

Avances en el desarrollo de nuevos herbicidas biológicos a partir de extractos vegetales fitotóxicos aplicados *in vitro*

Advances in the development of new biological herbicides from phytotoxic plant extracts in vitro

Luis Cruz-Ortiz¹
Mariana Flores-Méndez²

¹ Universidad Autónoma de Chiapas (México). Correo electrónico: cruzortizluisangel@gmail.com
orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5013-3985>

² Universidad Autónoma de Chiapas (México). Correo electrónico: marianafm44@gmail.com
orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4744-9556>

Recibido: 06-04-2021 Aceptado: 28-09-2021

Cómo citar: Cruz-Ortiz, Luis; Flores-Méndez, Mariana (2021). Avances en el desarrollo de nuevos herbicidas biológicos a partir de extractos vegetales fitotóxicos aplicados *in vitro*. *Informador Técnico*, 86(1), 34 - 45.
<https://doi.org/10.23850/22565035.3648>

Resumen

La agricultura es afectada por la aparición de malezas que reducen la producción de los cultivos, estas se controlan con químicos agrícolas que desequilibran el ambiente y la salud humana. Recientemente se ha reportado el empleo de extractos biológicos de plantas, donde se demuestra que poseen propiedades bioactivas fitotóxicas que alteran la estructura celular, por lo que surge la necesidad de extraer los compuestos bioactivos de estos, con el fin de producir y aplicar bioherbicidas potentes, que inhiban la propagación de malezas que perturban los sembradíos. El objetivo de esta revisión bibliográfica fue reportar los avances en el desarrollo de nuevos herbicidas biológicos, a partir de extractos vegetales fitotóxicos aplicados *in vitro*. La presente revisión describe los compuestos con capacidad fitotóxica en las plantas y su actividad biológica fitotóxica, como los polifenoles, taninos, alcaloides, quinonas, saponinas antagónicas y los glucósidos, por mencionar algunos, mediante los métodos experimentales más usados, que incluyen la extracción, la determinación y la cuantificación de los metabolitos. Además, se hace mención de las variables respuestas que se consideraron para evaluar el efecto de estas sustancias activas biológicas, donde se incluyen el porcentaje de inhibición de la germinación, el crecimiento y la longitud radical en plantas.

Palabras clave: alelopatía; metabolitos secundarios; vigor; bioherbicida; fenol; germinación; solución biológica.

Abstract

Agriculture is affected by the appearance of weeds that reduce crop production. These are controlled with agricultural chemicals that unbalance the environment and human health. For this reason, the need arises to extract the bioactive compounds from these, to produce and apply powerful bioherbicides, which inhibit the spread of weeds that disturb the crops. Recently, the use of biological extracts of plants has been reported, where it is shown that they have phytotoxic bioactive properties that alter cell structure. The objective of this bibliographic review was to report the advances in the development of new biological herbicides, from

phytotoxic plant extracts applied *in vitro*. This review describes the compounds with phytotoxic capacity in plants and their phytotoxic biological activity, such as polyphenols, tannins, alkaloids, quinones, saponins antagonists, and glycosides, to mention some, through the use of the most common experimental methods that include the extraction, determination, and quantification of the metabolites. In addition, the response variables that were considered to evaluate the effect of these biological active substances are mentioned, which include the percentage of inhibition of germination, growth, and root length in plants.

Keywords: allelopathy; secondary metabolites; vigor; bioherbicide; phenol; germination; biological solution.

1. Introducción

La agricultura es una de las actividades primordiales en el mundo, la cual garantiza la alimentación de la población y el sustento económico de los productores. Sin embargo, una de las problemáticas frecuentes es la aparición de malezas que desplazan a los cultivos, estas son controladas de forma mecánica manual o con maquinarias pesadas. Las malezas que no se controlan pueden generar pérdidas del 10 a 12 % de la cosechas, la aplicación foliar de herbicidas de rápida acción limita el desarrollo y la propagación de las malas hierbas (Armellina; Bezic; Brevedan, 2008; Alvarado; Carrera-Maridueña; Yance-Carvajal, 2016), pero el inapropiado y excesivo uso de los químicos agrícolas ocasiona un desequilibrio ambiental, empobreciendo los suelos, contaminando los mantos acuíferos, disminuyendo la población de las abejas encargadas de la polinización y poniendo en riesgo la salud humana.

Esta práctica agrícola cada vez es menos sostenible, ya que las demandas y las exigencias de los mercados aumentan. Además, las plantas adquieren resistencia a plaguicidas forzando a los agricultores a adoptar nuevas alternativas (Ordeñana, 2013; Ramdas; Biwek; Davie; Ozgur; Alferez, 2019; Beckie, 2020) como el uso de componentes biológicos, que son una de las nuevas tendencias científicas que están en desarrollo, y que son amigables con el ambiente (Stanley; Sah; Jain; Bhatt; Sushil, 2015; Reichert *et al.*, 2019).

En las plantas existen sustancias bioactivas que alteran la estructura celular (fitotóxica) con características deseables: biodegradables y de poca o nula toxicidad en mamíferos (Cordeau; Triolet; Wayman; Steinberg; Guillemín, 2016; Morra; Popova; Boydstonb, 2018; González; Flies; Navarrete; López; Troncoso, 2019). Los compuestos bioactivos extraídos de los órganos de plantas (hojas, raíces, flores, tallos, y semillas) presentan el potencial fitotóxico, que los hace candidatos a bioherbicidas. Reportes como el uso de extractos metanólicos de rábano (*Raphanus sativus*) y colinabo (*Brassica napobrassica*) manifiestan efectos negativos en la germinación y vigor en los cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y arroz (*Oryza sativa*) (Díaz-Mota *et al.*, 2017).

Otros autores como Flores, Chávez y Leal (2015) informaron que los extractos acetónicos, diclorometanos y metanólicos de flor de hierba loca morada (*Astragalus mollissimus*) desfavorecen la germinación de las semillas de zacate Johnson o sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*) y carrizo o caña de Castilla (*Arundo donax*). El extracto obtenido de la corteza del árbol Canelo (*Drimys winteri*) retrasó la germinación, crecimiento de tallo y radícula de correhuela o cahiruela menor (*Convolvulus arvensis*), espiguilla o cola de zorra amarilla (*Setaria pumila*), zanahoria (*Daucus carota*) y escarola o achicoria común (*Cichorium intybus*) (Zapata; Vargas; Medina, 2011).

Así mismo, se han encontrado propiedades fitotóxicas en extractos de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) (Gualteros; Triviño; Salazar, 2017), colinabo o berza silvestre (*Brassica campestris* subsp. rapa), raigrás (cizaña o espantapájaros) (*Lolium temulentum* L.), aceite de clavo de olor (*Eugenia caryophyllus*) (Copping; Duke, 2007), árbol de arrayán (*Blepharocalyx salicifolius*), guayabo (*Myrcia multiflora*), hoja menuda o guayabillo (*Myrcia splendens*), guamo peludo (paterna) (*Myrcia tomentosa*), ácidos grasos obtenidos de maquilea (milénrama) (*Achillea gypsicola*) y perejil bravío (*Achillea biebersteinii* Afan) (Zamorano; Fuentes, 2005; Kordali *et al.*, 2009; Imatomi; Novaes; Miranda; Gualtieri, 2015). Por lo antes mencionado, el objetivo de esta revisión bibliográfica es exhibir los avances en el desarrollo de nuevos herbicidas biológicos a partir de extractos vegetales fitotóxicos aplicados *in vitro*.

2. Metodología

En el presente trabajo se realizó una búsqueda exhaustiva de revistas científicas, donde se revisaron artículos, tesis y notas científicas (bases de datos digitales *Science direct*, *Springer link*, *Scielo*, *Scopus*, libros digitales y páginas web), con las palabras claves “biocide, bioherbicide, phenols, germination, biological solutions”. Analizando la información de impacto, se tomaron en cuenta los escritos que se apegaron al tema de investigación. El criterio de selección de los artículos se tornó en periodo de publicación en un intervalo de 2004 al 2020.

3. Resultados

La búsqueda de información en las bases de datos digitales arrojó alrededor de 12,750 resultados, para facilitar la búsqueda se escribió en las bases digitales un rango de edad de 2004-2020. Después se tomaron los resultados que se apegaban al tema. Finalmente se seleccionaron 64 documentos que se usaron para construir el artículo de revisión.

3.1. Compuestos con capacidad fitotóxica en las plantas

La necesidad de proteger el medio ambiente y la salud humana de los productos químicos ha resultado en el interés por recurrir a las plantas con potencial biocida. Algunas investigaciones han demostrado la versatilidad de las extracciones vegetales en el control de hongos, bacterias, malezas y plagas. Las plantas tienen la capacidad de sintetizar moléculas relacionadas con diferentes mecanismos de defensa, entre ellas se mencionan los ácidos fenólicos, flavonoides, alcaloides y quinonas, las cuales se encuentran prácticamente en todos los tejidos vegetales (Lottina-Hensen; King; Aguilar; Hernandez, 2006; Cheng; Cheng, 2015). Muchas de estas sustancias bioactivas demuestran propiedades bioherbicidas (Blanco; Hernández; Urra; Leyva, 2007; Batish; Singh; Kohli; Kaur, 2008).

Los fenoles son uno de los compuestos activos en las plantas con características antioxidantes y biocidas, tienen influencia en varios procesos fisiológicos, principalmente en la permeabilidad de la membrana, la actividad enzimática, el balance iónico, la fotosíntesis, la relación agua-planta, la respiración, y la síntesis de proteína y clorofila (Yan *et al.*, 2014; Ribeiro; Feitoza; Lima; Carvalho, 2015; Zhi-Qiang *et al.*, 2015; Lim; Basri; Ee; Omar, 2017). Los polifenoles, taninos, alcaloides, las quinonas, saponinas, antagónicas y los glucósidos pueden provocar estrés oxidativo, donde los principales daños suceden en las colas hidrofóbicas de las membranas mitocondriales por la alteración del estado redox de la célula y peroxidación lipídica, donde disminuye el contenido de fosfolípidos, la producción de ATP y, además, se bloquea el transporte de metabolitos e iones o el bombeo de protones y la evolución de oxígeno en los cloroplastos, lo que favorece el colapso de la células (Blanco, 2006; Jaramillo; Jaramillo; D’Armas; Troccoli; Rojas, 2016; Radwan; Alghamdi; Kenawy, 2019).

Los ácidos fenólicos, ferúlico, p-cumárico y vanílico, reducen la biomasa al disminuir la concentración de clorofila (Patterson, 1981). El ácido vanílico interfiere en el metabolismo mitocondrial al reducir el Ca^{+2} (Yang; Ing-Feng; Lee; Zhou, 2002). Los glicósidos de flavonoides como la naringenina, la 2',4,4'-trihidroxichalcona y la floridzina estimulan fuertemente enzimas del tipo AIA oxidasa, involucradas en la degradación de auxinas, que son las encargadas de activar al etileno que, cabe mencionar, es una hormona primordial para la iniciación de brotes germinales de las semillas. Las catequinas inhiben la enzima del ADN polimerasa y topoisomerasa al intervenir en la replicación del ADN y reducir el citoplasma (Santos *et al.*, 2019).

3.2. Técnicas utilizadas para la extracción de compuestos fitotóxicos vegetales

Hay distintos procesos de extracción de moléculas fitotóxicas, en diferentes órganos vegetales (raíces, hojas, brotes, tallos, flores y frutos), estos suelen ser triturados y están en contacto con solventes. Las técnicas que se usan son: soxhlet, donde se emplean solventes (etanólicos, hexano, éter de petróleo u otros, dependiendo de la polaridad), arrastre de vapor, infusión, destilación, ultrasonido, extracción asistida por microondas, extracción por fluidos supercríticos y extracción acelerada por solventes. La cromatografía de alta resolución acoplada a espectrofotometría de masas y la resonancia magnética nuclear caracterizan a los metabolitos que se encuentran en los extractos vegetales (HPLC-DAD-MS) (Barreto, 2009; Rojas, 2009; Fuentes; Aranda, 2013; Flores; Castañeda; Montiel; Hernández, 2014; Barrera, 2015; Mena *et al.*, 2015).

3.3. Identificación y cuantificación de compuestos extraídos de vegetales

La identificación y cuantificación de los metabolitos es importante para tener certeza de la molécula activa y su actividad fitotóxica. Se han identificado alcaloides de indolizolidinico, denominados *swainsonina* de *Astragalus mollissimus* Torr., que inhiben las enzimas alfa-Golgi lisosomal α -mannosidasa y α -mannosidasa II, y reducen la actividad del ADN y ARN, la biosíntesis de proteínas y la permeabilidad de las membranas, desestabilizando su metabolismo celular. Los alcaloides funcionan como sustancias alelopáticas, propiedad que algunas plantas poseen, y que les otorga un potencial herbicida natural (Flores *et al.*, 2015).

Así mismo, Díaz-Mota *et al.* (2017) reportaron que *Dieffenbachia amoena*, *Brassica napobrassica* y *Raphanus Sativus* contienen terpenoides (glucoalcaloides) que disminuyen el porcentaje de yemas germinales y el crecimiento de las plántulas. En *Eucalyptus grandis* se encontraron concentraciones de hidrocarburos monoterpénicos [α -pineno (32,80 %), γ -terpineno (19,50 %) y p-cimeno (15,37 %)], y en *Eucalyptus citriodora* se encontraron monoterpenos oxigenados [citronelal (29,31 %), geraniol (27,63 %) y β -citronelol (14,88 %)] (Aragão *et al.*, 2015). Las extracciones metanólicas crudas de *C. cardunculus* mostraron la presencia de ácido siríngico (0,108 mg/g), ácido p-cumárico (0,487 mg/g), miricitrina (0,755 mg/g), quercetina (0,383 mg/g) y naringenina (0,359 mg / g) (Kaab *et al.*, 2020). En las extracciones de *Nauplius graveolens* se determinaron contenidos de flavonoides (5,51 mg/g) y alcaloides (4,67 mg/g), mientras que *Reichardia tingitana* y *Picris asplenoides* contenían taninos (12,54 y 13,69 mg/g), saponinas (7,13 y 5,27 mg/g) y fenólico (8,17 y 8,77 mg/g) respectivamente, mientras que *Urospermum picroides* incluye fenoles (9,31 mg/g) en sus células (El-Amier; Abbas; Dowood, 2015).

3.4. Variables de respuestas obtenidas de los extractos fitotóxicos aplicados a las malezas

Para evaluar el potencial fitotóxico de las moléculas extraídas de las plantas, se realizan bioensayos tanto "in vitro" como "in vivo". Muchos estudios en su metodología presentan a las semillas o plantas modelos en diferentes concentraciones de extractos vegetales, para ello hay que exponer las semillas, yemas germinadas o explantes al contacto con los componentes bioactivos. Las variables que se usan para determinar la capacidad fitotóxica son el porcentaje de semillas germinadas o no germinadas, el vigor de la planta (longitud de la raíz y longitud de la parte aérea de las semillas que lograron germinar) y el peso fresco. La longitud de la raíz se mide en la base del cuello de la punta de la raíz, y la longitud de la parte aérea se calcula según la longitud de coleóptilo para monocotiledóneas y la de hipocótilo para dicotiledóneas, expresada como porcentaje de reducción del crecimiento (Kadioglu; Yanar, 2004; Da Silva *et al.*, 2013; Afrin; Pramanik; Saidur; Awal, 2016; Dafaallah; Ahmed, 2019).

3.5. Extractos de plantas con potencial inhibitorio de la germinación de malezas

La fitotoxicidad de los extractos biológicos depende de la metodología de extracción (acuoso, etanólico, metanólico) del material vegetativo (deshidratado, fresco y congelado), el estadio de la planta, especie, órgano vegetal (raíz, tallo, hoja y flor), la fecha de cosecha y las condiciones abióticas del medio. Además, hay que tener en cuenta que los tipos de maleza tienen diferentes tolerancias a los fitotóxicos (El-Amier *et al.*, 2015; Flores *et al.*, 2015; Díaz-Mota *et al.*, 2017) (ver Tabla 1).

Tabla 1. Inhibición de la germinación de malezas con extractos vegetales fitotóxicos.

Planta modelo	Extracto evaluado	Concentración	Malezas	% de semillas no germinadas	Referencia
<i>Astragalus mollissimus</i> Torr.	Acuoso	1-3,5 % (v/v)	<i>Sorghum halepense</i>	100	Flores <i>et al.</i> , 2015
	Metanol	2-3,5 % (v/v)	<i>Sorghum halepense</i>	100	
	Metanol	2-3,5 % (v/v)	<i>Arundo donax</i>	100	
	Diclorometano	1-2 % (v/v)	<i>Sorghum halepense</i>	98	
	Diclorometano	1-2 % (v/v)	<i>Arundo donax</i>	98	
	Acetona	2-3,5 % (v/v)	<i>Lactuca virosa</i>	90	
	Acetona	2-3,5 % (v/v)	<i>Sorghum halepense</i>	90	
<i>Brassica napobrassica</i>	Metanol	5 % (v/v)	<i>Echinochloa crus-galli</i>	99,3	Díaz-Mota <i>et al.</i> , 2017
	Metanol	5 % (v/v)	<i>Oryza sativa</i>	99,6	
<i>Nerium oleander</i> L.	Metanol	20 % (v/v)	<i>Chenopodium album</i> L.	96,2	
<i>Dieffenbachia amoena</i> W. Bull	Metanol	20 % (v/v)	<i>Echinochloa crus-galli</i>	95,6	
<i>Raphanus sativus</i> L.	Metanol	20 % (v/v)	<i>Echinochloa crus-galli</i>	95,6	
<i>Eucalyptus citriodora</i>	Destilación por vapor	0,01 % (v/v)	<i>Lactuca sativa</i> L.	87	Aragão <i>et al.</i> , 2015
<i>Eucalyptus grandis</i>		0,01 % (v/v)	<i>Lactuca sativa</i> L.	82	
<i>Mentha piperita</i> L.	Acuoso	20 % (p/v)	<i>Chenopodium album</i> L.	100	Isik; Mennan; Cam; Tursun; Arsla, 2016
<i>Mentha piperita</i> L.	Acuoso	10 % (p/v)	<i>Chenopodium album</i> L.	100	
<i>Coriandrum sativum</i> L.	Acuoso	20 % (p/v)	<i>Chenopodium album</i> L.	100	
<i>Thymus vulgaris</i> L.	Acuoso	20 % (p/v)	<i>Chenopodium album</i> L.	100	

Planta modelo	Extracto evaluado	Concentración	Malezas	% de semillas no germinadas	Referencia
<i>Cynara cardunculus</i>	Metanólico	0,75 % (p/v)	<i>Trifolium incarnatum</i> L.	87,57	Kaab et al., 2020
<i>Datura stramonium</i> L.	Acuoso	5 % (p/v)	<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	95	Safdar; Tanveer; Khaliq; Ali; Burgos, 2016
<i>Rumex dentatus</i> L.	Acuoso	5 % (p/v)	<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	95	
<i>Achyranthes aspera</i> L.	Acuoso	5 % (p/v)	<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	95	
<i>Reichardia tingitana</i>	Etanólico	40 % (p/v)	<i>Echinochloa crus-galli</i>	77,08	El-Amier et al., 2015
	Acuoso	40 % (p/v)	<i>Echinochloa crus-galli</i>	62,5	
<i>Tamarix mannifera</i>	Metanol	40 % (p/v)	<i>Pyrola minor</i>	100	El-Mergawi; Al-Humaid, 2019
<i>Lactuca virosa</i>	Metanol	40 % (p/v)	<i>Pyrola minor</i>	95	
	Metanol	40 % (p/v)	<i>Portulaca oleracea</i>	94	
<i>Ocimum tenuiflorum</i>	Metanol-p	10 % (p/v)	<i>Phleum pratense</i> L.	75	Islam; Kato-Noguchi, 2014
<i>Eucalyptus erythrocorys</i> L.	Etanólico	2,5 % (v/v)	<i>Sinapis arvensis</i>	100	Ghnaya et al., 2015
	Etanólico	3,5 % (v/v)	<i>Sinapis arvensis</i>	100	
	Acuoso	2,5 % (v/v)	<i>Phalaris canariensis</i>	100	
	Acuoso	3,0 % (v/v)	<i>Phalaris canariensis</i>	100	
	Etanólico	2,5 % (v/v)	<i>Phalaris canariensis</i>	100	
	Etanólico	3,0 % (v/v)	<i>Phalaris canariensis</i>	100	
<i>Calotropis procera</i> L.	Acuoso	10 % (v/v)	<i>Triticum aestivum</i> L.	60	Radwan et al., 2019
<i>Cortaderia speciosa</i>	Etanólico	0,065 % (v/v)	<i>Solanum lycopersicum</i>	50	Bravetti; Carpinella; Palacios, 2020

Fuente: elaboración propia.

3.6. Extractos vegetales con inhibición del crecimiento de malezas

Las semillas que logran germinar después de la aplicación de las soluciones fitotóxicas no quedan exentas del todo, sino que son afectadas en su crecimiento, longitud radicular y peso. Muchas de las investigaciones se han documentado, por ejemplo, Santos *et al.* (2019) redujeron la longitud radicular en 50 % de *Lactuca sativa* L. con el uso de extractos de dos plantas, *Solanum muricatum* Ait. y *Solanum betaceum*. Ambas presentaron efecto mitodepresivo, donde se observó la condensación de los núcleos de *L. sativa*, asociado a fragmentación del ADN y encogimiento citoplasmático.

También, Xuan, Toyama, Fukuta, Khanh y Tawata (2009) aislaron 2,4-DTBP de cogongrass (*Imperata cylindrica* L.), inhibiendo el 78 a 95 % el crecimiento de las raíces y brotes de peludo Beggarticks (*Bidens pilosa* L.), árbol plomo blanco [*Leucaena leucocephala* (Lam.)] y pastos de corral (Rany Das; Iwasaki; Suenaga; Kato-Noguchi, 2019), usando concentraciones de 300 mg en base seca de *Crescentia alata* Kunth, logrando una inhibición del 100 % del crecimiento de los brotes y raíces del berro, lechuga, ryegrass italiano y Timothy. Murari, Kumar y Pragati (2014) mencionaron que la germinación de semillas y la longitud de radícula de *Vigna sinensis* L. disminuyeron al usar extracto de hoja de *Calotropis gigantea* L. Cabe mencionar que al disminuir su longitud disminuye el peso, pérdida documentadas por muchos investigadores (Watanabe *et al.*, 2014; Ma *et al.*, 2018; Ximenez; Santin; Ignoato; Souza; Pastorini, 2019). Javaid, Shafique, Kanwal y Shafique (2010) observaron otro factor, “el amarillamiento de las plántulas de partenio (*Parthenium hysterophorus* L.) usando flavonoides de mango (*Mangifera indica* L.)”.

4. Conclusiones

Los avances en el estudio de los nuevos herbicidas biológicos a base de extractos vegetales prometen mucho en el sector agrícola debido a la capacidad que tienen al inhibir la germinación, crecimiento y elongación de la radícula de las malezas.

La capacidad fitotóxica de los extractos vegetales son la mejor alternativa para suplantar a los agroquímicos. Todo a un bajo costo y que además reducen el nivel de contaminación ambiental.

La mayor parte las investigaciones solo reportan la concentración que presenta efecto inhibitorio, por lo cual es necesario averiguar el efecto de los extractos vegetales en aspectos fisicoquímicos, moleculares, estructurales y mecanismo de acción, el efecto toxicológico y así también determinar cuáles son las biomoléculas que determinan la bioactividad fitotóxica.

Además, se ha observado la importancia de los extractos vegetales, donde gracias al mecanismo de defensa de las plantas, se desarrollan metabolitos fitotóxicos, que muchos investigadores han extraído y evaluado contra diferentes modelos de plantas, posicionándolos como posibles candidatos a herbicidas biológicos. Aunque falta conocer más a detalle las moléculas fitotóxicas como la distribución espacial, ya que con esta información se predeciría qué parte de la célula vegetal se afecta. Además, se tomaría en cuenta qué tipo de acarreador o facilitador sería el adecuado para transportar los agentes bioactivos del exterior al interior celular, maximizando su efecto tóxico. Se sugiere realizar consorcios de diferentes moléculas que interactúen en distintas zonas de las células, para saber si están unidas por interacciones débiles o sin interacción, las cuales pueden aumentar o disminuir la capacidad biocida. Además, se debe tener presente las condiciones óptimas de almacenamiento, la eficacia de producción, costo-beneficio y la estabilidad de las soluciones biológicas.

Es esta revisión bibliográfica exhaustiva se recomienda clasificar las plantas que tienen mayor potencial fitotóxico, con ello también se recomienda estudiar las combinaciones entre los mejores extractos vegetales.

Referencias

- Afrin, Fahmida; Pramanik, Rahman; Saidur, Mohammad; Awal, Abdul (2016). Effects of weed extracts on germination and seedling growth of some vegetable crops. *Fundamental and Applied Agriculture*, 1(2), 87-91.
- Alvarado, Allan; Carrera-Maridueña, Mariela; Yance-Carvajal, Geovanny (2016). Study of the impact in the control nature of weeds from the vinegar. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, diciembre.
- Aragão, Francielen; Palmier, Marcel; Ferreira, A.; Costa A. V.; Queiroz, Vagner; Pinheiro, Patricia; Andrade-Vieira, Larissa (2015). Phytotoxic and cytotoxic effects of Eucalyptus essential oil on lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Allelopathy Journal*, 35(1), 259-272.
- Armellina, Dall; Bezic, C. R.; Brevedan, R. (2008). Revisión bibliográfica sobre perspectivas y alcances del uso de dosis reducida de herbicidas en hortalizas. *Avances en Horticultura-Review*, 27(63), 20-29.
- Barrera, María (2015). *Métodos alternativos para la extracción y purificación de productos naturales de interés para la industria farmacéutica* (tesis doctoral). Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Barreto, Juan (2009). *Evaluación preliminar de la actividad antiinflamatoria de las fracciones obtenidas de los extractos en petrol y en etanol de hojas y corteza de la planta bursera tomentosa (JACQ) Tr. & Pl.* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Batish, Daisy; Singh, Harminder; Kohli, Ravinder; Kaur, Shalinder (2008). Eucalyptus essential oil as natural pesticide. *Forest Ecology and Management*, 256(12), 2166-2174.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.008>
- Beckie, Hugh (2020). Herbicide resistance in plants. *Plants*, 9(435), 1-4.
<https://doi.org/10.3390/plants9040435>
- Blanco, Yaisys (2006). La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 27(3), 5-16.
- Blanco, Yaisys; Hernández, Idalmis; Urra, I.; Leyva, A. (2007). Potencial alelopático de diferentes concentraciones de extractos de girasol (*Helianthus annuus*, 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*, 28(3), 5-9.
- Bravetti, Margarita; Carpinella, Maria; Palacios, Sara (2020). Phytotoxicity of Cortaderia speciosa extract, activeprinciples, degradation in soil and effectiveness in field tests. *Chemoecology*, 30(1), 15-24.
<https://doi.org/10.1007/s00049-019-00294-0>
- Cheng, Fang; Cheng, Zhihui (2015). Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy. *Plant Science*, 6(1020), 1-16.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>
- Copping, Leonard; Duke, Stephen (2007). Natural products that have been used commercially as crop protection agents. *Pest Management Science*, 63(6), 524-554.
<https://doi.org/10.1002/ps.1378>
- Cordeau, Stéphane; Triolet, Marion; Wayman, Sandra; Steinberg, Christian; Guillemin, Jean-Philippe (2016). Bioherbicides: Dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management. *Crop Protection*, 87, 44-49.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.04.016>

- Da Silva, Ewerton; Lôbo, Lívia; Da Silva, Geilson; Souza, Antonio; Da Silva, Milton; Arruda, Alberto; Guilhon, Giselle; Santos, Lourivaldo; Arruda, Mara (2013). Flavonoids from leaves of *Derris urucu*: assessment of potential effects on seed germination and development of weeds. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(3), 881-889.
<https://doi.org/10.1590/S0001-37652013000300004>
- Dafaallah, Awadallah; Ahmed, Sara (2019). Phytotoxic Effects of Basil (*Ocimum basilicum* L.) Aqueous Extract on Seed Germination of Some Cereal Crops. *The Libyan Journal of Agriculture*, 24(2), 63-72.
- Díaz-Mota, María; García-Mateos, María; Martínez-Solís, Juan; Acosta-Ramos, Marcelo; Serrato-Cruz, Miguel; Colinas-León, María; Magdaleno-Villar, Jesús (2017). Fitotoxicidad de los extractos de *Dieffenbachia amoena*, *Nerium oleander*, *Raphanus sativus* y *Brassica napobrassica*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 303-318.
- El-Amier, Yasser; Abbas, Mohammed; Dowood, Salwan (2015). Phytotoxic effect of plant extracts from Asteraceae on germination and growth of *Echinochloa crus-galli*. *International Journal of Development Research*, 5(7), 4926-4931.
- El-Mergawi, Ragab; Al-Humaid, Abulrohman (2019). Searching for natural herbicides in methanol extracts of eight plant species. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(22), 2-6.
<https://doi.org/10.1186/s42269-019-0063-4>
- Flores, María; Chávez, Esteban; Leal, Ramona (2015). Potencial Alelopático de extractos foliares de *Astragalus mollissimus* Torr. sobre la germinación *in vitro* de semillas de maleza. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1093-1103.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v6i5.601>
- Flores, Virginia; Castañeda, Oswaldo; Montiel, Tomás; Hernández, Gloria (2014). Análisis fitoquímico preliminar del extracto hexánico de hojas de *Hemiphyllacus novogalicianus*, una especie endémica de México. *Investigación y Ciencia*, 22(63), 18-23.
- Fuentes, María; Aranda, Marleny (2013). Metodología para extracción de aceite de la microalga *Nannochloropsis oculata* usando ultrasonido. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 16(32).
- Ghnaya, Asma; Hamrouni, Lamia; Amri, Haima; Ahoues, Haifa; Hanana, Mhose; Romane, Abderrahmane (2015). Study of allelopathic effects of *Eucalyptus erythrocorys* L. crude extracts against germination and seedling growth of weeds and wheat. *Natural Product Research Formerly Natural Product Letters*, 30(18), 2058-2064.
<https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1108973>
- González, Juan; Flies, Claudia; Navarrete, Aurora; López, Javier; Troncoso, Constanza (2019). Bioherbicida a partir de extracto fenólico obtenido de residuos de almazaras. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 497-503.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.06>
- Gualteros, Ana; Triviño, Edgar; Salazar, Hans (2019). Efecto bioplaguicida de extractos vegetales para el control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays*). *Acta Biológica Colombiana*, 24(1), 58-66.
<http://doi.org/10.15446/abc.v24n1.69333>
- Imatomi, Maristela; Novaes, Paula; Miranda, Maria; Gualtieri, Sonia (2015). Phytotoxic effects of aqueous leaf extracts of four *Myrtaceae* species on three weeds. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 37(2), 241-248.
<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i2.19079>

- Isik, Doğan; Mennan, Hüsrev; Cam, Mustafa; Tursun, Nihat; Arsla, Mehmet (2016). Allelopathic potential of some essential oil bearing plant extracts on common lambsquarters (*Chenopodium album* L.). *Revista de Chimie (Bucharest)*, 67(3), 455-459.
- Islam, Mominul; Kato-Noguchi, Hisashi (2014). Phytotoxic activity of *Ocimum tenuiflorum* extracts on germination and seedling growth of different plant species. *Hindawi Publishing Corporation de Scientific World Journal*, 2014, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2014/676242>
- Jaramillo, Carmita; Jaramillo, Anyi; D'Armas, Haydelba; Troccoli, Luis; Rojas, Luisa (2016). Concentraciones de alcaloides, glucósidos cianogénicos, polifenoles y saponinas en plantas medicinales seleccionadas en Ecuador y su relación con la toxicidad aguda contra *Artemia salina*. *Biología Tropical*, 64(3), 1171-1184. <http://doi.org/10.15517/rbt.v64i3.19537>
- Javaid, Arshad; Shafique, Shazia; Kanwal, Qudsia; Shafique, Sobiya (2010). Herbicidal activity of mango leaf flavonoids against *Parthenium hysterophorus* L. Investigación de Productos Naturales. *Natural Product Research*, 24(19), 1865-1875. <https://doi.org/10.1080/14786419.2010.488231>
- Kaab, Ben; Rebey, Iness; Hanafi, Marwa; Hammi, Khaoula; Smaoui, Abderrazak; Fauconnier, Marie-Laure; De Clerck, Caroline; Jijakli, Haissanm; Riadh, Ksouri (2020). Screening of Tunisian plant extracts to determine herbicidal activity and formulation of a bioherbicide based on *Cynara cardunculus*. *South African Journal of Botany*, 128, 67-76. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.10.018>
- Kadioglu, Izzet; Yanar, Yusuf (2004). Allelopathic effects of plant extracts against seed germination of some weeds. *Asian Journal of Plant Sciences*, 3(4), 472-475. <https://doi.org/10.3923/ajps.2004.472.475>
- Kordali, Saban; Cakir, Ahmet; Akcin, Tulay; Mete, Ebru; Akcin, Adnan; Aydin, Tuba; Kilic, Hamdullah (2009). Antifungal and herbicidal properties of essential oils and hexane extracts of *Achillea gypsicola* HubMor. and *Achillea biebersteinii* Afan. (Asteraceae). *Industrial Crops and Products*, 29(2-3), 562-570. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.11.002>
- Lim, Chaw; Basri, Mahiran; Ee, Gwendoline; Omar, Dzolkhifli (2017). Phytoinhibitory activities and extraction optimization of potent invasive plants as eco-friendly weed suppressant against *Echinochloa colona* (L.) Link. *Industrial Crops and Products*, 100, 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.01.025>
- Lottina-Hensen, B.; King, Beatriz; Aguilar, M. I.; Hernandez, M. G. (2006). Plant secondary metabolites. Targets and mechanisms of allelopathy. En M. Reigosa; N. Pedrol; L. González (Eds.), *Allelopathy A physiological process with ecological implications* (pp. 229-267). Berlín: Springer. <https://doi.org/10.1007/1-4020-4280-9>
- Ma, Shujie; Fu, Leilei; He, Siqi; Lu, Xiaopeng; Wu, Yuanyong; Ma, Zhiqing; Zhang, Xing (2018). Potent herbicidal activity of *Sapindus mukorossi* Gaertn. against *Avena fatua* L. and *Amaranthus retroflexus* L. *Industrial Crops and Products*, 122, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.046>
- Mena, Licet; Tamargo, Beatriz; Olivet, Eva; Plaza, Luis; Blanco, Yisel; Otero, Anselmo; Sierra, Gustavo (2015). Determinación de saponinas y otros metabolitos secundarios en extractos acuosos de *Sapindus saponaria* L. (jaboncillo). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 20(1), 106-116.
- Morra, Matthew; Popova, Inna; Boydstonb, Rick (2018). Bioherbicidal activity of *Sinapis alba* seed meal extracts. *Industrial Crops and Products*, 115, 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.027>

- Murari, Mangal; Kumar, Ajay; Pragati, Saini (2014). Germination and seedling vigour of *Vigna sinensis* as affected by allelopathy of *Calotropis gigantea* L. *Indian Journal of Agricultural Research*, 48(1), 29-34.
<https://doi.org/10.5958/j.0976-058X.48.1.005>
- Ordeñana, Otto (2013). *Bioecología y Fisiogenética de Malezas* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador.
- Patterson, D. T. (1981). Effects of Allelopathic Chemicals on Growth and Physiological Responses of Soybean (*Glycine max*). *Weed Science*, 29(1), 53-59.
<https://doi.org/10.1017/S0043174500025820>
- Radwan, Asmaa; Alghamdi, Huda; Kenawy, Sahar (2019). Effect of *Calotropis procera* L. plant extract on seeds germination and the growth of microorganisms. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), 183-187.
<https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.12.001>
- Ramdas, Kaniserry; Biwek, Gairhe; Davie, Kadyampakeni; Ozgur, Batuman; Alferez, Fernando (2019). Glyphosate: Its Environmental Persistence and Impact on Crop Health and Nutrition. *Plants*, 8(11), 499.
<https://doi.org/10.3390/plants8110499>
- Rany Das, Krishna; Iwasaki, Arihiro; Suenaga, Kiyotake; Kato-Noguchi, Hisachi (2019). Evaluation of phytotoxic potential and identification of phytotoxic substances in *Cassia alata* Linn. Leaves. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil & Plant Science*, 69(6), 479-488.
<https://doi.org/10.1080/09064710.2019.1603322>
- Reichert, Francisco; Albertoni, Maurício; Forte, César; Pandolfi, Leonardo; Dil, Jaqueline; Weirich, Sabrina; Carezia, Carine; Mulinari, Jéssica; Mazutti, Marcio; Fongaro, Gislaine; Galon, Leandro; Treichel, Helen; Mossi, Altemir (2019). New perspectives for weeds control using autochthonous fungi with selective bioherbicide potential. *Heliyon*, 5(5), e01676.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01676>
- Ribeiro, Roberta; Feitoza, Rodrigo; Lima, Helena; Carvalho, Mario (2015). Phytotoxic effects of phenolic compounds on *Calopogonium mucunoides* (Fabaceae) roots. *Australian Journal of Botan*, 63(8), 679-686.
<https://doi.org/10.1071/BT15097>
- Rojas, Alejandra (2009). *Hidrodestilación y caracterización del aceite esencial de plantas medicinales de Santa María Huítepec, Oaxaca* (tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Safdar, Muhammad; Tanveer, A.; Khaliq, Abdul; Ali, H. H.; Burgos, Nilda (2016). Exploring herbicidal potential of aqueous extracts of some herbaceous plants against parthenium weed. *Planta Daninha*, 34(1), 109-116.
<https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340100011>
- Santos, Fabio; Carvalho, Marcos; Silveira, Graciele; Correa, Felipe; Cardoso, María; Andrade-Vieira Larissa, Vilela Luciane (2019). Phytotoxicity and cytogenotoxicity of hydroalcoholic extracts from *Solanum muricatum* Ait. and *Solanum betaceum* Cav. (Solanaceae) in the plant model *Lactuca sativa*. *Environmental Science and Pollution Research international*, 26, 27558-27568.
<https://doi.org/10.1007/s11356-017-1015-x>
- Stanley, Johnson; Sah, Khushboo; Jain, S. K.; Bhatt, J. C.; Sushil, S. N. (2015). Evaluation of pesticide toxicity at their field recommended doses to honey bees, *Apis cerana* and *A. mellifera* through laboratory, semi-field and field studies. *Chemosphere*, 119, 668-674.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.039>
- Watanabe, Yusuke; Novaes, Paula; Varela, Rosa; Molinillo, Jose; Kato-Noguchi, Hisashi; Macías, Francisco (2014). Phytotoxic Potential of *Onopordum acanthium* L. (Asteraceae). *Biochemistry & Molecular Biology*, 11(8), 247-255.
<https://doi.org/10.1002/cbdv.201400070>

- Ximenez, G. R.; Santin, Silvana; Ignoato, M. C.; Souza, Luiz; Pastorini, Lindamir (2019). Phytotoxic Potential of the Crude Extract and Leaf Fractions of *Machaerium hirtum* on the Initial Growth of *Euphorbia heterophylla* And *Ipomoea grandifolia*. *Planta Daninha*, 37, e019180433.
<https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100015>
- Xuan, Tran; Toyama, Tsuneaki; Fukuta, Masakazu; Khanh, Tran; Tawata, Shinkichi (2009). Chemical interaction in the invasiveness of cogongrass (*Imperata cylindrica* (L.) Beauv.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(20), 9448-9453.
<https://doi.org/10.1021/jf902310j>
- Yan, Zhiqiang; Guo, Hongru; Yang, Jiayue; Liu, Quan; Jin, Hui; Xu, Rui; Cuia, Haiyan; Qinab, Bo (2014). Phytotoxic flavonoids from roots of *Stellera chamaejasme* L. (Thymelaeaceae). *Phytochemistry*, 106, 61-68.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.07.013>
- Yang, C. M.; Ing-Feng, Chang; Lee, C. J.; Zhou, C. H. (2002). Effects of three allelopathic phenolics on chlorophyll accumulation of rice (*Oryza sativa*) seedlings: I. Inhibition of supply-orientation. *Botanical Bulletin. Academia Sinica Taipei*, 45(2), 119-125.
- Zamorano, Carolina; Fuentes, Cilia (2005). Potencial alelopático de *Brassica campestris* subsp. *rapa* y *Lolium temulentum* sobre tres especies de malezas de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 23(2), 261-268.
- Zapata, N.; Vargas, M.; Medina, P. (2011). Actividad fitotóxica de un extracto n-hexano obtenido de la corteza de *Drimys winteri* sobre cuatro especies de malezas. *Planta Daninha*, 29(2), 323-331.
<https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000200010>
- Zhi-Qiang, Yan; Dan-Dan, Wang; Lan, Ding; Hai-Yan, Cui; Jin, Hui; Xiao-Yan, Yang; Jian-She Yang; Bo, Qin (2015). Mechanism of artemisinin phytotoxicity action: Induction of reactive oxygen species and cell death in lettuce seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 88, 53-59.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.01.010>