie de experimentos en

invernadero, se aclararon los efectos de los sistemas radiculares y los exudados de *P. sylvestris* en el desempeño de las especies adaptativas.

Los resultados mostraron que se detectaron un total de 1062 exudados radiculares de *P. sylvestris*, incluyendo abundantes aleloquímicos potenciales como ácidos grasos, ácidos fenólicos, terpenos, flavonoides y cumarinas. *A. fruticosa* se vio beneficiada por el sistema radicular de *P. sylvestris* y sus exudados, y promovió el crecimiento de *P. sylvestris*; por lo tanto, es adecuada para el cultivo mixto con el fin de aumentar la productividad de los monocultivos de *P. sylvestris* (Bi et al., 2022).

#### ***El 2,3-butanodiol, presente en los lixiviados de acículas de pino, induce la resistencia de Panax notoginseng al patógeno foliar Alternaria panax***

Se evaluó la capacidad de los lixiviados de acículas de *Pinus armandii* para inducir resistencia en hojas de *Panax notoginseng*, identificando los componentes mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) y, posteriormente, se descifró el mecanismo del 2,3-butanodiol como el principal componente de los lixiviados responsable de la inducción de resistencia mediante secuenciación de ARN (RNA-seq). En general, el 2,3-butanodiol procedente de los lixiviados de agujas de pino podría activar la resistencia de *P. notoginseng* a la infección por enfermedades foliares a través de la ISR, la SAR y la biosíntesis de camalexina (Li et al., 2023).

#### ***Fracciones enriquecidas en lactonas sesquiterpénicas obtenidas del extracto de Cynara cardunculus mediante ultrafiltración***

Las lactonas sesquiterpénicas (LS) son compuestos alelopáticos con un gran potencial para su uso en el manejo sostenible de arvenses. En este estudio, se utilizó tecnología de procesamiento por membrana para la ultrafiltración y nanofiltración del extracto etanólico de

hojas de *Cynara cardunculus* (CcLE) con el fin de producir fracciones enriquecidas en LS con mayor actividad fitotóxica. Las evaluaciones de la actividad fitotóxica revelaron una asociación directa entre el contenido de SL y el aumento de la actividad, particularmente en la inhibición del crecimiento de brotes de *Portulaca oleracea*. Este estudio reveló la eficacia de SuezGH2000 en la mejora de la pureza de SL en las fracciones CcLE después de 2,3 días y su potencial para ser utilizado como componente activo de un bioherbicida (Rosa et al., 2024).

### ***Exploración de la fitoquímica y el potencial biológico de Tagetes minuta (L.)***

Con una rica historia, *Tagetes minuta* (L.) (*T. minuta*), perteneciente a la familia Asteraceae, se ha empleado tradicionalmente para tratar numerosas dolencias. *T. minuta* es un cultivo domesticado recientemente con importancia global. Se cultiva comercialmente en varios países por su aceite esencial de alta calidad, que se encuentra en sus hojas y flores. Los principales constituyentes de su aceite esencial incluyen (Z)- $\beta$ -ocimeno, (Z)- y (E)-tagetona, dihidrotagetona y (Z)- y (E)-tagetenona. Cabe destacar que sus capacidades antimicrobianas e insecticidas la posicionan como una candidata prometedora para pesticidas naturales y agentes antimicrobianos (Verma et al., 2024).

### ***Aleloquímicos como agentes de biocontrol: Aspectos prometedores, desafíos y oportunidades***

El uso excesivo de plaguicidas sintéticos ha provocado contaminación ambiental y, por consiguiente, riesgos para la salud. La agricultura sostenible se centra ahora en garantizar la seguridad alimentaria mundial mediante una serie de enfoques innovadores y respetuosos con el medio ambiente para el control de plagas. Las plantas de cultivo liberan aleloquímicos al ambiente por lixiviación, descomposición foliar y volatilización desde diferentes partes de la planta. Estos fitoquímicos pueden inhibir el crecimiento de arvenses y ser tóxicos para las plagas

de los cultivos. La identificación de las estructuras y los mecanismos de acción de los compuestos bioactivos será útil para la formulación de nuevos biopesticidas (Arora et al., 2024).

### ***Impacto de la incorporación de paja en la ecología del suelo y el rendimiento de los cultivos***

Los efectos alelopáticos de los distintos tipos de paja en el crecimiento de las plántulas deben estudiarse y modelarse sistemáticamente con respecto a factores fisiológicos como la salinidad y la sequía para diseñar un sistema de rotación de cultivos eficaz para suelos con incorporación de paja, especialmente en escenarios a corto plazo. Los métodos inadecuados de incorporación de paja podrían agravar la incidencia de plagas en los campos, especialmente cuando la paja se incorpora directamente sin tratamiento previo.

Los patógenos latentes y sus huevos pueden proliferar rápidamente en condiciones favorables para la descomposición de la paja. Si bien otros estudios han destacado la inhibición de poblaciones patógenas mediante la incorporación de paja, el complejo mecanismo subyacente a esta inhibición no se ha investigado. Por lo tanto, estudios adicionales que identifiquen patógenos antagonistas pueden ayudar a abrir nuevos horizontes para las prácticas agrícolas que utilizan la incorporación de paja mediante el desarrollo de agentes de control biológico para el tratamiento previo de la paja (Ninkuu et al., 2025).

### ***El biocarbón modula las comunidades microbianas y sus características metabólicas en monocultivo continuo***

La adición de biocarbón se ha utilizado ampliamente para mejorar el rendimiento de las plantas y suprimir enfermedades en sistemas de monocultivo; sin embargo, pocos estudios se han centrado en los mecanismos subyacentes de control de las enfermedades de replantación. Se evaluó los efectos de la aplicación de biocarbón en el crecimiento de *Radix pseudostellariae*, las comunidades microbianas del suelo de la rizosfera y las propiedades fisiológicas de los

microorganismos en un sistema de monocultivo continuo. El análisis metabolómico indicó que el biocarbón influyó significativamente en los procesos metabólicos de *F. oxysporum*, inhibiendo el crecimiento micelial y reduciendo la virulencia en las plantas (Wu et al., 2020).

### ***Uso de biocarbón para el tratamiento del problema del monocultivo en plantas medicinales chinas***

Con el aumento de las variedades cultivadas de plantas medicinales chinas, la continua expansión del área de cultivo y el monocultivo a largo plazo, los problemas de enfermedades del suelo, la pérdida de rendimiento y la reducción de la calidad se están agravando. Como material rico en carbono, el biocarbón puede mejorar significativamente la calidad del suelo, lo que ofrece una vía prometedora para mitigar el problema del monocultivo en plantas medicinales chinas (Zhao et al., 2024).

### ***Acción selectiva de factores de estrés biótico en la germinación de semillas***

En el ámbito de la biología vegetal y la agricultura, la germinación de semillas constituye un proceso fundamental con amplias implicaciones para la producción de cultivos y la salud ambiental. Diferentes sustancias químicas producidas por plantas (diferentes partes), hongos, bacterias o insectos pueden promover o inhibir la germinación. La liberación de estas sustancias, que modulan las vías de señalización y los procesos celulares, altera significativamente funciones celulares esenciales. Esta alteración conduce a diversos resultados en la germinación, añadiendo complejidad a este panorama regulatorio. Las sustancias químicas perturban la actividad enzimática y la integridad de la membrana, imponiendo desafíos únicos al proceso de germinación (Begum et al., 2024).

### ***Extractos vegetales: importancia en la agricultura sostenible***

Las plantas, debido a su alto contenido en diversos compuestos bioactivos, son la principal materia prima para la producción de valiosos y útiles bioproductos (por ejemplo, alimentos, cosméticos, medicamentos, bioestimulantes, biopesticidas). Diferentes partes de las plantas, como semillas, frutos, flores, tallos, hojas y raíces, pueden utilizarse para su elaboración. Actualmente, existe una clara necesidad de desarrollar métodos nuevos, eficientes y respetuosos con el medio ambiente para la estimulación del crecimiento vegetal y la protección de cultivos.

Los extractos vegetales son productos novedosos, naturales y multicomponentes que podrían utilizarse para estos fines. Poseen propiedades antifúngicas, antimicrobianas, antiparasitarias, antiprotozoarias, antioxidantes, medicinales, aromáticas y antiinflamatorias. Este grupo de productos naturales tiene el potencial de convertirse en una nueva generación de bioproductos aptos para su uso en la agricultura sostenible (Godlewska et al., 2021).

### ***La doble naturaleza de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal***

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) son fundamentales para la agricultura sostenible, ya que mejoran la productividad de los cultivos y reducen la dependencia de insumos químicos. Sin embargo, su doble papel como agentes beneficiosos y potenciales factores de estrés sigue siendo poco conocido (Etesami, 2025).

Esta revisión examina los efectos adversos paradójicos de las BPCV, cuestionando la narrativa predominantemente optimista en torno a su uso. A nivel de la planta, las consecuencias no deseadas incluyen desequilibrios hormonales (p. ej., inhibición radicular inducida por auxinas), producción de metabolitos fitotóxicos (p. ej., cianuro de hidrógeno) y compensaciones entre los mecanismos de crecimiento y defensa. A nivel del suelo, los riesgos abarcan la alteración de la diversidad microbiana, el ciclo de nutrientes y la transferencia horizontal de

genes que puede fomentar la patogenicidad. Estos resultados están determinados por factores ambientales (pH y humedad del suelo), interacciones específicas del hospedante y prácticas de aplicación.

Las estrategias de mitigación hacen hincapié en la selección rigurosa de cepas, la dosificación optimizada y la gestión integrada del suelo para equilibrar la eficacia con la seguridad ecológica (Etesami, 2025).

### ***El futuro de la investigación sobre compuestos orgánicos volátiles de plantas (COVP)***

Los compuestos orgánicos volátiles emitidos por las plantas (COVP) las protegen de factores de estrés abióticos y bióticos. Las plantas están bajo constantes amenazas de estrés biótico, especialmente por herbívoros, lo que facilita la emisión de compuestos volátiles inducidos por herbívoros (CVH), una defensa inducible que se manifiesta mediante la comunicación con los enemigos naturales de los herbívoros y las plantas vecinas. Se ha demostrado que los CVH actúan como disuasivos de la alimentación y/o la oviposición de los herbívoros, y pertenecen a cuatro grupos principales: terpenos/terpenoides, bencenoides y fenilpropanoides, derivados volátiles de ácidos grasos y derivados volátiles de aminoácidos. Sin embargo, se ha informado que los perfiles de compuestos volátiles de las plantas inducidos por herbívoros se ven alterados por la fertilización con silicio (Si), la preparación de las plantas con elicitores químicos y el cambio climático, lo que puede inducir a las plantas a producir y emitir nuevos compuestos volátiles que no se expresan en respuesta al daño causado por la herbivoría (Murali-Baskaran et al., 2022).

### ***Obstáculos del cultivo continuo en plantas medicinales***

La rizosfera es un centro de intercambio de información y materia entre plantas, microorganismos y suelo, crucial para el crecimiento vegetal. En los sistemas de CC, las plantas

medicinales liberan metabolitos secundarios como respuesta de defensa al estrés, los cuales se acumulan en el suelo y causan autotoxicidad. Los niveles elevados de autotoxinas ejercen un efecto inhibitor del crecimiento más sustancial, que varía entre las especies vegetales. Estas autotoxinas alteran el equilibrio de las comunidades microbianas de la rizosfera, aumentando la prevalencia de microbios patógenos y reduciendo las poblaciones de microorganismos beneficiosos (Haq et al., 2025).

### ***El impacto de la nanopolución en el metabolismo vegetal y la dinámica de los ecosistemas***

La nanopolución (NP), una consecuencia creciente del uso generalizado de nanopartículas (NPs) en diversos sectores industriales y de consumo, se ha convertido en un problema ambiental crítico. Si bien numerosas investigaciones han analizado las repercusiones de la contaminación por NPs en los ecosistemas y la salud humana, se ha prestado poca atención a sus implicaciones para la vida vegetal. La influencia identificada de los NPO en el metabolismo primario, que incluye procesos como la fotosíntesis, la respiración y la asimilación de nutrientes, subraya la necesidad de realizar investigaciones exhaustivas sobre los mecanismos moleculares y fisiológicos que rigen estas interacciones. Simultáneamente, el impacto de los NPO en el metabolismo secundario, que implica la síntesis de compuestos como alcaloides, fenólicos, terpenoides y flavonoides, abre nuevas vías para futuras investigaciones que permitan profundizar en las rutas específicas y las redes reguladoras implicadas (Vignesh et al., 2024).

**Tabla 3***Usos alelopáticos encontrados*

Cultivo (nombre común y científico)	Compuesto(s) alelopático(s) identificado(s)	Efecto	Resultados	Condiciones del estudio	Referencia
Calabaza ( <i>Cucurbita moschata</i> )	Residuos vegetales del 5, 10 y 15 % p/p (peso a peso)	Alelopático / Estimulante	Aumento de longitud de brotes y raíces y peso seco de girasol ( <i>Helianthus annuus</i> ) según la proporción de residuo; estimulación de clorofila y área foliar	Laboratorio	Iman et al., 2023
Tomate saladette ( <i>Solanum lycopersicum</i> Mill.)	Compuestos orgánicos volátiles de albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ), Clavelón ( <i>Tagetes erecta</i> ) y mejorana ( <i>Origanum majorana</i> )	Bioestimulante	Mayor altura, diámetro de tallo, biomasa y floración temprana; cosecha anticipada	Campo	Marroquín et al., 2019
Apio ( <i>Apium graveolens</i> L. var. dulce)	Extracto acuoso y fracciones (ácidos fenólicos: p-cumárico, p-hidroxibenzoico)	Bioherbicida / Fitotóxico	Inhibición significativa de germinación y crecimiento de Yute ( <i>Corchorus olitorius</i> ), arrocillo ( <i>Echinochloa crusgalli</i> ) y verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> ).	Laboratorio / Invernadero	El-Mergawi & El-Desoki, 2018

Albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> L.)	Restos de sábila ( <i>Aloe vera</i> ), manzanilla ( <i>Matricaria recutita</i> ), caléndula ( <i>Calendula officinalis</i> ), orégano francés ( <i>Plecthranthus amboinicus</i> )	Alelopático / Estimulante	Germinación y crecimiento positivos con las especies; retardos iniciales con <i>C. officinalis</i> ; masa seca variable	Laboratorio	Rodríguez et al., 2017
Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	Aceite esencial de nogal (alcaloides, flavonoides, cumarinas, antraquinonas: juglona)	Alelopático / Bioherbicida	Inhibición de brotación y crecimiento, alteraciones en balance hormonal	Revisión / Laboratorio	Velástegui et al., 2018
Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	Exudados radiculares	Biofertilizante	Reclutamiento de <i>Pantoea</i> sp. MCC16, aumento de raíces adventicias e incremento del contenido de ácido indol-3-acético (AIA) en rizosfera; mitigación de efectos de monocultivo	Campo	Ma et al., 2025
Pasto del desierto ( <i>Panicum turgidum</i> Forssk.) y Alpiste silvestre ( <i>Phalaris minor</i> Retz.)	Extracto acuoso y lixiviado de brotes de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> L.)	Bioherbicida / Alelopático	Inhibición de germinación y crecimiento; longitud de plúmula de <i>P. turgidum</i> más sensible, longitud de	Laboratorio	Fakhry et al., 2015

			radícula de <i>P. minor</i> más sensible		
Melón ( <i>Cucumis melo</i> L.) y Caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.)	Asociación de cultivos	Biofertilizante / Alelopático	Mejora estructura y nutrientes del suelo, incremento en materia orgánica y fertilidad, misma o mayor productividad	Campo	Sánchez, 2024
Brócoli ( <i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i> ) Haba ( <i>Vicia faba</i> )	Asociación de cultivos	Biofertilizante / Alelopático	Incremento de N, P y K del suelo; producción total mayor	Campo	Marcos et al., 2023
Fique ( <i>Macrophylla furcraea</i> Baker), Coquito ( <i>Cyperus rotundus</i> L.), Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.), Ruda ( <i>Ruta graveolens</i> L.)	Extractos por Soxhlet (agua, etanol, cloroformo)	Bioherbicida / Alelopático	Inhibición de germinación de arvenses Papunga ( <i>Bidens pilosa</i> L.) y del cilantro ( <i>Coriandrum sativum</i> L.)	Laboratorio / Campo	Osorio et al, 2009
Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	Benzoxazinonas	Bioherbicida / Alelopático	Inhibe el crecimiento de arvenses asociadas: Bromo japonés ( <i>Bromus japonicus</i> ), Cenizo ( <i>Chenopodium album</i> ), Verdolaga ( <i>Portulaca oleraceae</i> ), Avena silvestre ( <i>Avena fatua</i> )	Laboratorio / Campo	(Hussain et al., 2022).

			y Ballico ( <i>Lolium rigidum</i> ).		
Garbanzo ( <i>Cicer arietinum</i> L.)	Extractos acuosos de raíz de <i>Rauwolfia tetraphylla</i> L.	Estimulante / Alelopático	Mejora la longitud de la raíz, la superficie radicular, la longitud del brote, el índice de vigor de la plántula, mejora del patrón de la rizosfera.	Campo	Mandal y Chakraborti, 2021
Arveja ( <i>Pisum sativum</i> var. <i>arvense</i> )	Extracto acuoso, residuos y tallos de sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> )	Biofertilizante / Alelopático	El acolchado superficial y extracto acuoso de sorgo mostraron un control sostenible de arvenses y mejoraron la productividad	Campo	Patra et al., 2025
Soya o Soja ( <i>Glycine max</i> (L.) Merr.)	Asociación de cultivo con <i>Avena strigosa</i> y <i>Raphanus sativus</i> L.	Estimulante de la germinación y el crecimiento	Aumentaron el porcentaje de germinación de semillas (%G) y la longitud de las plántulas de soja.	Campo	Da Costa Zonetti et al., 2022
Soya o Soja ( <i>Glycine max</i> (L.) Merr.) y Maíz ( <i>Zea mays</i> L.)	Asociación de cultivos (intercalado) Ácidos fenólicos	Disminución del contenido de ácidos fenólicos en la rizosfera de la soja.	A medida que la soja madura aumenta el potencial alelopático de sus raíces, especialmente en la	Campo / Laboratorio	Mughal et al., 2024

		Reducción de la autotoxicidad de la soya.	etapa de llenado de grano.		
Avena ( <i>Avena fatua</i> L.)	Residuos y exudados: ácido cítrico	Bioherbicida / Alelopático	Efecto inhibitorio sobre el crecimiento del trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	Laboratorio / Campo	Al-Qthanin et al., 2024
Crisantemo ( <i>Chrysanthemum morifolium</i> )	Asociación de cultivos Exudados de jengibre ( <i>Zingiber officinale</i> )	Biofertilizante / Bioprotectores	Supresión de marchitez por <i>Fusarium</i> , estimula rizomicrobioma, promovió el crecimiento y la formación de <i>Burkholderia</i> sp.	Campo / Invernadero	Zhu et al., 2025
Pasto rey ( <i>Paspalum</i> sp.)	Colonización con <i>Piriformospora indica</i>	Biofertilizante / Bioremediador	Mejora remediación de suelos contaminados con cadmio (Cd) y cromo (Cr), regulación de crecimiento y exudados radiculares	Campo	Zhang et al., 2024
Pino ( <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> )	Exudados radiculares (ácidos grasos, ácidos fenólicos, terpenos, flavonoides, cumarinas)	Alelopático / Biofertilizante	Asociado con <i>A. fruticosa</i> , aumenta la productividad de ambas especies	Invernadero / Campo	Bi et al., 2022

Ginseng chino ( <i>Panax notoginseng</i> )	Lixiviados de agujas de pino ( <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> ) (2,3-butanodiol)	Biofungicida / Inductor de resistencia	Inducción de resistencia foliar a <i>Alternaria panax</i> mediante resistencia sistémica inducida (ISR) y resistencia sistémica adquirida (SAR)	Laboratorio	Li et al., 2023
El cardo ( <i>Cynara cardunculus</i> )	Lactonas sesquiterpénicas (LS)	Bioherbicida / Fitotóxico	Inhibición de crecimiento de <i>Portulaca oleracea</i> , fracciones enriquecidas en LS	Laboratorio	Rosa et al., 2024
Chincho ( <i>Tagetes minuta</i> L.)	Aceite esencial ( $\beta$ -ocimeno, tagetona, dihidrotagetona, tagetenona)	Bioinsecticida / Antimicrobiano	Potencial pesticida natural e insecticida	Campo / Laboratorio	Verma et al., 2024
Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> )	Aceite esencial (limoneno)	Bioinsecticida / Bioherbicida / Antibacteriano	Inhibe germinación de rábano ( <i>Raphanus sativus</i> ) y lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ), mortalidad del 80 % de <i>Tribolium castaneum</i> , antibacteriano contra cepas multirresistentes de <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Laboratorio	Tayeb et al., 2025

Lonchocarpus ( <i>Lonchocarpus cultratus</i> )	Flavonoides, triterpenos, alcaloides	Bioherbicida / Alelopático	Inhibe velocidad de germinación de <i>Lactuca sativa</i> , crecimiento de hipocótilo y raíz primaria de <i>L. sativa</i> y <i>Euphorbia heterophylla</i>	Laboratorio	Landim et al., 2022
---	---	-------------------------------	--	-------------	------------------------

---

*Nota.* La tabla resume estudios relacionados con la actividad alelopática de diferentes cultivos y sus efectos sobre otras especies vegetales

## **Aplicaciones prácticas de la alelopatía en cultivos agrícolas**

La alelopatía es un fenómeno ecológico mediante el cual algunas plantas liberan compuestos bioquímicos denominados aleloquímicos, capaces de afectar positiva o negativamente el crecimiento, germinación y desarrollo de otras plantas cercanas. Estos compuestos incluyen ácidos fenólicos, flavonoides, terpenos y alcaloides que pueden interferir en procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la respiración y la absorción de nutrientes en las plantas receptoras (Rice, 1984; Inderjit & Duke, 2003).

En los sistemas agrícolas sostenibles, la alelopatía se considera una estrategia prometedora para el manejo ecológico de arvenses y plagas, permitiendo disminuir la dependencia de herbicidas sintéticos mediante el uso de residuos vegetales, cultivos asociados o extractos naturales con actividad fitotóxica (Weston & Duke, 2003; Scavo & Mauromicale, 2021).

Se presentan ejemplos prácticos de cómo es posible la aplicabilidad de la alelopatía en cultivos comerciales como lo son el tomate de árbol (*Solanum betaceum*), el maíz (*Zea mays*) y el café (*Coffea arabica*); con el fin de producir sosteniblemente por medio de prácticas agroecológicas.

### **Aplicaciones alelopáticas en el cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum*)**

En cultivos frutales y hortícolas, una herramienta práctica es el uso de plantas acompañantes con propiedades alelopáticas, como especies del género *Tagetes* (caléndula o clavel de muerto). Estas plantas producen metabolitos secundarios como terpenos y compuestos

fenólicos con actividad nematicida y efectos inhibitorios sobre ciertos organismos del suelo (Hooks et al., 2010).

La incorporación de *Tagetes* spp. como cultivo de cobertura o en rotación ha demostrado reducir significativamente poblaciones de nematodos fitoparásitos y contribuir al manejo biológico de plagas en diversos sistemas agrícolas (Hooks et al., 2010; Scavo & Mauromicale, 2021).

### ***Aplicaciones prácticas para agricultores***

Establecer *Tagetes* spp. en bordes o entre hileras del cultivo para reducir poblaciones de nematodos del suelo.

Utilizar residuos de *Tagetes* como cobertura vegetal (mulch) para liberar compuestos alelopáticos.

Implementar rotaciones con plantas aromáticas o medicinales alelopáticas para disminuir patógenos del suelo.

Estas prácticas pueden disminuir el uso de nematicidas químicos y mejorar la salud del agroecosistema.

### **Aplicaciones alelopáticas en el cultivo de maíz (*Zea mays*)**

Uno de los ejemplos más estudiados de alelopatía en sistemas agrícolas es el sorgo (*Sorghum bicolor*), el cual produce un compuesto lipofílico denominado sorgoleona, liberado por los pelos radicales y capaz de inhibir la fotosíntesis y la germinación de varias especies de arvenses (Dayan et al., 2010).

El uso de residuos de sorgo como cobertura vegetal o la aplicación de extractos acuosos del cultivo ha mostrado efectos significativos en la supresión de arvenses en cultivos de maíz, reduciendo su densidad y biomasa en sistemas agrícolas experimentales (Weston & Duke, 2003; Scavo & Mauromicale, 2021).

### ***Aplicaciones prácticas para agricultores***

Incorporar residuos de sorgo al suelo como abono verde o mulch para suprimir arvenses.

Aplicar extractos de sorgo como bioherbicidas naturales.

Implementar rotaciones maíz–sorgo para aprovechar los efectos alelopáticos del cultivo.

Estas estrategias permiten disminuir la dependencia de herbicidas sintéticos y mejorar la sostenibilidad del sistema productivo.

### **Aplicaciones alelopáticas en el cultivo de café (*Coffea arabica*)**

El café contiene diversos compuestos con actividad alelopática, especialmente cafeína y ácidos fenólicos, los cuales pueden inhibir la germinación y el crecimiento de ciertas especies vegetales (Chou & Waller, 1980).

Investigaciones han demostrado que los residuos del café, como la pulpa o cáscara, pueden ejercer efectos fitotóxicos sobre algunas arvenses cuando se incorporan al suelo, lo que sugiere su potencial uso como herramienta agroecológica en el manejo de arvenses (Chou & Waller, 1980; Scavo & Mauromicale, 2021).

### ***Aplicaciones prácticas para agricultores***

Utilizar pulpa de café como cobertura orgánica para inhibir el crecimiento de arvenses.

Incorporar residuos del beneficio del café al suelo para aprovechar sus efectos alelopáticos.

Integrar residuos del cultivo en sistemas de economía circular agrícola.

Estas prácticas contribuyen al manejo sostenible del cultivo y al aprovechamiento de subproductos agrícolas.

## **Recomendaciones para la Implementación de la Alelopatía en la Agricultura Sostenible**

### **Compilación de Guías Prácticas para Agricultores**

Se sugiere enfatizar en la caracterización de cada planta agrícola a implementar en el sistema agrícola sostenible, con el fin de poder generar una interferencia aleloquímica positiva entre plantas de un agroecosistema, y así poder establecer un sistema agrícola que genere los rendimientos esperados.

A continuación, se muestran links de investigación en alelopatía, donde se explica su caracterización y su aplicación en la agricultura, como medio informativo inicial.

#### ***La Alelopatía y la Agricultura***

<https://bibliotecadigital.ufro.cl/v2/files/original/c6b66e0c572a16ffa656cdc9bf45deb01fd63ee2.pdf>

#### ***La Utilización de la Alelopatía y sus Efectos en Diferentes Cultivos Agrícolas***

<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215825001.pdf>

#### ***Importancia de la alelopatía en la agricultura***

<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000317645/3/0317645.pdf>

#### ***Alelopatía: como alternativa ancestral para el control de plagas en huertas familiares***

[https://www.researchgate.net/publication/366631309\\_Alelopatia\\_como\\_alternativa\\_ancestral\\_para\\_el\\_control\\_de\\_plagas\\_en\\_huertas\\_familiares](https://www.researchgate.net/publication/366631309_Alelopatia_como_alternativa_ancestral_para_el_control_de_plagas_en_huertas_familiares)

## **Estrategias para la Difusión del Conocimiento sobre Alelopatía**

### ***Formación técnica***

Inicialmente es importante entender que para que la agricultura sostenible se establezca a nivel global, se debe brindar el conocimiento a las personas desde edad joven, por medio de una materia en los colegios sobre agroecología, donde puedan comprender la importancia de implementar la alelopatía por medio de investigación científica, y de forma práctica.

Para las comunidades en general, es necesario implementar conocimiento acerca de la alelopatía, por medio de asesoría por parte de entidades como las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria - UMATAS, proporcionando cursos, diplomados, técnicos, de forma presencial y virtual, con el fin de llegar a agricultores, estudiantes de carreras afines y profesionales de la materia; interesados en aprender sobre la alelopatía.

### ***Cultivos demostrativos***

Por medio de las instituciones como colegios, alcaldías, fundaciones con fines agrícolas, escuelas rurales, centros de investigación agrícola, implementar cultivos demostrativos, donde se pueda apreciar el funcionamiento de la agricultura limpia de forma directa por medio de la aplicación de la alelopatía, permitiendo observar y evaluar los efectos en el control de plagas, enfermedades y arvenses.

### ***Recursos didácticos***

Exposición de materiales explicativos como cartillas, folletos, infografías, carteleras, mapas mentales, entre otros, en instituciones educativas, centros de investigación, alcaldías, sitios donde se dictan clases acerca del tema, etc.

### ***Uso de medios digitales y redes sociales***

Blogs, redes sociales, en plataformas como instagram, youtube, X, whatsapp, facebook, donde se publiquen vídeos interactivos, avances científicos, fotos, entrevistas con expertos y agricultores que apliquen la alelopatía, difusión de proyectos de campo, etc.

### ***Vincular universidades y centros investigativos***

Hacer convenios interinstitucionales entre universidades, organizaciones no gubernamentales - ONG, asociaciones campesinas, institutos de investigación y demás entidades involucradas en la agroecología, como forma de interactuar e intervenir en los procesos de acuerdo a las experiencias, intercambiando conocimiento, como una forma de extensión rural, promoviendo nuevos proyectos aplicados en campo por agricultores, estudiantes, y demás participantes de la materia.

### ***Incorporación en planes de estudio***

Incluir la temática de alelopatía en materias de nivel educativo primario, secundario, universitario, posgrados, y demás, en materias de agricultura, biología, química, ciencias ambientales, etc.

Promover la aplicación de la alelopatía de forma teórica- práctica como opciones de trabajo de grado y tesis.

### ***Compartir resultados de investigaciones en eventos científicos y agroecológicos***

Organización de foros, seminarios, congresos, simposios o ferias agroecológicas con ponencias, exposiciones y muestras de campo sobre la aplicación de la alelopatía, evidenciando la importancia a nivel ambiental, en la salud humana, y la producción agrícola limpia, para que más comunidades se involucren y motiven por participar en el tema.

## **Propuestas para la Promoción de Prácticas Agrícolas Sostenibles**

### ***Capacitación continúa***

Con el objetivo de fortalecer el conocimiento técnico y empírico de los agricultores, desarrollar talleres de campo enfatizando en la agroecología, compostaje, rotación de cultivos, mulching, por medio de entidades competentes, como organizaciones no gubernamentales - ONG, Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria - UMATAS, servicio nacional de aprendizaje - SENA, y/o de acuerdo a las existentes en el territorio de implementación.

### ***Parcelas demostrativas***

Establecer parcelas o huertas, donde se pueda aplicar continuamente el aprendizaje teórico, con orientación de profesionales en carreras afines a desarrollar y promover mecanismos sostenibles que protejan y fortalezcan el medio ambiente.

### ***Promoción de redes campesinas agroecológicas***

Creación o vinculación a redes, organizaciones o asociaciones de producción agrícola sostenible, donde se genere un intercambio de conocimiento de la aplicación agrícola sostenible, con el fin de fomentar el negocio participativo logrando fortalecer la oportunidad de empleo en las comunidades, generando confianza y escalabilidad de prácticas.

### ***Incentivos económicos y reconocimiento***

Motivar la transición a prácticas agrícolas sostenibles, por medio de reconocimientos a fincas y asociaciones, por las entidades involucradas, acceso preferente a comercializar los productos en mercados campesinos y de mayor reconocimiento, certificación en producción agroecológica, como parte de la estrategia comercial como un valor agregado.

***Herramientas tecnológicas***

Utilizar la tecnología, por medio de aplicaciones móviles, con monitoreo agroclimático, para supervisar los cultivos y que sea más eficiente su manejo, plataformas de agricultura inteligente, adaptadas al contexto rural, utilización de redes sociales para alertar y proporcionar información agronómica sostenible.

***Apoyar proyectos liderados por mujeres y jóvenes***

Haciendo énfasis en esta comunidad, como actores clave en la transformación agrícola, para que se involucren en actividades encaminadas a la sostenibilidad agrícola, desde edades jóvenes, por medio de financiamiento, asesoría y acompañamiento técnico.

### Síntesis de Hallazgos Clave

La revisión bibliográfica evidencia que la alelopatía es un proceso fundamental en la interacción entre plantas, microorganismos y el ambiente, con un papel decisivo en la regulación ecológica de los agroecosistemas. Se demuestra que la producción de metabolitos secundarios — como compuestos fenólicos, terpenos, alcaloides y volátiles— modula la germinación, el crecimiento, la defensa y la competencia entre especies, tanto en cultivos como en arvenses e incluso en plantas invasoras. Los estudios de caso en cereales, leguminosas, hortalizas y otros cultivos confirman que estos compuestos pueden ejercer efectos inhibitorios o estimulantes, ofreciendo oportunidades para desarrollar estrategias sostenibles como bioherbicidas, cultivos de cobertura, asociaciones de cultivos, manejo de rizomicrobiomas, acolchados vivos y control biológico. También se destaca que la incorporación de extractos vegetales, consorcios microbianos y técnicas como el biocarbón puede mejorar la fertilidad del suelo, reducir patógenos y disminuir la dependencia de insumos sintéticos. En sistemas forestales y acuáticos, la alelopatía también influye en la estructura de comunidades y la resiliencia ecológica, ampliando su utilidad más allá de la agricultura. En conjunto, la evidencia confirma que la alelopatía es una herramienta transversal para avanzar hacia sistemas de producción más eficientes, sostenibles y ecológicamente equilibrados.

Por otro lado, se confirma que la alelopatía contribuye a la agricultura sostenible al reducir la dependencia de insumos sintéticos, favorecer el control ecológico de plagas y arvenses, mejorar la productividad y fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas. Sin embargo, su aplicación efectiva requiere capacitación, validación experimental, adaptación local y transferencia de conocimiento hacia agricultores, comunidades y estudiantes desde edades tempranas, promoviendo una cultura agroecológica desde la niñez.

En conjunto, los hallazgos consolidan la alelopatía como una herramienta ecológica versátil, con potencial para mejorar la sanidad vegetal, la productividad y la sostenibilidad ambiental, siempre que su uso sea guiado por investigación rigurosa y procesos educativos continuos.

### **Limitaciones de la Revisión Bibliográfica**

Pese a la amplia variedad de estudios consultados, la revisión presenta varias limitaciones. Muchos trabajos dependen de ensayos en laboratorio o invernadero, lo cual restringe la extrapolación directa a condiciones de campo donde intervienen múltiples factores ecológicos y ambientales. La variabilidad en metodologías, concentraciones de extractos, técnicas de extracción y tipos de bioensayos dificulta comparar resultados entre estudios y establecer dosis efectivas y seguras. Además, aún existe un vacío importante en la identificación, cuantificación y dinámica de muchos aleloquímicos en el suelo, así como en la comprensión de su degradación, persistencia y movilidad. La mayoría de investigaciones se centra en efectos directos planta-planta, pero se requieren más estudios que integren la complejidad del fitobioma y su interacción con factores abióticos como sequía, temperatura, contaminación o cambio climático. Finalmente, algunos cultivos, especies nativas y sistemas agroforestales siguen poco estudiados, por lo que la información disponible aún no permite generalizar conclusiones a todos los sistemas productivos.

### **Futuras Líneas de Investigación**

A partir del análisis realizado, se identifican diversas áreas que requieren mayor profundización:

Es necesario desarrollar estudios en condiciones de campo que permitan validar los resultados obtenidos en laboratorio, considerando variables como clima, tipo de suelo y manejo agronómico.

Se requiere avanzar en la estandarización de métodos de extracción y aplicación de compuestos alelopáticos, con el fin de garantizar su reproducibilidad y efectividad.

Otra línea importante es el estudio de las interacciones entre aleloquímicos y microbiota del suelo, especialmente su papel en la rizosfera y en los procesos de nutrición vegetal.

Asimismo, se recomienda investigar el desarrollo de bioherbicidas comerciales a partir de compuestos naturales, evaluando su viabilidad económica y escalabilidad.

También es fundamental profundizar en el efecto dosis-respuesta de los compuestos alelopáticos, con el fin de optimizar su uso y evitar efectos negativos sobre los cultivos.

Finalmente, se sugiere fortalecer la investigación interdisciplinaria que integre agronomía, química, microbiología y ciencias ambientales, para una mejor comprensión del fenómeno alelopático.

## Conclusiones

El desarrollo histórico del concepto de alelopatía demuestra que, aunque su formalización científica es relativamente reciente, la observación de interacciones químicas entre plantas ha acompañado a la agricultura por más de dos milenios. Desde Teofrasto y Plinio, quienes ya percibían que ciertas especies agotaban el suelo o perjudicaban a otras, hasta los botánicos del siglo XIX como De Candolle, se reafirma que agricultores y naturalistas reconocieron empíricamente los efectos inhibitorios o estimulantes entre plantas mucho antes de entender sus causas. La consolidación del término por Hans Molisch en 1937 proporcionó un marco conceptual necesario para estudiar estos fenómenos con rigor experimental. Posteriormente, el avance científico llevó a ampliar la definición, incorporando la participación de microorganismos, hongos e incluso animales en los procesos alelopáticos. Así, la alelopatía ha pasado de ser una colección de observaciones dispersas a un campo interdisciplinario que explica cómo los metabolitos secundarios actúan en las interacciones ecológicas, agrícolas y biológicas. Este recorrido histórico evidencia la relevancia de la alelopatía como base para comprender la dinámica de los ecosistemas y su potencial aplicación en sistemas agrícolas más sostenibles.

Las plantas viven rodeadas de múltiples amenazas —insectos, herbívoros y patógenos— y, al no poder desplazarse, dependen de barreras físicas y compuestos químicos defensivos. Entre estos compuestos se destacan los metabolitos secundarios, que cumplen funciones ecológicas esenciales, incluyendo la alelopatía, es decir, la capacidad de una planta de afectar fisiológicamente a otras mediante sustancias químicas.

La alelopatía se reconoce como un mecanismo fundamental en las interacciones planta-planta dentro de los agrosistemas, ya que los compuestos liberados por ciertas especies pueden influir de manera positiva o negativa en la germinación, el crecimiento y el vigor de otras. Los

estudios revisados evidencian que estos aleloquímicos no solo explican fenómenos como la interferencia con arvenses o la autotoxicidad en cultivos, sino que también ofrecen oportunidades para desarrollar estrategias agrícolas más sostenibles. Entre ellas destacan el uso de cultivos de cobertura alelopática, la síntesis de compuestos naturales con potencial herbicida y la incorporación de estos mecanismos en variedades cultivadas.

Los mecanismos de liberación de compuestos alelopáticos muestran que las plantas influyen activamente en la germinación y el crecimiento de otras especies mediante volatilización, lixiviación, exudación y descomposición. Las diferentes técnicas de extracción permiten obtener estos metabolitos con eficiencia según su naturaleza química, facilitando su estudio y aplicación agronómica. El uso de acolchados mejora las condiciones del suelo y reduce la competencia con arvenses, mientras que la rotación de cultivos fortalece la salud del agroecosistema al optimizar nutrientes y disminuir problemas fitosanitarios, aprovechando también las interacciones alelopáticas beneficiosas. Aunque aún se requiere avanzar en la identificación y caracterización de muchas de estas sustancias, la alelopatía representa una alternativa viable para reducir el uso de insumos químicos y mejorar la eficiencia ecológica de los sistemas agrícolas.

El uso de plantas con potencial alelopático representa una estrategia tradicional y efectiva para mejorar el manejo de plagas, enfermedades y la sanidad general de los cultivos. A través de plantas acompañantes, repelentes y cultivos trampa, es posible reducir la dependencia de insumos químicos y favorecer sistemas agrícolas más sostenibles. Las experiencias descritas muestran que muchas especies aromáticas, medicinales y hortícolas liberan compuestos que repelen insectos, estimulan el crecimiento de otras plantas o controlan patógenos del suelo. Esto demuestra que la alelopatía es una herramienta valiosa en la agricultura orgánica y que su

integración adecuada puede mejorar la productividad y el equilibrio ecológico de los agroecosistemas.

En cereales, leguminosas y hortalizas, se evidenció que muchos extractos y residuos vegetales pueden reducir la germinación, el crecimiento y la biomasa de arvenses, mostrando su potencial como herramienta natural de control de arvenses. Algunas especies y compuestos alelopáticos no solo inhiben arvenses, sino que también pueden estimular el crecimiento del cultivo principal, mejorando variables como germinación, vigor y rendimiento.

La interacción entre cultivos, residuos vegetales y microorganismos del suelo puede modificar los efectos alelopáticos, generando relaciones positivas que favorecen la productividad y la salud del agroecosistema. Se observó que los efectos alelopáticos son altamente selectivos y variables, dependiendo del sistema biológico, lo que implica que no todas las especies responden de la misma manera.

La presencia de compuestos como ácidos fenólicos, terpenos, flavonoides y lactonas sesquiterpénicas es clave en la expresión de los efectos alelopáticos sobre cultivos y arvenses. Los resultados del estudio muestran que las prácticas agrícolas basadas en alelopatía pueden reducir significativamente el uso de insumos químicos al favorecer la regulación natural del crecimiento de plantas y el control de arvenses. Se evidenció que ciertas especies poseen compuestos bioactivos con capacidad de mejorar la salud del suelo y aumentar la productividad de cultivos específicos. Asimismo, se identificó que la respuesta de los cultivos es variable según la especie y la concentración de los extractos utilizados. En síntesis, los hallazgos confirman que la alelopatía representa una estrategia prometedora para el manejo integrado de arvenses, mejora del suelo y optimización del rendimiento agrícola, aunque su aplicación requiere manejo cuidadoso por su variabilidad y posible fitotoxicidad.

Para que la alelopatía se convierta en una herramienta real dentro de una agricultura más sostenible, no solo es necesario conocer qué plantas pueden ayudar a controlar otras especies de manera natural, sino también enseñar a los agricultores cómo aplicarla correctamente en sus cultivos. La capacitación, los talleres y las parcelas demostrativas permiten que las comunidades comprendan mejor estas prácticas y puedan adoptarlas. Además, es importante que este conocimiento empiece desde edades tempranas: incluir estos temas en la educación escolar ayudaría a que niños y jóvenes se familiaricen con la sostenibilidad, el manejo responsable del suelo y el uso de alternativas ecológicas como la alelopatía. De esta manera, se forma una generación más consciente y preparada para enfrentar los retos agrícolas del futuro. En conjunto, estas acciones hacen que la alelopatía sea una opción accesible, económica y amigable con el ambiente, capaz de fortalecer la producción agrícola de manera más limpia y responsable.

## Referencias Bibliográficas

Anaya, A. (2003). *Ecología Química*. Google Libros.

[https://www.google.com.co/books/edition/Ecolog%C3%ADa\\_Qu%C3%ADmica/H6j8zaDYSYEC?hl=es-](https://www.google.com.co/books/edition/Ecolog%C3%ADa_Qu%C3%ADmica/H6j8zaDYSYEC?hl=es-)

[419&gbpv=1&dq=libro+sobre+compuestos+alelopaticos&pg=PA268&printsec=frontcover](https://www.google.com.co/books/edition/Ecolog%C3%ADa_Qu%C3%ADmica/H6j8zaDYSYEC?hl=es-419&gbpv=1&dq=libro+sobre+compuestos+alelopaticos&pg=PA268&printsec=frontcover)

Anaya, A., Espinosa, F., Cruz, R. (2001). *Relaciones Químicas entre Organismos: Aspectos Básicos y Perspectivas de su Aplicación*. Google Libros.

[https://www.google.com.co/books/edition/Relaciones\\_qu%C3%ADmicas\\_entre\\_organismos/8Gt7CoKx3W4C?hl=es-](https://www.google.com.co/books/edition/Relaciones_qu%C3%ADmicas_entre_organismos/8Gt7CoKx3W4C?hl=es-)

[419&gbpv=1&dq=M%C3%A9todos+de+Extracci%C3%B3n+de+Compuestos+Alelopaticos&pg=PA197&printsec=frontcover](https://www.google.com.co/books/edition/Relaciones_qu%C3%ADmicas_entre_organismos/8Gt7CoKx3W4C?hl=es-419&gbpv=1&dq=M%C3%A9todos+de+Extracci%C3%B3n+de+Compuestos+Alelopaticos&pg=PA197&printsec=frontcover)

Arzola, N., Pèrez, Y., Pérez, R. (2018). *Métodos biológicos para una agricultura sostenible*. eLibro.

<https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/120834>

Alviter-Aguilar, A., Martínez-Hernández, P. A., Cortés-Díaz, E., Rodríguez-Ortega, A., Zaragoza-Ramírez, J. L. (2024). CARACTERIZACIÓN DE *PARTHENIUM HYSTEROPHORUS* L. UNA ARVENSE DE IMPORTANCIA INTERNACIONAL. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8 (3), 5899 - 5925. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9787374>

Afzal, M.R., Naz, M., Ullah, R., Du, D. (2023). Persistence of Root Exudates of *Sorghum bicolor* and *Solidago canadensis*: Impacts on Invasive and Native Species. *Plants* 2024, 13 (58). <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.3390/plants13010058>

Afzal, M. R., Naz, M., Yu, Y., Yan, L., Wang, P., Mohotti, J., Hao, G., Zhou, J.-J., Chen, Z., Zhang, L., & Wang, Q. (2025). Root exudates: The rhizospheric frontier for advancing sustainable plant

protection. *Resources, Environment and Sustainability*, 21, 100249.

<https://doi.org/10.1016/j.resenv.2025.100249>

Al-Qthanin, R., Radwan, A. M., Donia, A. M., Abou-zied, K. A., & Balah, M. A. (2024). Plant and soil characteristics affected by the allelopathic pathways of *Avena fatua* and *Lolium temulentum* weeds. *Heliyon*, 10(18), e38007. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38007>

Arora, S., Husain, T., & Prasad, S. M. (2024). Allelochemicals as biocontrol agents: Promising aspects, challenges and opportunities. *South African Journal of Botany*, 166, 503–511.

<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.01.029>

Arora, K., Batish, D. R., Kaur, M., & Kohli, R. K. (2016). Allelopathic potential of essential oil of *Tagetes minuta* and its major component  $\beta$ -ocimene. *Annals of Plant Sciences*, 5(9), 1428–1431.

<https://annalsofplantsciences.com/index.php/aps/article/view/266>

Aali, N., Alemzadeh Ansari, N., & Zahedi, S. M. (2024). Development of sustainable strawberry production in closed cultivation systems: Effects of bagasse biochar on morphological and physiological attributes, yield and autotoxic changes. *Journal of Environmental Management*, 371, 123100. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123100>

Abbas, T., Zahir, Z. A., Naveed, M., Abbas, S., & Basra, S. A. (2021). Weed antagonistic bacteria stimulate growth, physiology and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in multiple field experiments: A study of selectivity for sustainable weed control. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101974. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101974>

Ain, Q., Mushtaq, W., Shadab, M., & Siddiqui, M. B. (2023). Allelopathy: An alternative tool for sustainable agriculture. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 29(4), 495–511.

<https://doi.org/10.1007/s12298-023-01305-9>

Blanco, Y. (2006). *LA UTILIZACIÓN DE LA ALELOPATÍA Y SUS EFECTOS EN DIFERENTES*

*CULTIVOS AGRÍCOLAS*. Cultivos Tropicales.

<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215825001.pdf>

Blanco, Y., Hernández, I., Urra, I., Leyva, Á. (2007). *POTENCIAL ALELOPÁTICO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EXTRACTOS DE GIRASOL (Helianthus annus, L.), MAÍZ (Zea mays L.), FRIJOL (Phaseolus vulgaris, L.) Y BONIATO (Ipomoea batata, L.) SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO INICIAL DEL FRIJOL COMÚN (Phaseolus vulgaris, L.)*.

Cultivos Tropicales. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215844001.pdf>

Barala, P., Solanki, P., Maurya, V., Yadav, I. B., Chhawri, R., Sachdeva, V., & Hooda, V. (2025).

Allelopathic effect of *Verbesina encelioides* aqueous root extract on germination and growth of economically important crops. *Ecological Frontiers*, 45(3), 756–767.

<https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2025.02.003>

Ben Mrid, R., Benmrid, B., Hafsa, J., Boukcim, H., Sobeh, M., & Yasri, A. (2021). Secondary metabolites as biostimulant and bioprotectant agents: A review. *Science of The Total Environment*, 777, 146204.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146204>

Bi, B., Tong, Q., Wan, C., Wang, K., & Han, F. (2022). *Pinus sylvestris* var. *mongolica* mediates interspecific belowground chemical interactions through root exudates. *Forest Ecology and Management*, 511, 120158.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120158>

Blaise, D., Velmourougane, K., Santosh, S., & Manikandan, A. (2021). Intercrop mulch affects soil biology and microbial diversity in rainfed transgenic Bt cotton hybrids. *Science of The Total Environment*, 794, 148787.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148787>

Base de Datos Scopus. (2026). Gráficos generados por Scopus de acuerdo a la ecuación de búsqueda en Scopus “(Allelopathy OR allelopathic interactions) AND plant secondary metabolites AND sustainable agriculture AND agricultural productivity”. Período de búsqueda: 2020 a 2025.

<https://wwwscopus.com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/pages/search/publications?searchId=cbdd64e9-13be-4935-a384-c6dbdeb16ed1>

Cabeza-Cepeda, H. A., Balaguera-López, H. E., y Useche de Vega, D. S. (2021). Alelopatía del extracto de *Campomanesia lineatifolia* sobre *Taraxacum officinale*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(3), e2010. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num3\\_art:2010](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:2010)

Cárdenas, C. (2014). *LAS PLANTAS ALELOPÁTICAS*. Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/9218/3/Las%20Plantas%20Alelopaticas.pdf>

Ceccon, E. (2008). *La revolución verde tragedia en dos actos*. Ciencias. <https://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>

Cheng, F. y Cheng, Z. (2015, 17 de noviembre). Avances en la investigación sobre el uso de la alelopatía vegetal en la agricultura y los mecanismos fisiológicos y ecológicos de la alelopatía. *Front. Plant Sci.* <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2015.01020/full>

Curcio, N. (2019). *Manual de Buenas Prácticas de Manejo para la Producción de Hortalizas Orgánicas*. Comisión Interamericana de Agricultura Orgánica - CIAO. [https://www.ciaorganico.net/documypublic/326\\_Manual\\_BP\\_Hortalizas\\_FINAL.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.ciaorganico.net/documypublic/326_Manual_BP_Hortalizas_FINAL.pdf?utm_source=chatgpt.com)

Caravaca, M. (2015). *MF0517\_1: Operaciones auxiliares de preparación del terreno, plantación y siembra de cultivos agrícolas*. Google libros. [https://www.google.com.co/books/edition/MF0517\\_1\\_Operaciones\\_auxiliares\\_de\\_prepa/3bNW-DwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=acolchado+en+agricultura&pg=PA263&printsec=frontcover](https://www.google.com.co/books/edition/MF0517_1_Operaciones_auxiliares_de_prepa/3bNW-DwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=acolchado+en+agricultura&pg=PA263&printsec=frontcover)

- Choudhary, C. S., Behera, B., Raza, M. B., Mrunalini, K., Bhoi, T. K., Lal, M. K., Nongmaithem, D., Pradhan, S., Song, B., & Das, T. K. (2023). Mechanisms of allelopathic interactions for sustainable weed management. *Rhizosphere*, 25, 100667.  
<https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100667>
- Chemlali, I., Dueñas, M., Ferreras-Charro, R., & Saadaoui, E. (2024). Phytochemical profile and allelopathic activity of eight Eucalyptus species on the performance of initial growth stage of four local species in the southern Tunisia. *Ecological Genetics and Genomics*, 33, 100291.  
<https://doi.org/10.1016/j.egg.2024.100291>
- Chou, C. H. (1999). Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(5), 609–636. <https://doi.org/10.1080/07352689991309414>
- Chou, C. H., & Waller, G. R. (1980). Possible allelopathic constituents of *Coffea arabica*. *Journal of Chemical Ecology*, 6(3), 643–654. <https://doi.org/10.1007/BF00987675>
- De Candolle, M. A. P. (1832). *PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE*. Gallica.  
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9795461m/f15.item.r=Candolle%20Physiologie%20v%C3%A9getale>
- Del Puerto, A., Suárez, S. y Palacio, D. (2014, diciembre). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032014000300010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010)
- Durán, F. (2009). *Estudio de suelos manejo y conservación del suelo agrícola: alelopatía, técnicas, resultados*. EBSCOhost. <https://viewer-ebSCOhost-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/EbscoViewerService/ebook?an=2500023&callbackUrl=https%3a%2f%2fresearch.ebsco.com&db=nlebk&format=EB&proflD=eds&lpid=&ppid=&lang=es&l>

ocation=https%3a%2f%2fresearchebscocom.bibliotecavirtual.unad.edu.co%2fc%2fqcagk4%2fse  
 arch%2fdetails%2f6qfru4647b%3flimiters%3dFT1%253AY%26q%3d%2528alelopat%25C3%2  
 5ADa%2529&isPLink=False&requestContext=&profileIdentifier=qcagk4&recordId=6qfru4647  
 b

- Da Costa Zonetti, P., Dotto, G., França de Carvalho, T. F., de Souza Bido, G., Gomes Corrêa, R. C.,  
 Paiola Albrecht, L., Paiola Albrecht, A. J. (2022). Effect of forage aqueous extracts on Glycine  
 max L. Merr., Zea mays L. and Bidens pilosa L. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*,  
 54(1), 70–76. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.48162/rev.39.066>
- Di Meo, M. C., Napoletano, P., De Marco, A., Bianchi, A. R., De Nisco, M., Cardinale, G., & Palatucci,  
 D. (2025). The diffuse and invasive weed *Oxalis pes-caprae* L.: From botany to chemical,  
 functional and ecological interactions with soil and organisms. *Heliyon*, 11(13), e43603.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e43603>
- Ding, M., Yang, Y., Yi, Z., Zhou, M., & Luo, H. (2025). Across the ages: Buckwheat meets era-specific  
 needs. *Trends in Food Science & Technology*, 105359. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105359>
- Dayan, F. E., Cantrell, C. L., & Duke, S. O. (2010). Natural products in crop protection. *Bioorganic &  
 Medicinal Chemistry*, 17(12), 4022–4034.  
<https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.01.046>
- Dayan, F. E., Rimando, A. M., Pan, Z., Baerson, S. R., Gimsing, A. L., & Duke, S. O. (2010).  
 Sorgoleone. *Phytochemistry*, 71(10), 1032–1039.  
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.03.011>

- Duval, J., Pecher, V., Poujol, M., & Lesellier, E. (2016). Research advances for the extraction, analysis and uses of anthraquinones: A review. *Industrial Crops and Products*, 94, 812–833.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.056>
- El-Wakeel, Mona Adel ; Ahmed, Salah El-Din Abd El-Ghany ; El-Desoki, Ebrahim Roushdi. (2019). Allelopathic efficiency of *Eruca sativa* in controlling two weeds associated with *Pisum sativum* plants. *Journal of Plant Protection Research*, 59 (2), 170 - 176.  
<https://doaj.org/article/764b36175c3b4c36ba915ae076a7662f>
- El-Mergawi, R., El-Desoki, E. R. (2018). Allelopathic activities of celery extract and its fractions against *Corchorus olitorius*, *Echinochloa crusgalli* and *Portulaca oleracea* weeds. *Advances in Horticultural Science*, 32(4), 503–510. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.13128/ahs-22083>
- Etesami, H. (2025). The dual nature of plant growth-promoting bacteria: Benefits, risks, and pathways to sustainable deployment. *Current Research in Microbial Sciences*, 9, 100421.  
<https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2025.100421>
- Elghobashy, R. M., Rashed, S. A., Fakhry, A. M., Mostafa, R. M., Essawy, H. S., & El-Darier, S. M. (2024). Management of *Rumex dentatus* L. in *Vicia faba* L. cultivations via *Ononis vaginalis* Vahl. As a potential bioherbicide. *Heliyon*, 10(4), e26381.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26381>
- El-Mehy, A. A., El-Gendy, H. M., Aioub, A. A. A., Mahmoud, S. F., Abdel-Gawad, S., Elesawy, A. E., & Elnahal, A. S. M. (2022). Response of faba bean to intercropping, biological and chemical

control against broomrape and root rot diseases. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(5), 3482–3493. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.032>

Fakhry, A. M., El-Kenany, E. T., Khattab, K. A. (2015). Allelopathic Potential of *Ruta graveolens* L. on Seed Germination and Seedling Growth of two weed species *Panicum turgidum* Forssk. and *Phalaris minor* Retz. *Catrina*, 13 (1), 17 - 24.

[https://journals.ekb.eg/article\\_18375\\_20721ca1f3d53e9a2309c7739a42163a.pdf](https://journals.ekb.eg/article_18375_20721ca1f3d53e9a2309c7739a42163a.pdf)

Fundación Hogares Juveniles Campesinos. (2004). *Agricultura Alternativa. Principios*. Google Libros.

[https://www.google.com.co/books/edition/Manual\\_agricultura\\_alternativa/BoSUZ6-  
ieVoC?hl=es-419&gbpv=1&dq=alelopatia&pg=PA71&printsec=frontcover](https://www.google.com.co/books/edition/Manual_agricultura_alternativa/BoSUZ6-ieVoC?hl=es-419&gbpv=1&dq=alelopatia&pg=PA71&printsec=frontcover)

Fahad, S., Saud, S., Akhter, A., Bajwa, A. A., Hassan, S., Battaglia, M., Adnan, M., Wahid, F., Datta, R., Babur, E., Danish, S., Zarei, T., & Irshad, I. (2021). Bio-based integrated pest management in rice: An agro-ecosystems friendly approach for agricultural sustainability. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(2), 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.12.004>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *Sustainable agriculture for biodiversity: Biodiversity for sustainable agriculture*. FAO.

<https://www.fao.org/3/i6602e/i6602e.pdf>

Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H. P., & Becker, K. (2002). The biological action of saponins in animal systems. *British Journal of Nutrition*, 88(6), 587–605.

<https://doi.org/10.1079/BJN2002725>

García-Castillo, Ricardo. (2005). EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS PRODUCTOS DE LA DESCOMPOSICIÓN DEL MATERIAL VEGETAL DE MALEZAS EN SUELO SOBRE EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE MAÍZ. *Fitosanidad*, 9 (3), p. 17-22.

<https://www.redalyc.org/pdf/2091/209116189003.pdf>

Godlewska, K., Ronga, D., & Michalak, I. (2021). Plant extracts - importance in sustainable agriculture. *Special Issue on "Innovative Fertilizers for Sustainable Agriculture,"* 16(2), 1851.

<https://doi.org/10.4081/ija.2021.1851>

Golijan Pantović, J., Vučinić, Ž., & Čakmak, D. (2020). Allelochemicals and their importance in plant interactions. *Plants*, 9(3), 364. <https://doi.org/10.3390/plants9030364>

Hidalgo, L., Hidalgo, J. (2011). *Tratado de Viticultura. Tomo II*. Google Libros.

[https://www.google.com.co/books/edition/Tratado\\_de\\_viticultura\\_Volumen\\_I\\_y\\_II/blS6qlBeZ2MC?hl=es-419&gbpv=1&dq=Extracci%C3%B3n+de+Compuestos+Alelop%C3%A1ticos&pg=PA1112&printsec=frontcover](https://www.google.com.co/books/edition/Tratado_de_viticultura_Volumen_I_y_II/blS6qlBeZ2MC?hl=es-419&gbpv=1&dq=Extracci%C3%B3n+de+Compuestos+Alelop%C3%A1ticos&pg=PA1112&printsec=frontcover)

Hussain, M. I. , Araniti, F., Schulz, M., Baerson, S., Vieites-Alvarez, Y., Rempelos, L., Bilsborrow, P., Chinchilla, N., Macías, F., Weston, L., Reigosa, M., Sanchez-Moreiras, A. (2022).

Benzoxazinoides en la alelopatía del trigo: del descubrimiento a la aplicación para el manejo sostenible de malezas. *Botánica ambiental y experimental*.

<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104997>

Han, M., Kasim, S., Yang, Z., Deng, X., Saidi, N. B., Uddin, M. K., & Shuib, E. M. (2024). Plant

Extracts as Biostimulant Agents: A Promising Strategy for Managing Environmental Stress in

Sustainable Agriculture. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 93(9), 2149–2166. <https://doi.org/10.32604/phyton.2024.054009>

Han, J., Li, Y., Li, H., Yang, H., Luo, S., Man, H., & Shi, G. (2025). Phenolic acids alleviated consecutive replant problems in lily by regulating its allelopathy on rhizosphere microorganism under chemical fertiliser reduction with microbial agents in conjunction with organic fertiliser application. *Applied Soil Ecology*, 205, 105780. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105780>

Hua, C., Jin, H., Yang, X., Xu, X., Yan, Z., He, X., Peng, X., & Qin, B. (2025). Unraveling allelopathic potential of *Medicago ruthenica* (L.) Trautv.: insights from allelopathic effects and untargeted metabolomics. *Phytochemistry*, 239, 114587. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2025.114587>

Haq, M. Z. U., Bai, Z., Gu, G., Liu, Y., Yang, D., Yang, H., Yu, J., & Wu, Y. (2025). Continuous cropping obstacles in medicinal plants: Driven by soil microbial communities and root exudates. A review. *Plant Science*, 359, 112686. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112686>

Hosseiniyan Khatibi, S. M., Dimaano, N. G., Veliz, E., Sundaresan, V., & Ali, J. (2024). Exploring and exploiting the rice phytobiome to tackle climate change challenges. *Plant Communications*, 5(12), 101078. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2024.101078>

Hooks, C. R. R., Wang, K. H., Ploeg, A., & McSorley, R. (2010). Using marigold (*Tagetes* spp.) as a cover crop to protect crops from plant-parasitic nematodes. *Applied Soil Ecology*, 46(3), 307–320. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.09.005>

Infante, A., San Martín, K. (2016). *Manual de Producción Agroecológica*. INDAP.

<https://www.indap.gob.cl/sites/default/files/2022-02/n%C2%BA8-manual-de-produccio%CC%81n-agroecologica.pdf>

- Iman-Radha, J, Rawnaq-Ahmed, I, Hala-Muzher, Y. (2023). Physiological responses of *Helianthus annuus* L. plants under allelopathic effect of *Cucurbita moschata*. *Revista Bionatura*, 8 (3), 1 - 4.  
<https://revistabionatura.com/files/2023.08.03.108.pdf>
- Inderjit, & Duke, S. O. (2003). Ecophysiological aspects of allelopathy. *Planta*, 217, 529–539.  
<https://doi.org/10.1007/s00425-003-1054-z>
- Jahan, T., Huda, Md. N., Zhang, K., He, Y., Lai, D., Dhimi, N., Quinet, M., Ali, Md. A., Kreft, I., Woo, S.-H., Georgiev, M. I., Fernie, A. R., & Zhou, M. (2025). Plant secondary metabolites against biotic stresses for sustainable crop protection. *Biotechnology Advances*, 79, 108520.  
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2025.108520>
- Jmii, G., Gharsallaoui, S., Mars, M., & Haouala, R. (2023). Polyploidization of *Trigonella foenum-graecum* L. enhances its phytotoxic activity against *Cyperus rotundus* L. *South African Journal of Botany*, 153, 336–345. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.008>
- Kataria, N., Hasanpuri, P., Kumar, H., Sharma, P., Singh, N., & Yadav, S. S. (2025). Ethnobotany, pharmacology, phytochemistry and phytotoxicity of *Verbesina encelioides* (Cav.) Benth. & Hook. f. ex A. Gray (Wild Sunflower). *South African Journal of Botany*, 185, 712–725.  
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.08.036>
- Karimian, P., Kavooosi, G., Amirghofran, Z., & Jamalian, A. (2014). Anti-oxidative and anti-inflammatory effects of *Tagetes minuta* essential oil. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(3), 219–227.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3868793>
- Luna, L. y Lara, G. (2007). *PROYECTO PILOTO: PLAN FRUTÍCOLA NACIONAL CULTIVO DE LA MORA PARA EL VALLE DEL CAUCA*. Repositorio agrosavia.

[https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2178/42957\\_48664.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2178/42957_48664.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Laishram, B., Devi, O. R., Dutta, R., Senthilkumar, T., Goyal, G., Paliwal, D. K., Panotra, N., & Rasool, A. (2025). Plant-microbe interactions: PGPM as microbial inoculants/biofertilizers for sustaining crop productivity and soil fertility. *Current Research in Microbial Sciences*, 8, 100333.

<https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100333>

Landim, E. M. B. M. da S., Ximenez, G. R., Silva, E., Peixoto, M. A., Pilau, E. J., Pomini, A. M., Romagnolo, M. B., Pastorini, L. H., & Oliveira, S. M. de. (2022). Phytotoxic activity and identification of chemicals constituents in *Lonchocarpus cultratus* (Vell.) A.M.G. Azevedo & H.C. Lima aerial parts (Fabaceae). *South African Journal of Botany*, 144, 305–315.

<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.08.042>

Li, T.-Y., Ye, C., Zhang, Y.-J., Zhang, J.-X., Yang, M., He, X.-H., Mei, X.-Y., Liu, Y.-X., Zhu, Y.-Y., Huang, H.-C., & Zhu, S.-S. (2023). 2,3-Butanediol from the leachates of pine needles induces the resistance of *Panax notoginseng* to the leaf pathogen *Alternaria panax*. *Plant Diversity*, 45(1), 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.02.003>

Li, Z. H., Wang, Q., Ruan, X., Pan, C. D., & Jiang, D. A. (2010). Phenolics and plant allelopathy. *Molecules*, 15(12), 8933–8952.

<https://doi.org/10.3390/molecules15128933>

Liu, L., Wang, L., Ge, X., Zhao, Z., & Chen, W. (2025). Review of alkaloid extraction processes from plants. *Chemical Engineering and Processing*, 206, 110413.

<https://doi.org/10.1016/j.cep.2025.110413>

Méndez, R. (2017). *Cultivos orgánicos*. Biblioteca digital de Bogotá - BIBLORED. <https://www->

[ebooks7-24-com.ezproxy.biblored.gov.co/stage.aspx?il=5046&pg=&ed=](https://ebooks7-24-com.ezproxy.biblored.gov.co/stage.aspx?il=5046&pg=&ed=)

Molina – Zapata, J. (2021). LA REVOLUCIÓN VERDE COMO REVOLUCIÓN TECNOCIETÍFICA: ARTIFICIALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y SUS IMPLICACIONES\*.

*Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 21 (42), 175-204.

<https://doi.org/10.18270/rcfc.v21i42.3477>

Molisch, H. (1937).. The influence of one plant on another: allelopathy. ResearchGate.

[https://www.researchgate.net/publication/322466455 THE INFLUENCE OF ONE PTANT ON ANOTHER ALLELOPATHY](https://www.researchgate.net/publication/322466455_THE_INFLUENCE_OF_ONE_PTANT_ON_ANOTHER_ALLELOPATHY)

Murillo, E., Viña, A., Pérez, C., y Ruiz V. (2006). Actividad Alelopática de las Arvenses Asociadas al Cultivo de Arroz (*Oryza sativa* L.) en el Tolima-Colombia. *Información Tecnológica*, 17 (2), 15 - 24. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000200004>

Marcos-Pérez, M., Sánchez-Navarro, V. , Zornoza, R. (2023). Estudio sobre el impacto de la asociación de cultivos entre brócoli y haba en la fertilidad del suelo y la producción. *12º Workshop en Investigación Agroalimentaria para jóvenes investigadores*, 98-101.

<https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/41038cdd-bb0a-43f0-a885-bf417749ae7b/content>

Mandal, A., Chakraborti, P. (2021). Allelopathic Influence of *Rauwolfia tetraphylla* L. for Enhancing the Seedling Root Vigour of Gram (*Cicer arietinum* L.). *Indian Journal of Agricultural Research*, 55(4), 478–482. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.18805/IJARE.A-5493>

Marroquín-Agreda, F.J., Gallegos-Castro, M.E., Villarreal-Fuentes, J.M., Aguilar-Fuentes, J., Lerma-Molina, J.N. (2019). Volatile organic compounds of aromatic species as growth promoters of saladette tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). *Agro Productividad*, 12(9), 61–65.

<https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/c/qcagk4/viewer/pdf/jnz3kg4uqj>

Maksimović T., Cvijetinović M., Hasanagić D. (2023). Allelopathic effect of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) on seed germination and early seedling growth of barley (*Hordeum vulgare* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.). *Agro-knowledge Journal*, 24(3), 105–115. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.7251/AGREN2303105M>

Mushtaq, W., & Fauconnier, M.-L. (2024). Phenolic profiling unravelling allelopathic encounters in agroecology. *Plant Stress*, 13, 100523. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100523>

Murali-Baskaran, R. K., Mooventhan, P., Das, D., Dixit, A., Sharma, K. C., Senthil-Nathan, S., Kaushal, P., & Ghosh, P. K. (2022). The future of plant volatile organic compounds (pVOCs) research: Advances and applications for sustainable agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, 200, 104912. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104912>

Mughal, N., Long, X., Deng, J., Zhang, Q., Xiao, X., Zhang, X., Xiao, Y., Zhang, J., Yang, W., & Liu, J. (2024). Metabolomics analysis of rhizospheric soil: New evidence supporting the ecological advantages of soybean maize strip intercropping system. *Applied Soil Ecology*, 202, 105564. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105564>

Ma, H., Ren, Z., Luo, A., Fang, X., Liu, R., Wu, C., Shi, X., Li, J., Lv, H., Sun, X., Zhang, K., & Zheng, S. (2025). Self-alleviation of continuous-cropping obstacles in potato via root-exudate-driven recruitment of growth-promoting bacteria. *Plant Communications*, 6(7), 101372. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2025.101372>

Macías, F. A., Chinchilla, N., Varela, R. M., & Molinillo, J. M. (2006). Sesquiterpene lactones as allelochemicals. *Journal of Natural Products*, 69(8), 1173–1180. <https://doi.org/10.1021/np060056s>

Medic, A., Zamljen, T., Hudina, M., Veberic, R., & Mikulic-Petkovsek, M. (2021). Is juglone the only

naphthoquinone in *Juglans regia* leaf extract? *Agriculture*, 11(8), 784.

<https://doi.org/10.3390/agriculture11080784>

Ninkuu, V., Liu, Z., Qin, A., Xie, Y., Song, X., & Sun, X. (2025). Impact of straw returning on soil ecology and crop yield: A review. *Heliyon*, 11(2), e41651.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41651>

Nishida, N., Tamotsu, S., Nagata, N., Saito, C., & Sakai, A. (2005). Allelopathic effects of volatile monoterpenoids produced by *Salvia leucophylla*. *Journal of Chemical Ecology*, 31(5), 1187–1203.

<https://doi.org/10.1007/s10886-005-4256-y>

Osorio, L., Valverde, F. A., Bonilla, C. R., Sánchez, M. S., Mier, C., E. (2009, abril - junio). Evaluación de extractos de fique, coquito, sorgo y ruda como posibles bio-herbicidas. *Acta Agronómica*.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-28122009000200007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122009000200007)

Oluwafemi, A. B. (2012). STUDIES ON THE ALLELOPATHIC EFFECTS OF *CHROMOLAENA ODORATA* L. ON THE PERFORMANCE OF SOYBEAN (*GLYCINE MAX* L. MERRIL). *Bio - Science Research Bulletin*, 28 (2), 103 - 109. [https://research-ebSCO-](https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/c/qcagk4/viewer/pdf/7aoto2nogz)

[com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/c/qcagk4/viewer/pdf/7aoto2nogz](https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/c/qcagk4/viewer/pdf/7aoto2nogz)

Patra, P., Jaswal, A., Fatima, I. (2025). Enhancing Food Security Through Sustainable Agriculture: Investigating the Allelopathic Effects of Sorghum on Weed Management in Field Pea (*Pisum sativum* var. *arvense*). *Nature Environment and Pollution Technology*, 24, 273–283. [https://doi-](https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.46488/nept.2024.v24is1.020)

[org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.46488/nept.2024.v24is1.020](https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.46488/nept.2024.v24is1.020)

Poslinski, H., Hatley, M., Tramell, J., & Song, B.-H. (2025). Harnessing phytochemicals in sustainable and green agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101633.

<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101633>

- Padu, K., Khanduri, V. P., Singh, B., Rawat, D., Riyal, M. K., & Kumar, K. S. (2023). Phytotoxicity of common weeds on germination, seedling growth, NPK uptake and chlorophyll content of four hill crops of Garhwal Himalaya. *Journal of Agriculture and Food Research*, *12*, 100539. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100539>
- Pedrol, N., Puig, C. G., Souto, X. C., & Reigosa, M. J. (2024). Allelopathy as a tool for sustainable weed management in agroecosystems. *Agronomy*, *14*(7), 1362. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071362>
- Rodríguez, H., Mederos, D., Hechevarría, I. (2002, mayo - agosto). Efectos alelopáticos de restos de diferentes especies de plantas medicinales sobre la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en condiciones de laboratorio. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1028-47962002000200002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962002000200002)
- Román, C. y Maya, T. (2011). *La casa y el campo*. Colombia Aprende. <https://secretosparacontar.org/nuestros-libros/la-casa-y-el-campo/>
- Raza, T., Qadir, M. F., Imran, S., Khatoon, Z., Khan, M. Y., Mechri, M., Asghar, W., Rehmani, M. I. A., Villalobos, S. de los S., Mumtaz, T., & Iqbal, R. (2025). Bioherbicides: revolutionizing weed management for sustainable agriculture in the era of One-health. *Current Research in Microbial Sciences*, *8*, 100394. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2025.100394>
- Ranjan Satapathy, S., Prasad Khanduri, V., Singh, B., Riyal, M. K., Kumar, S., Kumar, P., & Rawat, D. (2022). Allelopathic potential of *Ficus auriculata* and *Ficus semicordata* on growth of four traditional food crops of Garhwal Himalaya. *Journal of Agriculture and Food Research*, *9*, 100352. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100352>
- Rosa, D., Brás, T., Rial, C., Varela, R. M., Maçãs, B., Macías, F. A., & Duarte, M. F. (2024). Sesquiterpene lactones enriched-fractions obtained from *Cynara cardunculus* extract

dialtrafiltration. *Industrial Crops and Products*, 218, 118926.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118926>

Ryu, C. M., Farag, M. A., Hu, C. H., Reddy, M. S., Wei, H. X., Paré, P. W., & Kloepper, J. W. (2003).

Bacterial volatiles promote growth in Arabidopsis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(8), 4927–4932.

<https://doi.org/10.1073/pnas.0730845100>

Rice, E. L. (1984). *Allelopathy* (2nd ed.). Academic Press.

<https://www.sciencedirect.com/book/9780125870555/allelopathy>

Sampietro, A. (s.f.). ALELOPATÍA: concepto, características, metodología de estudio e importancia.

<https://www.biologia.edu.ar/plantas/alelopatia.htm>

Salazar, J. (2016). *Aprovechamiento de recursos y manejo de suelo ecológico*. Google Libros.

[https://www.google.com.co/books/edition/Aprovechamiento\\_de\\_recursos\\_y\\_manejo\\_de/y1EpEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=acolchado+en+agricultura&pg=PT36&printsec=frontcover](https://www.google.com.co/books/edition/Aprovechamiento_de_recursos_y_manejo_de/y1EpEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=acolchado+en+agricultura&pg=PT36&printsec=frontcover)

Sánchez, C. (2024). *Beneficios de la asociación de cultivos hortícolas para reducir insumos y mejorar la productividad y salud del suelo* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Cartagena].

Repositorio UPCT. <https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/2f460660-fca7-4609-80b9-7bbdb14a5651/content>

Sahrawat, A., Singh, J. P., Singh, S., Jawla, S. K., Tripathi, L. K. (2024). In vitro and in vivo Effect of Weeds (Root) Extracts on Soil Borne Fungal Phytopathogens and Fungal Infected Legume Crop Bengal Gram (*Cicer arietinum*). *Legume Research: An International Journal*, 47(12), 2175-2181.

<https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.18805/LR-5261>

Shadab, M., Bhatti, N., Ain, Q., Akhtar, N., Parveen, U., Alharby, H. F., Hakeem, K. R., & Siddiqui, M.

B. (2024). Allelopathy for the sustainable management of agricultural pests: Appraisal of major

allelochemicals and mechanisms underlying their actions. *South African Journal of Botany*, 175, 496–513. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.10.028>

Šimůnek, M. V., Ruckenbauer, P., Hoßfeld, U. (2014). Un álbum medio olvidado, Fotografías de 133 pioneros del fitomejoramiento/genética temprana. *Folia Mendeliana*.  
[https://www.researchgate.net/publication/283496335\\_A\\_half\\_forgotten\\_album\\_Photos\\_of\\_140\\_pioneers\\_of\\_early\\_plant\\_breedinggenetics](https://www.researchgate.net/publication/283496335_A_half_forgotten_album_Photos_of_140_pioneers_of_early_plant_breedinggenetics)

Sorty, A. M., Kudjardjie, E. N., Meena, K. K., Nicolaisen, M., & Stougaard, P. (2025). Plant root exudates: Advances in belowground signaling networks, resilience, and ecosystem functioning for sustainable agriculture. *Plant Stress*, 17, 100907. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100907>

Sharma, M., Kaler, N. S., Sharma, S., Sharma, R., Sharma, S., & Ghabru, A. (2025). Allelopathic influence of *Morus alba* and *Grewia optiva* on growth and performance of pulse crops. *Forest Ecology and Management*, 596, 123113. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.123113>

Siyyar, S., Sarim, F. M., & Majeed, A. (2025). Unveiling the allelopathic potential of common weeds extracts for effective management of *Parthenium hysterophorus*. *Ecological Frontiers*, 45(2), 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2024.10.016>

Salehi, B., Valussi, M., Morais-Braga, M. F., Carneiro, J. N., Leal, A. L., Coutinho, H. D., ... Sharifi-Rad, J. (2018). *Tagetes* spp. essential oils and other extracts: Chemical characterization and biological activity. *Molecules*, 23(11), 2847.  
<https://doi.org/10.3390/molecules23112847>

Stalikas, C. D. (2007). Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *Journal of Separation Science*, 30(18), 3268–3295.  
<https://doi.org/10.1002/jssc.200700261>

- Scavo, A., & Mauromicale, G. (2021). Crop allelopathy for sustainable weed management in agroecosystems: Knowing the present with a view to the future. *Agronomy*, *11*(11), 2104.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy11112104>
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal*. WordPress.  
<https://fisiologiavegetalundec.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/fv-taiz-zeiger-vol-i.pdf>
- Tejeda-Sartorius, O., Vaquera-Huerta, H., Cadena-Iñiguez, J. (2011). Effect of amaranth residues (*Amaranthus hypochondriacus* L.) on weed control and yield of radish, onion and carrot. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *9*(1), 284-295.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3432090>
- Tucat, G., Bentivegna, D., Fernández, O., Busso, C., Bredan, R., Mujica, M. de la M., Torres, Y., Daddario, J., Ithurrart, L., Giorgetti, H., Rodríguez, G., Montenegro, O., Baioni, S., Entío, J., Fioretti, M. N. (2013). Efecto fitotóxico de *Baccharis ulicina* sobre la germinación y crecimiento inicial de *Avena sativa*, *Lolium perenne* y *Raphanus sativus*. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO*, *45* (1), 63-77.  
<https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/6132/4992>
- Tayeb, W., Edziri, H., Elmsehli, S., Horchani, M., Bechi, S., Chaieb, I., Vilhena, K. do S. de S., & Santana de Oliveira, M. (2025). Chemical composition and ecological bioactivity of *Citrus sinensis* essential oil. *Biochemical Systematics and Ecology*, *123*, 105079.  
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2025.105079>
- Teoh, E. S. (2015). Secondary metabolites of plants. En E. S. Teoh, *Medicinal orchids of Asia* (pp. 59–73). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24274-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24274-3_5)

- Velástegui, G. P., Artieda, J. R., Mera, R. I., López-, I. C., Pazmiño N., Espinoza, J. S. (2018). Inhibición de la brotación del tubérculo de papa: una revisión de los métodos empleados. *Journal of the Selva Andina Biosph.* <https://magazine.sars.org.bo/index.php/jsab/article/view/196/230>
- Vajja, N. R., Meinke, H., Kropff, M. J., Anten, N. P., Whitbread, A. M., Kumar, U., Parsons, D. (2025). Incorporating knowledge of allelopathic interactions can improve productivity and sustainability of crop rotations in the semi-arid tropics. *Journal of Agriculture and Food Research*, 22. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154325003977>
- Vajja, S., Singh, H. P., Batish, D. R., & Kohli, R. K. (2025). Allelopathy in sustainable agriculture: Role in weed management and crop productivity. *Agronomy*, 15(1), 112. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010112>
- Vignesh, A., Amal, T. C., Sivalingam, R., Selvakumar, S., & Vasanth, K. (2024). Unraveling the impact of nanopollution on plant metabolism and ecosystem dynamics. *Plant Physiology and Biochemistry*, 210, 108598. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108598>
- Verma, N., Aggarwal, N., & Sood, P. (2024). Exploring the phytochemistry and biological potential of *Tagetes minuta* (L.): A comprehensive review. *South African Journal of Botany*, 168, 175–195. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.03.004>
- Wong, B. Y.-K., Chen, Y.-H., Cui, K.-H., Zhou, H.-C., Li, F.-L., Tam, N. F.-Y., Lee, F. W.-F., & Xu, S. J.-L. (2024). Differential allelopathic effects of mangrove plants *Kandelia obovata* and *Aegiceras corniculatum* on harmful algal species: Potential applications in algal bloom control. *Marine Pollution Bulletin*, 207, 116874. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116874>
- Wang, H., Yuan, W., Huang, W., Wang, Q., Wu, T., Wang, C., Liu, W., Zhang, S., & Wang, B. (2025). Walnut-tea intercropping model: Variations in secondary metabolites and microbial interactions

in tea under metabolomics perspective. *Industrial Crops and Products*, 227, 120774.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120774>

Wu, H., Qin, X., Wu, H., Li, F., Wu, J., Zheng, L., Wang, J., Chen, J., Zhao, Y., Lin, S., & Lin, W. (2020). Biochar mediates microbial communities and their metabolic characteristics under continuous monoculture. *Chemosphere*, 246, 125835.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125835>

Weston, L. A., & Duke, S. O. (2003). Weed and crop allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(3–4), 367–389. <https://doi.org/10.1080/713610861>

Zahir Muhammad, Naila Inayat, Abdul Majeed, Rehmanullah, Hazrat Ali, Kaleem Ullah. (2019).

Allelopathy and Agricultural Sustainability: Implication in weed management and crop protection—an overview. *European Journal of Ecology*, 5, (2), 54–61.

<https://doaj.org/article/8a5144bcd75c44c69f6005698c56740c>

Zhu, L., Zhou, W., Wang, J., Guo, J., & Zhou, C. (2025). Root exudate-mediated assemblage of rhizo-microbiome enhances Fusarium wilt suppression in chrysanthemum. *Microbiological Research*, 292, 128031. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.128031>

Zhao, X., Elcin, E., He, L., Vithanage, M., Zhang, X., Wang, J., Wang, S., Deng, Y., Niazi, N. K., Shaheen, S. M., Wang, H., & Wang, Z. (2024). Using biochar for the treatment of continuous cropping obstacle of herbal remedies: A review. *Applied Soil Ecology*, 193, 105127.

<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105127>

Zhang, K., Zhang, H., Xie, C., Zhu, Z., Lin, L., An, Q., Zhang, X., Wu, W., & Li, D. (2024).

Piriformospora indica colonization enhances remediation of cadmium and chromium co-contaminated soils by king grass through plant growth promotion and rhizosphere microecological regulation. *Journal of Hazardous Materials*, 462, 132728.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132728>

Zhang, D., Li, J., Huang, Y., Gao, S., & Zhang, J. (2022). Root-soil facilitation in mixed *Eucalyptus grandis* plantations including nitrogen-fixing species. *Forest Ecology and Management*, 516, 120215. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120215>