



REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE *ALLIUM SATIVUM* (AMARYLLIDACEAE) COMO IMPORTANTE INHIBIDOR DEL DESARROLLO MICROBIANO Y FÚNGICO

BIBLIOGRAPHIC REVIEW OF *ALLIUM SATIVUM* (AMARYLLIDACEAE) AS AN IMPORTANT INHIBITOR OF MICROBIAL AND FUNGAL DEVELOPMENT

Élida C. Alcaraz¹, Andrea C. Mallo^{1,2} & Daniela S. Nitíu^{1,3*}

1. Cátedra de Palinología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina


2. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), La Plata, Argentina

3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

*danielanitíu@yahoo.com.ar

Citar este artículo

ALCARAZ, É. C., A. C. MALLO & D. S. NITÍU. 2023. Revisión bibliográfica de *Allium sativum* (Amaryllidaceae) como importante inhibidor del desarrollo microbiano y fúngico. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 58: 389-398.

 DOI: <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v58.n3.40191>


Recibido: 14 Feb 2023

Aceptado: 15 May 2023

Publicado en línea: 30 Ago 2023

Publicado impreso: 30 Sep 2023

Editores: Agostina B. Sassone 

& Nicolás García Berguecio 

ISSN versión impresa 0373-580X

ISSN versión on-line 1851-2372

RESUMEN

Introducción y objetivos: Amaryllidaceae es una familia de monocotiledóneas pertenecientes al orden Asparagales. Algunas especies poseen amplias propiedades farmacológicas ya que producen alcaloides, los cuales tienen actividad antiviral y antimicrobiana. Dentro de dicha familia, en la subfamilia Allioideae, se encuentra el ajo (*Allium sativum* L.). Se han realizado investigaciones sobre los compuestos fitoquímicos, tanto de los componentes aislados de sus bulbos como de diversas formulaciones. El objetivo del presente trabajo fue hacer una revisión bibliográfica de investigaciones realizadas al respecto, con énfasis en las referidas a control fúngico.

M&M: La metodología utilizada consistió en la búsqueda online y posterior revisión de trabajos especializados. Se utilizaron los buscadores Google y Google Académico. Ha sido consultado un total de 31 revistas científicas, 1 página web, 6 tesis, 1 trabajo de fin de grado y 1 acta de congreso. Dichas investigaciones datan desde fines del siglo XX hasta la actualidad. Se utilizaron las siguientes guías de búsqueda: Ajo, componentes del ajo y ajo como agente antifúngico. Se han sintetizado en una tabla los trabajos consultados y sitios de búsqueda.

Resultados: Las investigaciones relevadas en esta revisión, confirman el alto potencial del ajo como agente antimicrobiano y antifúngico, tanto en componentes aislados de los bulbos como en distintas formulaciones. Se presenta una síntesis con los resultados obtenidos en investigaciones recientes aplicadas a prevención y control fúngico.

Conclusiones: Esta revisión aporta al conocimiento actualizado de las propiedades antimicrobianas y antifúngicas del ajo que se hallan relacionadas con la variedad de compuestos aislados, producidos en la planta.

PALABRAS CLAVE

Ajo, ajoene, alicina, Allioideae, antifúngico, propiedades fitoquímicas.

SUMMARY

Background and aims: Amaryllidaceae is a family of monocotyledons belonging to the order Asparagales. Some species have extensive pharmacological properties as they produce alkaloids, with antiviral and antimicrobial activity. Within this family, in the Allioideae subfamily, it's found garlic (*Allium sativum* L.). Investigations have been carried out on the phytochemical compounds, both of the isolated components of their bulbs and of various formulations. The objective of the present work was to carry out a bibliographical review of investigations made in this regard, with emphasis on those referred to fungal control.

M&M: The methodology used consisted of an online search and subsequent review of specialized papers. The search engines Google and Google Scholar were used. A total of 31 scientific journals, 1 web page, 6 theses, 1 final degree project and 1 conference proceedings have been consulted. These investigations date from the end of the 20th century to the present. The following search guides were used: Garlic, garlic components, and garlic as an antifungal agent. The works consulted and search sites have been synthesized in a table.

Results: The investigations surveyed in this review confirm the high potential of garlic as an antimicrobial and antifungal agent, both in isolated components of the bulbs and in different formulations. A synthesis with the results obtained in recent investigations applied to prevention and fungal control is presented.

Conclusions: This review contributes to the updated knowledge of the antimicrobial and antifungal properties of garlic that are related to the variety of isolated compounds produced in the plant.

KEY WORDS

Ajoene, alicin, Allioideae, antifungal, garlic, phytochemical properties.

INTRODUCCIÓN

La familia Amaryllidaceae es un grupo de monocotiledóneas pertenecientes al orden Asparagales, que comprende alrededor de 1.100 especies agrupadas en 75 géneros. Actualmente, incluye a las subfamilias Amaryllidoideae, Agapanthoideae y Allioideae (Stevens, 2001; Chase *et al.*, 2009). Las especies de esta familia han adquirido importancia por ser utilizadas como plantas ornamentales, además de sus amplias propiedades farmacológicas, ya que producen alcaloides que presentan como precursores primarios la L-fenilalanina y L-tirosina. Estos precursores dan origen al principal esqueleto carbonado denominado norbelladina que, a través de la oxidación del acoplamiento del fenol, genera estructuras con posiciones de tipo orto-para', para-orto' y para-para', agrupando los tipos de alcaloides isoquinólicos, tales como licorina, homolicorina, crinina, haemantamina, tazetina, narciclasina, montanina y galantamina. Estos alcaloides tienen actividad antiviral y antimicrobiana; son citotóxicos, anticonvulsivos, antitumorales, hipotensivos y antiinflamatorios (Gonzalez Chavarro *et al.*, 2020). Éstos son compuestos heterocíclicos nitrogenados derivados principalmente de aminoácidos, y en la naturaleza se pueden encontrar como sales con el ácido acético, láctico, málico, tartárico, cítrico y oxálico. Aunque sus estructuras difieran mucho entre unas y otras, recientes estudios fitoquímicos han demostrado la diversidad de sus actividades farmacológicas (Gonzalez Chavarro *et al.*, 2020). En las plantas, dichos metabolitos cumplen un papel de almacenamiento de nitrógeno, sirven como sustancias protectoras de los frutos, semillas, corteza del tallo, raíz y epidermis de las hojas (Vélez Terranova *et al.*, 2014). Otras investigaciones demuestran que, además es posible utilizar los alcaloides de Amaryllidaceae como herramienta quimiotaxonómica para diferenciar géneros y especies de dicha familia (Lizama Bizama, 2018).

El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión bibliográfica acerca de las investigaciones fitoquímicas y farmacológicas que se han desarrollado para identificar y aislar las sustancias contenidas en distintos órganos de *Allium sativum* L., además de una descripción general acerca de las potenciales aplicaciones de

las distintas formulaciones en diversos campos de investigación, haciendo énfasis principalmente en referencia a prevención y control fúngico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada consistió en la búsqueda online y posterior revisión de trabajos especializados. Se utilizaron los buscadores Google y Google Académico. Ha sido consultado un total de 31 revistas científicas, una página web, seis tesis, un trabajo de fin de grado y un acta de congreso. Dichas investigaciones datan desde fines del siglo XX hasta la actualidad. A modo de guía y para una mayor eficiencia en la búsqueda de datos, se utilizaron los siguientes términos: ajo, componentes del ajo y ajo como agente antifúngico. Se han sintetizado en una tabla los trabajos consultados, autores, año de publicación y sitios web (Tabla 1).

RESULTADOS

El interés científico por los componentes del ajo se remonta a 1844 con los trabajos de Werthein, que condujeron a la identificación del disulfuro de alilo como responsable de su olor característico (Corrales Reyes *et al.*, 2014). Di Santo (2010) describe la generación de la alicina mediante la acción de la enzima alinasa (Corrales Reyes *et al.*, 2014). La alicina es uno de los compuestos biológicamente activos más importantes del ajo. Es producto de la conversión de la aliina, por intermedio de la catálisis de la enzima alinasa, se trata de un compuesto azufrado que posee diversas actividades farmacológicas de interés. Se encuentra en cantidades que oscilan entre el 0.22-0.24% del peso del ajo (Block, 1985). A la alicina se le atribuyen efectos antimicrobianos y antimicóticos *in vitro*, contra *Candida albicans* (C. P. Robin) Berkhout; algunos hongos principalmente dermatofitos y levaduras patógenas para el hombre (Juárez-Segovia *et al.*, 2019). Este compuesto no llega a circular en el torrente sanguíneo, pero puede ejercer efectos positivos en el tracto gastrointestinal, y dentro del cuerpo a través de sus metabolitos (Torres Palazzolo, 2020). Arif (2009) plantea que los extractos alcohólicos del ajo presentan una nueva molécula, poseedora de una potente actividad antiplaquetaria,

la cual fue sintetizada y se conoció con el nombre de ajoene (Corrales Reyes *et al.*, 2014). Lemus *et al.* (2004), en su trabajo acerca de la susceptibilidad *in vitro* al ajoene de aislados de *Candida albicans*, *C. parapsilosis* (Ashford) Langeron & Talice y *C. krusei* (Castellani) Berkhout, describen que el mecanismo de acción del ajoene como agente antimicótico está asociado a perturbaciones que se originan en la integridad de la membrana plasmática, las cuales provocan deformaciones en la estructura del hongo, alterando las hifas y blastoconidias. Los efectos nocivos de la mayoría de los antifúngicos, principalmente de los polienos, y el poco equilibrio enzimático que regula a los derivados azólicos, las alilaminas y los tiocarbamatos, así como su estrecho rango de acción, han estimulado el desarrollo de nuevas líneas de investigación basadas en el uso de algunas toxinas fúngicas y del ajo (Moctezuma Zárate *et al.*, 2016). Alayo-Muñoz (2019) ha estudiado el efecto antimicótico *in vitro* del extracto acuoso del bulbo de ajo, obtenido por procesamiento y centrifugación de los bulbos con solvente acuoso, a partir de la medida de los halos de inhibición del crecimiento micótico alrededor de los pocillos conteniendo el extracto. Por otro lado, se han realizado estudios *in vivo* en animales de experimentación y en pacientes humanos que padecen una infección fúngica. En estos estudios se evalúa la eficacia del fármaco en la eliminación del hongo y la respuesta clínica del paciente. Además, se puede cuantificar la concentración del fármaco en los fluidos corporales del paciente (como la sangre o el líquido cefalorraquídeo) para definir la dosis óptima del medicamento. Otros estudios *in vitro* e *in vivo* en animales evidenciaron actividad inhibitoria de extractos de ajo sobre *Hystoplasma capsulatum* Darling, *Cryptococcus neoformans* (San Felice) Vuill. y *Aspergillus parasiticus* Speare. También se ha citado el efecto de inhibición de crecimiento *in vitro* en casos de esporotricosis (González Cuellar Taboada, 2019). El mecanismo de acción como agente antimicótico parece estar asociado a perturbaciones que se originan en la integridad de la membrana plasmática, al inducir cambios en su composición lipídica, incrementando el contenido relativo de los esteroides e induciendo fuertes cambios en la composición fosfolipídica (Ledezma & Apitz, 1998).

Otros componentes que han sido aislados en el ajo son: agua, carbohidratos tales como la fructosa, compuestos azufrados: alixina, aliina, adenosina, alil metano tiosulfonato, alil metil trisulfonato, dialil

disulfuro, dialil trisulfuro, S-alil mercaptocisteína, 2-vinil-4H-1,2-ditiina y 5-alilcisteína., fermentos, colina, ácido hidrorodánico y yodo (Moctezuma Zárate *et al.*, 2016). Además, se ha aislado fibra, altos niveles de vitamina A y C, bajos niveles de vitaminas del complejo B, y hasta 17 aminoácidos, entre los cuales se encuentran: ácido aspártico, asparagina, alanina, arginina, fenilalanina, histidina, leucina, metionina, prolina, serina, treonina, triptófano y valina. Asimismo, se han reportado altos contenidos de compuestos fenólicos, polifenoles y fitoesteroides (Ganado Olmedo, 2010). En cuanto a los minerales, presenta niveles importantes de potasio, fósforo, magnesio, sodio, hierro y calcio, contenido moderado de selenio y germanio. La concentración de estos minerales dependerá del suelo donde crecen los bulbos (Ramírez Concepción *et al.*, 2016).

El ajo puede ser usado como un agente antidermatófito en géneros como *Epidermophyton* Sabour, *Microsporum* Gruby y *Trichophyton* Malmsten, siendo tan efectivo como las drogas antifúngicas estándares (Sánchez Domínguez *et al.*, 2016). El ECFA (Extracto crudo de ajo) muestra un buen efecto antifúngico contra una gran variedad de especies de hongos, tales como *Aspergillus niger* Tiegh y *A. parasiticus*, dos hongos productores de micotoxinas: aflatoxinas y ocratoxinas respectivamente. Estas toxinas son causantes de enfermedades en seres humanos y animales, además de generar cuantiosas pérdidas económicas al contaminar cultivos (Juárez-Segovia *et al.*, 2019). Esto hace posible su aplicación en terapia médica y agricultura, además de que es económico, fácil de obtener y no provoca efectos secundarios en concentraciones adecuadas. No obstante, se requieren más estudios para su aplicación terapéutica (Moctezuma Zárate *et al.*, 2016). En cuanto a aplicaciones en agricultura y control biológico, Salas (2001) en su investigación acerca del potencial de un repelente formulado a base de ajo contra la mosca blanca *Bemisia tabaci* Gennadius, concluye que el producto actúa como disuasivo o supresor de la ovoposición. Los extractos de ajo presentan actividad repelente de insectos, en especial el extracto acuoso de ajo, con efectos tóxicos en huevos de *Aedes aegypti* L. (González Cuellar Taboada, 2019). Souza *et al.* (2007), demostraron que el extracto hidroalcohólico de ajo, a partir de la concentración al 2,5%, posee mayor eficiencia para inhibir el desarrollo de *Fusarium proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach & Nirenberg en

relación con otros tratamientos. Asimismo, se redujo la tasa de crecimiento micelial y la germinación de esporas, así como la incidencia del ataque fúngico en los granos. Además, se potenció el poder germinativo de semillas y también controló el marchitamiento y la pudrición del tallo de las plántulas de maíz. Los extractos acuosos e hidroalcohólicos de ajo, así como discos de ajo fresco, tienen un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de bacterias y hongos (Sousa Nascimento *et al.*, 2022). La actividad antimicrobiana del ajo fue corroborada por Gómez de Saravia *et al.* (2012) frente a cepas de bacterias tales como *Bacillus thuringiensis* Berliner, *Paenibacillus polymyxa* (Prazmowski) Ash *et al.* y el género *Streptomyces* Waksman & Henrici. y de hongos como *Aspergillus clavatus* Desm., *A. niger* y géneros *Penicillium* Link y *Fusarium* Link ex Grey, e infieren que se debe a la acción de la alicina y el ajoeno, que son sustancias que inhiben la actividad de las enzimas, tales como colinesterasa y ureasa. El mecanismo de acción antimicrobiana de extractos de ajo está también relacionado con una actividad inmunomoduladora por estimulación fagocitaria de macrófagos, estimulación linfocitaria e inhibición de la síntesis del ARN (González Cuellar Taboada, 2019). En este sentido, se ha probado el efecto antioxidante del extracto de ajo, en estudios *in vitro* realizados con células madre amnióticas humanas, donde se observó la disminución de la producción de radicales libres. De la misma manera, existen trabajos que mencionan que el ajo puede aumentar los niveles de glutatión (GSH) en las células y al mismo tiempo disminuye los niveles de la forma oxidada del glutatión (GSSG). Además, el ajo también aumenta la actividad de otra enzima antioxidante llamada superóxido dismutasa en las células (Ramírez Concepción *et al.*, 2016).

Por otra parte, Olivas Méndez *et al.* (2022) analizaron el potencial del aceite esencial de *Allium sativum*, como protector y conservante de productos cárneos, concluyendo que reduce la oxidación de lípidos sin afectar la composición química, el pH o el color de los alimentos. Además, se observó una reducción de bacterias, mohos y levaduras en los productos cárneos, en los que fue aplicado sólo o combinado con otros aceites esenciales.

Otros trabajos indican que el ajo en sus diversas formulaciones puede promover la normalización de los líquidos plasmáticos, frenar la peroxidación lipídica, estimular la actividad fibrinolítica, inhibir la agregación plaquetaria y reducir la tensión arterial

(García Gómez, 2000). Torres Palazzolo (2020) demostró que 2-vinilditiina, un agente bioactivo de las preparaciones de ajo, impacta positivamente en el funcionamiento de las células cardiovasculares. El aceite macerado con ajo demostró gran potencial como alimento funcional para el manejo integral de enfermedades cardiovasculares como la arterioesclerosis. Gómez Martínez (2010) investigó compuestos con propiedades antioxidantes como el extracto de ajo envejecido (EAE) y la S-alilcisteína (SAC), concluyendo que podrían regular la expresión de genes que codifican para proteínas con actividad antioxidante e inducen la expresión de los transportadores GLUT-1, GLUT-3 y GCLC en isquemia cerebral. El envejecimiento del extracto provoca que los componentes antioxidantes y organosulfurados como la S-alilcisteína (SAC) y la mercaptocisteína se concentren, siendo más estables y con mayor efecto antioxidante (Colin-González *et al.*, 2012). Katsuki *et al.* (2006) investigaron el efecto quimiopreventivo del extracto de ajo envejecido. Comprobaron que el S-alil cisteína se encuentra en mayor concentración. El estudio dio como resultado la inhibición de las células cancerígenas del colon mediante la inhibición de la mitosis de estas células (Ramírez Concepción *et al.*, 2016). Asimismo, se han constatado propiedades antioxidantes que podrían desempeñar un papel importante en los efectos protectores frente al estrés oxidativo en células y órganos en neuroprotección, hepatoprotección y cáncer (Gonzalez Cuellar Taboada, 2019). Finalmente, la inmunodetección con anticuerpos de origen humano demostró la existencia de receptores para los péptidos natriuréticos en plantas (PNPs) en ajo. En investigaciones realizadas por Valle Rodríguez *et al.* (2017), se identificó un fragmento de un gen que codifica para PNP en ajo. Los péptidos natriuréticos (PN) son hormonas de vertebrados involucradas en la regulación de la homeostasis de iones y agua en la célula. Los PNP tienen funciones similares a los PN, ya que median el transporte de iones a través de la célula.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos experimentalmente en investigaciones aplicadas a prevención y control fúngico, a partir de componentes aislados de los bulbos, zumo de bulbos, extracto crudo, extracto acuoso, extracto hidroalcohólico, extracto concentrado fresco, aceite esencial, alicina pura, ajoeno, extracto envejecido y forma liofilizada.

Tabla 1. Publicaciones electrónicas consultadas. Se detalla Publicación y Página Web.

Publicación	Página Web
Adirano-Anaya <i>et al.</i> (2018)	https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61257782002
Alayo Muñoz (2019)	http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/14690
Ameh <i>et al.</i> (2013)	https://doi.org/10.5897/AJB12.842
Block (1985)	https://doi.org/10.1038/scientificamerican0385-114
Colin-González <i>et al.</i> (2012)	https://doi.org/10.1155/2012/907162
Corrales Reyes & Reyes Pérez (2014)	https://www.medigraphic.com/pdfs/abril/abr-2014/abr14254h.pdf
Ganado Olmedo (2010)	https://eprints.ucm.es/id/eprint/4828/1/T25548.pdf
García Gómez (2000)	https://www.alanrevista.org/ediciones/2000/3/art-2/
Gómez de Saravia <i>et al.</i> (2012)	http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26893
Gómez Martínez (2010)	http://ri.uagro.mx/bitstream/handle/uagro/242/OK07285987_TM2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Gonzalez Cuellar Taboada (2019)	http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/MARIA%20DEL%20PILAR%20GONZALEZ-CUELLAR%20TABOADA.pdf
Gonzalez Chavarro <i>et al.</i> (2020)	https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11379
Harris <i>et al.</i> (2001)	https://doi.org/10.1007/s002530100722
Hosseini <i>et al.</i> (2020)	https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01855
Juárez-Segovia <i>et al.</i> (2019)	https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.8
Lanzotti <i>et al.</i> (2012)	https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.03.009
Ledezma & Apitz (1998)	-
Lemus <i>et al.</i> (2004)	http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562004000100006
Lizama Bizama (2018)	https://fdocuments.ec/document/quimiotaxonoma-de-amaryllidaceae-chilenas-alcaldoides-.html?page=1
Lora Cahuas <i>et al.</i> (2010)	https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ucv-scientia/article/view/877/844
Mestanza Carrasco <i>et al.</i> (2017)	https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3023
Moctezuma Zárate <i>et al.</i> (2016)	https://www.eumed.net/rev/tlatemoani/22/ajo.html
Munayco Pantoja (2011)	https://hdl.handle.net/20.500.12672/2829
Muy-Rangel <i>et al.</i> (2018)	https://doi.org/10.18781/R.Mex.Fit.1708-3
Nicolodi Camera <i>et al.</i> (2018)	https://dx.doi.org/10.20435/multi.v23i54.1723
Núñez-Torres <i>et al.</i> (2022)	https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2022.090100003
Oder Akullo <i>et al.</i> (2022)	https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10457
Olivas Méndez <i>et al.</i> (2022)	https://doi.org/10.3390/foods11142018
Oliveira <i>et al.</i> (2019)	https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.12.014
Portella <i>et al.</i> (2021)	https://doi.org/10.15536/thema.V19.2021.615-622.2367
Ramírez Concepción <i>et al.</i> (2016)	https://www.unsis.edu.mx/revista/doc/vol3num8/A4_Efectos_Terapeuticos_Ajo.pdf
Salas (2001)	-
Sánchez Domínguez <i>et al.</i> (2016)	https://revzoilomarinaldo.sld.cu/index.php/zmv/article/view/631/pdf
Sousa Nascimento <i>et al.</i> (2022)	https://doi.org/10.34117/bjdv8n2-331
Souza <i>et al.</i> (2007)	http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582007000600003
Torres Palazzolo (2020)	-
Valle Rodríguez <i>et al.</i> (2017)	http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol86/Valle-Rodriguez.pdf
Vélez-Terranova <i>et al.</i> (2014)	http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93935728004
Yassin <i>et al.</i> (2013)	-

Tabla 2. Compilación de resultados obtenidos experimentalmente en investigaciones aplicadas a prevención y control fúngico, a partir de componentes aislados en distintas formulaciones del ajo. Se detallan Procedimiento experimental, Resultados, Taxones afectados y Publicación.

Formulaciones	Procedimiento experimental	Resultados	Taxones afectados	Publicación
Bulbos	Resonancia magnética nuclear, espectrometría de masas y análisis químicos combinados.	Aislamiento de saponinas de bulbos de ajo y dos diglucósidos de eugenol.	<i>Botrytis cinerea</i> Pers. y <i>Trichoderma harzianum</i> Rifai.	Lanzotti <i>et al.</i> (2012)
Zumo de ajo	Evaluación del potencial del jugo de ajo para controlar hongos patógenos del sorgo <i>in vitro</i> .	<i>Aspergillus terreus</i> Thom fue el hongo más sensible, seguido de <i>Fusarium thapsinum</i> Klittich, J. F. Leslie, P. E. Nelson & Marasas y <i>Penicillium funiculosum</i> . Los aislados de <i>Penicillium</i> Link fueron los más sensibles a la concentración más baja de jugo de ajo. Se observa actividad antifúngica.	<i>Aspergillus</i> P. Micheli ex Haller, <i>Fusarium</i> Link y <i>Penicillium</i> Link.	Yassin <i>et al.</i> (2013)
	Experimentación <i>in vivo</i> : aplicado por vía externa a conejos.		<i>Microsporium canis</i> (E. Bodin) E. Bodin, <i>Rhodotorula</i> F. C. Harrison, <i>Torulopsis</i> Berl. y <i>Trichosporon</i> Behrend. <i>Saprolegnia</i> Nees	Harris <i>et al.</i> (2001)
Extracto crudo	Experimentación <i>in vivo</i> . Aplicación en los peces por vía externa	Se concluyó que el macerado fresco de ajo actúa como un antifúngico natural.		Núñez-Torres <i>et al.</i> (2022)
	Desarrollo <i>in vitro</i> de micelios con distintas diluciones de extracto crudo de ajo.	Inhibición del desarrollo micelial de los hongos en la dilución 1:32. Reducción significativa de la cantidad de esporas.	<i>Aspergillus parasiticus</i> Speare y <i>A. niger</i> Tiegh.	Juárez-Segovia <i>et al.</i> (2019)
Extracto acuoso	Análisis del efecto antimicótico <i>in vitro</i> utilizando diferentes concentraciones de extracto. Evaluación <i>in vitro</i> .	Se concluyó que el extracto acuoso de <i>Allium sativum</i> a dosis 28,3% y 56,6% tuvo efecto similar al medicamento estándar fluconazol. Acentuada acción antifúngica con un 100% de inhibición del crecimiento micelial.	<i>Epidermophyton floccosum</i> (Hartz) Langeron & Milloch. <i>Fusarium graminearum</i> Schwabe.	Alayo Muñoz (2019)
	Experimentación <i>in vitro</i> .	Alto mecanismo de acción antifúngica en los metabolitos del extracto acuoso del ajo.	<i>Candida albicans</i> (C. P. Robin) Berkhout	Nicolodi Camera <i>et al.</i> (2018)
			<i>Mestanza Carrasco & Vásquez Pachamango</i> (2017)	
Extracto hidroalcohólico	Aislamiento y cultivo de <i>M. fijiensis</i> en medios agar-dextrosa-papa (ADP) adicionados con diferentes concentraciones de los extractos etanólicos. Análisis <i>in vitro</i> de las propiedades fitoquímicas y antimicrobianas del extracto metanólico del bulbo de ajo.	Se observó sensibilidad a los componentes de los extractos etanólicos del ajo. Se observaron propiedades antibacterianas y antifúngicas.	<i>Mycosphaerella fijiensis</i> Morelet. <i>Candida</i> Berkhout	Adirano-Anaya <i>et al.</i> (2018)
				Ameh <i>et al.</i> (2013)

Formulaciones	Procedimiento experimental	Resultados	Taxones afectados	Publicación
Extracto hidroalcohólico	Se utilizó el método de difusión mediante discos: ciprofloxacino y el fluconazol como control positivo de las bacterias y hongo, respectivamente y el alcohol de 70° como control negativo. Experimentación <i>in vitro</i> .	El extracto hidroalcohólico de ajo presentó efecto antimicrobiano frente a la cepa ATCC de <i>Streptococcus mutans</i> Clarke, <i>Capnocytophaga sputigena</i> , y <i>Candida albicans</i> , a excepción de <i>Lactobacillus casei</i> (Orla-Jensen) Zheng et al. que presentó resistencia. Se observó inhibición parcial contra el "moho blanco", patógeno de cultivos agrícolas, especialmente soja.	<i>Capnocytophaga</i> (Leadbetter, Holt & Socransky), <i>Candida albicans</i> , <i>Streptococcus mutans</i> y <i>Lactobacillus casei</i> .	Munayco Pantoja et al. (2011)
Aceite esencial	Experimentación <i>in vitro</i> . Experimentación <i>in vitro</i> . Experimentación <i>in vitro</i> . Experimentación <i>in vitro</i> .	Inhibición del crecimiento micelial. En algunos casos, alteraciones morfológicas, colapso celular y pérdida de citoplasma. Inhibición del crecimiento micelial. En algunos casos, alteraciones morfológicas, colapso celular y pérdida de citoplasma. Capacidad antifúngica, inhibiendo la germinación de esporas, el crecimiento radial y la producción de biomasa. Susceptibilidad en todas las especies analizadas.	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary. <i>Rhizopus stolonifer</i> y <i>Colletotrichum nymphaeae</i> . <i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.) Vuill. y <i>Colletotrichum nymphaeae</i> (Pass.) Aa. <i>Alternaria tenuissima</i> (Kunze) Wiltshire.	Portella et al. (2021) Hosseini et al. (2020) Oliveira et al. (2019) Muy-Rangel et al. (2018)
Extracto concentrado fresco (ECFA)	Experimentación <i>in vitro</i> .	Susceptibilidad en todas las especies analizadas.	<i>Candida albicans</i> , <i>Coccidioides immitis</i> Rixford & Gilchrist, <i>Cryptococcus neoformans</i> (San Felice) Vuill., <i>Exophiala dermatitidis</i> (Kano) de Hoog, <i>Histoplasma capsulatum</i> Darling, <i>Paracoccidioides brasiliensis</i> (Splend.) F. P. Almeida, <i>Aspergillus</i> sp.	Moctezuma Zárate et al. (2016)
Alicina pura	Experimentación <i>in vitro</i> .	Frena el rendimiento de algunas enzimas importantes para el crecimiento y la actividad fúngica.	<i>Staphylococcus aureus</i> Rosenbach, <i>Escherichia coli</i> Escheirich, <i>Streptococcus Rosenbach</i> , <i>Candida albicans</i> .	Oder Akullo et al. (2022)
Ajoene	Revisión bibliográfica	Amplo potencial en el campo de la dermatología: cromomycosis y onicomycosis.	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Aspergillus niger</i> , entre otros. Numerosos géneros de bacterias y levaduras.	Sánchez Domínguez et al. (2016)
Extracto envejecido (AGE)	Revisión de experimentaciones <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> .	Amplo poder bactericida, fungicida y nematocida.	<i>Escherichia coli</i> , <i>Shigella Shigo</i> , <i>Proteus Hauser</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>Helicobacter pylori</i> (Marshall et al.) Goodwin et al., <i>Malassezia furfur</i> (C. P. Robin) Balli.	González-Cuellar Taboada (2019)
Forma liofilizada		Los resultados indicaron acción fungicida.	<i>Candida albicans</i> , <i>Trichophyton mentagrophytes</i> (C. P. Robin) R. Blanch., <i>T. Rubrum</i> (Castell.) Sabour. y <i>Microsporium canis</i> .	Lora Cahuas et al. (2010)

CONCLUSIONES

En las últimas décadas se han llevado a cabo numerosas investigaciones que confirman las propiedades fitoquímicas y farmacológicas del ajo, las cuales tienen gran potencial para un amplio espectro de usos en diferentes áreas: medicina, microbiología, farmacia, agricultura, control biológico, control bacteriológico y fúngico. En particular, el uso de fungicidas de síntesis química provoca consecuencias negativas a corto y a largo plazo, tanto en el desarrollo agronómico como en medicina, veterinaria y alimentación. Entre las consecuencias negativas de fungicidas sintéticos se destacan su toxicidad residual, contaminación ambiental del suelo, aire y agua (que conllevan a alteraciones ecosistémicas), efectos carcinógenos y resistencia por parte de los agentes contaminantes. Por este motivo, los resultados obtenidos en esta revisión resaltan las propiedades fitoquímicas y farmacológicas del ajo en sus diversas formulaciones, y lo convierten en una auspiciosa opción económica y sustentable para un amplio espectro de usos como agente natural antimicrobiano y antifúngico, y potencian sus aplicaciones como control biológico amigable con el medio ambiente.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todas las autoras han realizado conjuntamente y a partes iguales la revisión bibliográfica, su interpretación y redacción del manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

Al apoyo financiero concedido por la Universidad Nacional de La Plata a través del Proyecto de Incentivos a la Investigación (N11/897, FCNyM), al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. (CICPBA).

BIBLIOGRAFÍA

ADIRANO-ANAYA, M. L., J. MEJÍA-ORTIZ, I. OVANDO-MEDINA, V. ALBORES-FLORES &

M. SALVADOR-FIGUEROA. 2018. Efecto de extractos alcohólicos de ajo (*Allium sativum*) y clavo (*Syzygium aromaticum*) en el desarrollo de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. *R. Mex. Fitopatol.* 36: 379-393.

<https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1805-2>

ALAYO MUÑOZ, E. R. 2019. *Efecto antimicótico in vitro del extracto acuoso del bulbo de Allium sativum L. (ajo) sobre cepas de Epidermophyton floccosum*. Tesis de grado. Universidad Católica Los Ángeles Chimbote, Perú.

AMEH, G. I., S. C. EZE & F. U. OMEJE. 2013. Phytochemical screening and antimicrobial studies on the methanolic bulb extract of *Allium sativum* L. *Afr. J. Biotechnol.* 12: 1665-1668.

<https://doi.org/10.5897/AJB12.842>

ARIF, T., J. D. BHOSALE, N. KUMAR, T. K. MANDAL, ... & R. DABUR. 2009. Natural products-antifungal agents derived from plants. *J. Asian Nat. Prod. Res.* 11:621-38.

<https://doi.org/10.1080/10286020902942350> PMID:20183299

BLOCK, E. 1985. The chemistry of garlic and onions. *Sci Am.* 252: 114-119.

<https://doi.org/10.1038/scientificamerican0385-114>

COLÍN-GONZALEZ, A. L., R. A. SANTANA, C. A. SILVA-ISLAS, M. E. CHANEZ-CARDENAS, ... & P. D. MALDONADO. 2012. The Antioxidant mechanisms underlying the aged garlic extract and S-Allylcysteine-induced protection. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2012: 1-16.

<https://doi.org/10.1155/2012/907162>

CORRALES REYES, I. E. & J. J. REYES PÉREZ. 2014. Actividad antimicrobiana y antifúngica de *Allium sativum* en estomatología. *Rev. 16 de abril* 254: 59-68.

<https://www.medigraphic.com/pdfs/abril/abr-2014/abr14254h.pdf>

CHASE, M. W., J. L. REVEAL & M. F. FAY. 2009. A subfamilial classification for the expanded asparagalean families Amaryllidaceae, Asparagaceae and Xanthorrhoeaceae. *Bot. J. Linn. Soc.* 161: 132-136.

<https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00999.x>

DI SANTO, R. 2010. Natural products as antifungal agents against clinically relevant pathogens. *Nat. Prod. Rep.* 27: 1084-98.

<https://doi.org/10.1039/B914961A>

GANADO OLMEDO, P. 2001. Estudio de diferentes fracciones y extractos de *Allium sativum* sobre la reactividad vascular, niveles de colesterol y cultivos celulares. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. España.

- GARCÍA-GÓMEZ, L. J. & F. J. SÁNCHEZ-MUNIZ. 2000. Efectos cardiovasculares del ajo (*Allium sativum*). *ALAN* 50: 219-229. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2000/3/art-2/>
- GÓMEZ DE SARAIVA, S., S. BORREGO, P. LAVIN, O. VALDÉS, ... & P. GUIAMET. 2012. Productos ambientalmente amigables de origen vegetal empleados en el control de microorganismos intervinientes en el biodeterioro del Patrimonio Cultural. En: *Actas 7º Congreso del Medio Ambiente (AUGM)*, pp 1-24. Asociación de Universidades Grupo Montevideo, La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26893>
- GÓMEZ MARTÍNEZ, C. D. 2010. *El extracto de ajo envejecido y la S-alilcisteína inducen la expresión de los transportadores GLUT-1, GLUT-3 y GCLC en isquemia cerebral*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Guerrero, México.
- GONZÁLEZ-CHAVARRO, C. F., M. CABEZAS GUTIÉRREZ., V. C. PULIDO BLANCO & X. M. CELIS RUIZ. 2020. Amaryllidaceae: fuente potencial de alcaloides. *Actividades biológicas y farmacológicas. Ciencia y Agricultura* 17: 78-94. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11379>
- GONZÁLEZ-CUÉLLAR TABOADA, M. P. 2019. *Interés farmacológico y terapéutico del extracto de ajo envejecido (AGE)*. Trabajo fin de grado. Universidad Complutense de Madrid, España.
- HARRIS, J. C., S. COTTRELL, S. PLUMMER & D. LLOYD. 2001. Antimicrobial properties of *Allium sativum* (garlic). *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 57: 282-286. <https://doi.org/10.1007/s002530100722>
- HOSSEINI, S., J. AMINI, M. KOUSHESH SABA, K. KARIMI & I. PERTOT. 2020. Preharvest and postharvest application of garlic and rosemary essential oils for controlling anthracnose and quality assessment of strawberry fruit during cold storage. *Front. Microbiol.* 11: 1-15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01855>
- JUÁREZ-SEGOVIA, K. G., E. J. DÍAZ-DARCÍA, M. D. MÉNDEZ-LÓPEZ, M. S. PINA-CANSECO, ... & M. A. SÁNCHEZ-MEDINA. 2019. Efecto de extractos crudos de ajo (*Allium sativum*) sobre el desarrollo in vitro de *Aspergillus parasiticus* y *Aspergillus niger*. *Polibotánica* 47: 99-111. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.8>
- KATSUKI, T., K. HIRATA, H. ISHIKAWA, N. MATSUURA, S. SUMI & H. ITOH. 2006. Aged garlic extract has chemopreventative effects on 1,2-dimethylhydrazine-induced colon tumors in rats. *J. Nutr.* 136: 847S-851S. <https://doi.org/10.1093/jn/136.3.847S>
- LANZOTTI, V., E. BARILE, V. ANTIGNANI, G. BONANOMI & F. SCALA. 2012. Antifungal saponins from bulbs of garlic, *Allium sativum* L. var. Voghiera. *Phytochem.* 78: 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.03.009>
- LEDEZMA, E. & R. APITZ-CASTRO. 1998. Del folklore al mecanismo molecular: el ejemplo del ajoene. *Interciencia* 23: 227-231.
- LEMUS, D., M. T. MANISCALCHI, E. LEDEZMA, J. SÁNCHEZ, J. VIVAS & R. APITZ-CASTRO. 2004. Susceptibilidad in vitro al Ajoene de aislados de *Candida albicans*, *C. parapsilosis* y *C. krusei* obtenidos de pacientes con onicomicosis y su relación con el tratamiento tópico. *Rev. Soc. Ven. Microbiol.* 24: 1-2. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562004000100006
- LIZAMA BIZAMA, I. del R. 2017. *Quimiotaxonomía de Amaryllidaceae chilenas: alcaloides como marcadores taxonómicos*. Tesis Doctoral. Universidad de Concepción, Chile.
- LORA CAHUAS, C., M. LUJÁN VELÁSQUEZ, H. ROBLES CASTILLO, V. SARAIVA CUEVA & J. CABEZA RODRIGUEZ. 2010. Efecto in vitro de diferentes concentraciones de *Allium sativum* “ajo” frente a dermatofitos y *Candida albicans*. *UCV Scientia* 2: 23-33. <https://doi.org/10.18050/revucv-scientia.v2i2.877>
- MESTANZA CARRASCO, K. E. & E. J. M. VÁSQUEZ PACHAMANGO. 2018. *Efecto inhibitorio in vitro del extracto acuoso de Allium sativum L. (ajo) frente a cepas de Candida albicans resistente a la nistatina obtenidas del Hospital Regional Docente Las Mercedes, Lambayeque, marzo-septiembre 2017*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”, Perú.
- MOCTEZUMA ZÁRATE, M. de G., M. PEDRAZA RAMOS, J. F. CÁRDENAS GONZÁLEZ, V. M. MARTÍNEZ JUÁREZ & J. I. ACOSTA RODRÍGUEZ. 2016. Efecto del ajo (*Allium sativum*) sobre el crecimiento de algunas especies de hongos. *Tlatemoani Rev. Acad. Investig.* 22: 120-136.
- MUNAYCO PANTOJA, E. del R. 2011. *Efecto antimicrobiano del extracto hidroalcohólico de Allium sativum sobre cepas estándares de la cavidad bucal*. Tesis de grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- MUY-RANGEL, M. D., J. R. OSUNA-VALLE, R. S. GARCÍA-ESTRADA, C. SAN MARTÍN-

- HERNÁNDEZ & E. A. QUINTANA-OBREGÓN. 2018. Actividad antifúngica in vitro del aceite esencial de ajo (*Allium sativum* L.) contra *Alternaria tenuissima*. *Rev. Mex. Fitopatol.* 36: 162-171. <https://doi.org/10.18781/R.Mex.Fit.1708-3>
- NICOLODI CAMERA, J., J. KOEFENDER, Â. M. FERREIRA FERNANDES & E. M. WAGNER SODER. 2018. Atividade antifúngica de extratos aquosos de plantas medicinais no crescimento micelial de *Fusarium graminearum* Schwabe. *Multitemas* 23: 141-152. <http://dx.doi.org/10.20435/multi.v23i54.1723>
- NÚÑEZ-TORRES, O. P., J. C. PAREDES-SANDOVAL, J. R. ARTIEDA-ROJAS & M. S. MUÑOZ-ESPINOZA. 2022. Aprovechamiento del extracto crudo de ajo (*Allium sativum*) como alternativa en la prevención de saprolegniosis en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Selva Andina Anim. Sci.* 9: 3-14. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2022.090100003>
- ODER AKULLO, J., B. KIAGE, D. NAKIMBUGWE & J. KINYURU. 2022. Effect of aqueous and organic solvent extraction on *in-vitro* antimicrobial activity of two varieties of fresh ginger (*Zingiber officinale*) and garlic (*Allium sativum*). *Heliyon* 8: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10457>
- OLIVAS-MÉNDEZ, P., A. CHÁVEZ-MARTÍNEZ, E. SANTELLANO-ESTRADA, L. GUERRERO-ASOREY, ... & G. MÉNDEZ-ZAMORA. 2022. Antioxidant and antimicrobial activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) and garlic (*Allium sativum*) essential oils and chipotle pepper oleoresin (*Capsicum annum*) on beef hamburgers. *Foods* 11: 1-15. <https://doi.org/10.3390/foods11142018>
- OLIVEIRA, J., M. C. M. PARISI, J. C. BAGGIO, P. P. M. SILVA, B. PAVIANI, M. H. F. SPOTO & E. M. GLORIA. 2019. Control of *Rhizopus stolonifer* in strawberries by the combination of essential oil with carboxymethylcellulose. *Int. J. Food Microbiol.* 292: 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.12.014>
- PORTELLA, J., R. CORBELLINI ORLANDI, J. ALMEIDA, J. KOEFENDER, ... & J. NICOLODI CAMERA. 2021. Óleos essenciais no controle in vitro de *Sclerotinia sclerotiorum*. *Revista Thema* 19: 615-622. <http://dx.doi.org/10.15536/thema>
- RAMÍREZ-CONCEPCIÓN, H. R., L. N. CASTRO-VELAZCO & E. MARTÍNEZ-SANTIAGO. 2016. Efectos terapéuticos del ajo (*Allium sativum*). *Salud y Administración* 3: 39-47.
- SALAS, J. 2001. Eficacia de un repelente basado en ajo para la reducción poblacional de la mosca blanca *Bemisia tabaci*. *Agronomía Tropical* 51: 163-174.
- SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ, E. M., S. ROJAS PÉREZ & N. N. AGÜERO BATISTA. 2016. Investigaciones actuales del empleo de *Allium sativum* en medicina. *Revista Electrónica Dr. Zoilo E. Marinello Vidaurreta.* 41: 1-9.
- SOUZA, A. E. F., E. ARAUJO & L. C. NASCIMENTO. 2007. Atividade antifúngica de extratos de alho e capim-santo sobre o desenvolvimento de *Fusarium proliferatum* isolado de grãos de milho. *Fitopatologia Brasileira* 32: 465-471. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582007000600003>
- SOUSA NASCIMENTO, P. A., R. C. CARVALHO DE BRITO LISBOA, U. T. SILVA DE LIMA, M. J. RIBEIRO SAMPAIO SILVA, ... & C. A. DA SILVA GOUVEIA. 2022. Utilização do *Allium sativum* na atenção primária a saúde na perspectiva da comunidade. *Braz. J. of Dev.* 8: 13437-13453. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n2-331>
- STEVENS, P. F. 2001. *Angiosperm Phylogeny* Website. Version 14 [online]. Disponible en: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/> [Acceso 2 junio 2023].
- TORRES PALAZZOLO, C. A. 2020. *Bioaccesibilidad y bioactividad de los compuestos organoazufrados presentes en Allium sativum L. y sus preparaciones*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.
- VALLE-RODRÍGUEZ, C. M., S. VALDÉS-RODRÍGUEZ, N. L. VASCO-MÉNDEZ, C. GARCIDUEÑAS-PIÑA, ... & J. F. MORALES-DOMÍNGUEZ. 2017. Evidencias bioquímicas y moleculares de la presencia de un péptido natriurético de plantas en ajo (*Allium sativum* L.). *PHYTON* 86: 143-150.
- VÉLEZ-TERRANOVA, M., R. CAMPOS-GAONA & H. SÁNCHEZ-GUERRERO. 2014. Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la metanogénesis ruminal. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 17: 489- 499. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93935728004>
- YASSIN, M., M. MOSLEM, A. E. R. EL-SAMAWATY & M. ELSHIKH. 2013. Effectiveness of *Allium sativum* in controlling *Sorghum* grain molding fungi. *J. Pure Appl. Microbiol.* 7: 101-107.