

EXTRACTOS DE PLANTAS: UN COMPENDIO DE MOLECULAS PARA LA MEJORA DE LA AGRICULTURA DEL PRESENTE Y DEL FUTURO

PLANT EXTRACTS: A COMPENDIUM OF MOLECULES
FOR IMPROVING AGRICULTURE OF THE PRESENT
AND THE FUTURE

Miguel Ángel Medina-Morales¹
Miriam Desirée Dávila-Medina²
Alberto Flores-Olivas³
Marisol Cruz-Requena*³

¹ Departamento de Biotecnología, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. V. Carranza e Ing. José Cárdenas V. s/n. Col. República Ote, Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25280.

² Departamento de Bioprocesos y Bioquímica Microbiana, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. V. Carranza e Ing. José Cárdenas V. s/n. Col. República Ote, Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25280.

³ Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25315. Teléfono +52 8444110209.

*Autor de correspondencia: marisolcrequena@gmail.com;
miguel.medina@uadec.edu.mx;
desireedavila@uadec.edu.mx
aflooli50@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7142-6063>
<https://orcid.org/0000-0001-8897-0375>
<https://orcid.org/0000-0002-5641-4064>
<https://orcid.org/0000-0002-6146-6010>

Resumen

A lo largo del tiempo, las plantas han tenido un papel crucial en la evolución del ser humano debido a los múltiples usos que se les ha dado. Científicos de todo el mundo han evaluado el potencial de las plantas como biopesticidas debido a las diferentes moléculas que en ellas se encuentran. Tales como polifenoles o flavonoides, localizadas en una fracción que de estas plantas se obtiene, conocido como extracto vegetal, el mismo que ha demostrado un efecto antimicrobiano efectivo contra diversos microorganismos fitopatógenos que causan pérdidas significativas en diferentes cultivos. El uso de extractos vegetales como ingredientes en pesticidas contribuye con una agricultura más verde y sostenible, permitiendo que poco a poco se deje de lado los pesticidas químicos o sintéticos, productos que tienen efectos negativos para el ser humano y nuestro medioambiente. Diversas son las herramientas que se han desarrollado para el estudio y la aplicación de estos extractos vegetales, desde los métodos más básicos hasta la biotecnología o tecnologías emergentes como el ultrasonido o microondas. La suma de esfuerzos pasados, presentes y futuros nos da un indicio de que la agricultura va a tender a ser más verde y autosustentable, cuestión que favorece a todos por igual.

Palabras clave: Agricultura sostenible, biomoléculas, biotecnología, cultivos, fitopatógenos.

Abstract

Throughout time, plants have played an important role in human evolution due to the many uses that have been given to them. Scientists from all over the world have evaluated the potential of plants as biopesticides. This is due to the different molecules found in them, such as polyphenols or flavonoids. These are located in a fraction obtained from these plants known as plant extract, which has demonstrated an effective antimicrobial effect against various phytopathogenic microorganisms that cause significant losses in different crops. The use of plant extracts as ingredients in pesticides contributes to a greener and more sustainable agriculture, allowing chemical or synthetic pesticides to be gradually left aside, products that have negative effects on humans and the environment. Various tools have been developed for the study and application of these plant extracts, from the most basic methods to biotechnology or emerging technologies such as ultrasound and/or microwaves. The sum of past, present and future efforts gives us an indication that agriculture will tend to be greener and more self-sustaining, which benefits everyone equally.

Keywords: Sustainable agriculture, biomolecules, biotechnology, crops, phytopathogens.

Ocasionalmente, los precios de algunos productos del supermercado, como el limón o el chile serrano, aumentan. Esto puede deberse a diversos factores, como la falta de lluvias o enfermedades que afectan esos cultivos y reducen la producción, lo que provoca un aumento en los precios. Las plantas o cultivos son susceptibles, tal como los seres humanos, de verse amenazados por microorganismos patógenos. En el caso de plantas, fitopatógenos, los cuales pueden causar diversos daños en hojas, tallos, raíces y frutos. Esto a través de la alteración en el metabolismo celular de la planta por la secreción de enzimas, toxinas de estos microorganismos, o bien porque estos absorben nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento del cultivo, que en casos extremos puede ocasionar la muerte de dicha planta (Pontes et al., 2020).

A través del tiempo y desde que se instaló la agricultura como forma de vida, se han creado diversos métodos para contrarrestar los efectos de las enfermedades ocasionadas por un considerable número de bacterias, virus, hongos fitopatógenos, los mismos que atacan a diversos de los cultivos más esenciales de frutas y verduras y que impactan de diversas maneras a las poblaciones. Estos métodos han evolucionado con el tiempo, utilizando ampliamente los biopesticidas químicos en un principio hasta el desarrollo e implementación de biopesticidas formulados por una amplia gama de extractos vegetales, una opción más verde y amigable con el medioambiente.

De enfermedades y otros demonios

Al igual que en los seres humanos, diversos microorganismos son los causantes de enfermedades en las plantas, las cuales pueden derivar en síntomas pequeños como marchitamiento de hojas o pérdidas de frutos, pero que también pueden ocasionar la muerte de la planta y por ende

la cosecha completa. En este artículo nos centraremos en tres de estos microorganismos antagonistas de los cultivos; virus, bacterias y hongos fitopatógenos.

Virus fitopatógenos

Los virus hacen de las suyas en cultivos de trascendencia como los cítricos. Entre ellos tenemos a uno perteneciente al género *Clusterovirus* o comúnmente denominado el virus de la tristeza de los cítricos. Este virus provoca un decaimiento en la planta (de ahí su nombre), desarrollando agujeros en troncos y tallos y amarillamiento en sus hojas. La forma de contagio es a través de vectores que transportan este virus. Generalmente son insectos como pulgones, o bien, mediante los injertos. Estos son básicamente la incorporación de yemas a la planta con la finalidad de acelerar el crecimiento de la planta y consecuentemente de frutos (Figura 1) (Palacios et al., 2020).



Figura 1. Diagrama general de la forma de propagación del virus de la tristeza de los cítricos.

Pero no solo los cítricos son víctimas de los virus; larga es la lista de cultivos que sufren a causa de estos fitopatógenos. Un grupo muy susceptible son los frutos rojos. De los cuales se han reportado una amplia variedad de este tipo de patógenos emergentes. Entre las especies de virus se pueden mencionar las siguientes: Blueberry shock virus, Cherry leaf roll virus, Bluberry necrotic ring blotch, Bluberry scorch virus. Estos causan diversos daños a los cultivos, presentando diversos síntomas como marchitamiento total de las flores, necrosis del follaje joven o muerte del tallo, moteado clorótico, retraso del crecimiento e incluso muerte de la planta, entre otros síntomas y dependiendo del tipo de virus o cultivo del que se trate (Saad et al., 2021).

Mencionamos solamente algunos virus patógenos de cultivos comunes; sin embargo, debemos considerar que la lista de este tipo de patógenos es muy amplia, tanto en número como en síntomas y tipo de cultivo.

Bacterias fitopatógenas

Las bacterias también son otros de los microorganismos fitopatógenos causantes de enfermedades. Diversos géneros de este grupo de microorganismos han puesto a prueba la paciencia de agricultores, entre estas se pueden mencionar los géneros de Burkholderia, Acidovorax, Streptomyces, Xylella, Spiroplasma, Phytoplasma, Clavibacter, Xanthomonas, Erwinia, Pectobacterium, Pantoea, Agrobacterium, Pseudomonas y Ralstonia (Hernández, 2023). Citando un ejemplo de estas bacterias fitopatógenas encontramos a Erwinia amylovora, enemiga declarada de importantes cultivos como manzana, pera, moras y frambuesas, por mencionar algunas (Piqué et al., 2015) y cuyos síntomas son necrosis en flores, ramas, hojas y frutos, quedando al final un aspecto de “quemado”, característica que deriva en el nombre de fuego bacteriano a esta enfermedad (Zeng et al., 2021). Por su parte, Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis y C. michiganensis subsp. capsici son bacterias que causan “cáncer bacteriano” en tomate y pimientos,

respectivamente. En donde se pueden observar diferentes síntomas en frutos, hojas y tallos en forma de manchas, los cuales se marchitan, se vuelven blancos o marrones, debido a que el microorganismo ataca el tejido vascular y al tejido parenquimatoso de la planta, hasta tal grado que puede conducir a la muerte del cultivo (Figura 2) (Basma et al., 2024).



Figura 2. Planta de tomate infectada con *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. Foto tomada de <https://prod.senasica.gob.mx/ALERTAS/inicio/pages/single.php?noticia=14528>

Hongos fitopatógenos

Los hongos fitopatógenos también se pueden considerar dentro de los grupos más peligrosos para los cultivos. Entre algunos de los géneros fúngicos responsables de estos daños se pueden mencionar a *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinérea*, *Blumeria graminis*, *Mycosphaerella graminicola*, *Colletotrichum* spp., *Ustilago maydis* (Lucas-Bautista et al., 2022). *Fusarium oxysporum* es el responsable de marchitamiento en zarzamora y tomate (Corral Melgoza et al., 2024; Carmona et al., 2020), por su parte *Botrytis cinérea* uno de los hongos que ha sido muy estudiado debido a su alto grado de patogenicidad, ya que es necrotrófico y ataca tejido suave como frutas, vegetales y flores, la cual incluye a una larga lista de especies vegetales en donde podemos destacar a los cultivos de la fresa, tomate, cebolla, cítricos, entre otros (Bi et al., 2023).

Uno de los cultivos que son afectados por hongos fitopatógenos son los cítricos. Dentro de las principales enfermedades

que presentan los cítricos se encuentra la gomosis, que, como su nombre lo indica, es la formación de una sustancia gomosa en los tallos de la planta; además, causa clorosis, que es amarillamiento y posterior muerte de ramas y hojas, flores y frutos, y es generado por un hongo llamado *Phytophthora* spp. (Sáenz-Pérez et al., 2020).

Como se puede observar, las diferentes enfermedades causadas por estos fitopatógenos conllevan enormes pérdidas de los cultivos a los que afectan, lo que es negativo para este sector productivo y, por ende, para nosotros los consumidores. Y no es que los agricultores y productores se queden con los brazos cruzados al tener que enfrentar estas plagas. Siempre se ha contado con remedios para combatir estos contratiempos, los cuales han evolucionado a ser un poco más amigables con el medioambiente. Es en este rubro en el que las plantas toman protagonismo.

Plantas, más que verdor y oxígeno

A lo largo de la historia, las plantas han jugado un papel fundamental en el desarrollo y evolución del ser humano. En principio, porque son fuente de alimento, pero también debido a que han sido utilizadas para un sinnúmero de aplicaciones al utilizarlas como material para la construcción de casas, en ornamentación, como fuentes de fibras textiles, remedios para diferentes enfermedades, entre muchos otros usos (Palomo-Ligas et al., 2022). Por su parte, las plantas también han tenido su propia evolución a través del desarrollo de su capacidad de adaptarse y protegerse del medio en donde han crecido, muchas veces en condiciones adversas, ya sea por el déficit de agua o de algún nutriente, o bien para la defensa contra diversos depredadores. Estas adaptaciones las podemos traducir como la síntesis de diversas moléculas como polifenoles, flavonoides o ácidos fenólicos, las cuales han tomado relevancia en los últimos años debido a sus características bioactivas que han sido evaluadas en diferentes ámbitos como en la medicina, en la industria de los alimentos y en la agrícola (Stillier et al., 2021).

Hay una larga lista de plantas cuyas propiedades se han descrito y probado a través del tiempo. En el desierto chihuahuense existe una planta llamada gobernadora (*Larrea tridentata*) (Figura 3), popular entre los habitantes de dicha región por sus diferentes usos, pero también de gran interés para la ciencia y la agricultura como fuente de moléculas como polifenoles, terpenos, alcaloides y saponinas que actúan contra fitopatógenos de interés como *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp (López-Romero et al., 2023).



Figura 3. Algunas plantas que son ricas en compuestos bioactivos. a) Hojasen (*Flourensia cernua*); b) Gobernadora (*Larrea tridentata*), fotografía obtenida del portal de imágenes de la Universidad Autónoma de Coahuila <http://www.uadec.mx/gobernadora/>

Colletotrichum gloeosporioides, hongo que ataca a la papaya, entre otros cultivos, ha sido evaluado en cuanto a la inhibición en crecimiento en pruebas in vitro contra extractos vegetales; estas plantas fueron la pulpa del arrayán (*Psidium sartorianum*), hojas de *Echeveria kimnachii*, y la pulpa del árbol capulincillo (*Vitex mollis*), encontrando resultados positivos y gran efectividad en la inhibición del crecimiento de este fitopatógeno (López-Velázquez et al., 2021). Aceites esenciales de plantas como tomillo y romero también han sido probados contra hongos fitopatógenos como *Fusarium* spp. y *Alternaria* spp, observando la inhibición en el crecimiento de dichos hongos en pruebas in vitro (Flores-Chacón y Mojica Flórez, 2019). Pero *Alternaria alternata* no solo es proclive a ser inhibido por aceites esenciales; también lo puede hacer poniéndose a prueba con extractos vegetales obtenidos de *Flourensia cernua* o más conocida como hojasen (Figuras 3 y 4).

Y así se pueden mencionar un sinnúmero de otras plantas y sus extractos que han demostrado efectividad contra este tipo de microorganismos, esto gracias a sus mejores armas, los compuestos bioactivos.

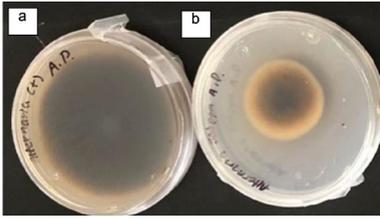


Figura 4. Bioensayo de extracto vegetal obtenido de la planta hojasesn (*Flourensia cernua*) contra el hongo fitopatógeno *Alternaria alternata*: a) Medio de cultivo PDA con el hongo fitopatógeno (control); b) Medio de cultivo PDA con extracto de hojasesn 500 ppm. Se puede observar el efecto del extracto en el retraso en el crecimiento del hongo.

Compuestos bioactivos de plantas, moléculas que combaten fitopatógenos

Pero empecemos por definir compuesto bioactivo; esta es una molécula que brinda un efecto positivo o negativo en un organismo. Es decir, estas moléculas tienen la capacidad de beneficiar a un organismo a través de sus características químicas. Por ejemplo, un polifenol que, gracias a su poder antioxidante, combate los radicales libres generados en las células. Esto evita daño celular que potencialmente podría encaminarse a un cáncer (Mora Loo et al., 2022). Otro aspecto llamativo que se ha descrito sobre este tipo de moléculas es su efecto sobre la inhibición del crecimiento sobre microorganismos patógenos para plantas o fitopatógenos, abriendo la posibilidad de poco a poco descartar el uso de productos comerciales sintéticos como los agroquímicos que tienen efectos negativos en el campo (Kursa et al., 2022).

Los compuestos bioactivos, tales como los polifenoles y terpenos, han sido ampliamente estudiados y se ha descubierto que tienen un potencial enorme en el área de la agricultura, puesto que varios de ellos presentan actividad antimicrobiana, es decir, que pueden atacar diversos microorganismos fitopatógenos (Choudhary et al., 2021). Esto tiene una importancia enorme, puesto que en la

actualidad se están buscando alternativas amigables con el medioambiente, ya que las alternativas actuales y más usadas representan un riesgo para la salud humana y del medioambiente.

Son muchas las moléculas bioactivas que han sido evaluadas, citaremos algunos ejemplos. Como tal, ninguna molécula actúa por sí sola, más bien actúan en conjunto y están presentes en los diferentes extractos vegetales, que en términos prácticos es la porción de la planta que contiene estas moléculas bioactivas, algo así como el concentrado. Este extracto es puesto a prueba contra los fitopatógenos en condiciones de laboratorio o invernadero para probar su efectividad. A la par, se hace una cuantificación sobre qué moléculas están en este extracto. Algunos ejemplos de compuestos que han mostrado un gran efecto antimicrobiano son las quercetinas, catequinas, antocianinas, flavones, ácido elágico, ácidos hidroxicinámicos, curcuminoides, tirosol, dihidrocalconas y ácido gálico, entre otros (Figura 5) (Rosas Jauregui et al., 2021).

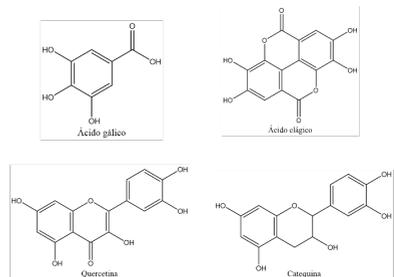


Figura 5. Algunas moléculas bioactivas encontradas en diferentes extractos vegetales con actividad antimicrobiana.

Futuro de la agricultura y el combate de fitopatógenos

En cualquier ámbito de hoy en día se buscan soluciones más amigables con el medioambiente y cuya obtención vaya de la mano con tecnologías emergentes. La forma de obtención de extractos vegeta-

les ha ido evolucionando con el tiempo, desde metodologías rudimentarias en donde se utilizan solventes orgánicos y equipos como el Soxhlet, hasta el uso de metodologías como el ultrasonido y microondas; así como también se ha hecho uso de la biotecnología.

Una de las características que destaca en el uso de la biotecnología aplicada a extractos vegetales es que, a través de la fermentación de los mismos, aumenta la biodisponibilidad de diversas moléculas. Los compuestos bioactivos presentes naturalmente en las plantas generalmente se encuentran en forma ligada y menos biodisponibles que la forma libre. La fermentación es un bioproceso o método en donde los microorganismos son capaces de modificar los constituyentes de las plantas mediante la liberación de los enlaces químicos. Por lo tanto, tras este proceso los componentes quedan libres y de esta forma más disponibles para ser aprovechados (Yeo y Ewe, 2015). Y es aquí en donde microorganismos tales como *Aspergillus niger* y *Aspergillus awamori* han sido probados para llevar a cabo dicha tarea, brindando resultados positivos y una mejora en la bioactividad de los extractos de diferentes plantas, mejorando así las diversas características antioxidantes y antimicrobianas de los extractos y, por ende, su potencial uso como ingrediente en las formulaciones de biopesticidas (Zhao et al., 2021).

Géneros fúngicos como *Trichoderma*, *Penicillium* y *Aspergillus* son conocidos como agentes de control biológico debido

a su capacidad de contrarrestar fitopatógenos de forma directa y además son incluidos en productos comerciales biopesticidas, gracias a la protección que ejercen al cultivo, promoviendo que cada vez se utilicen menos agentes químicos en dichas formulaciones (García-Latorre et al., 2022). Pero no solo los hongos se pueden considerar como agentes de control biológico; también se incluye en esta selecta lista a bacterias, virus, nematodos e insectos, los cuales pueden trabajar incluso en conjunto para mejores resultados, ya que actúan como lo hace la microbiota del intestino del ser humano, protegiendo contra microorganismos patógenos, produciendo metabolitos benéficos y poblando la rizosfera, evitando de esta manera el crecimiento y la proliferación de fitopatógenos (Niu et al., 2020).

Conclusiones

Es evidente que los esfuerzos a lo largo del tiempo por encontrar alternativas ecológicas para su uso en la agricultura, basados en extractos de plantas como ingrediente principal y útil en las fórmulas de los nuevos biopesticidas, contribuyen a lograr una agricultura más sostenible. Esta tendencia solamente es el inicio de este camino que los científicos y agricultores van creando y en el cual se estará trabajando para tener una agricultura más verde, eficaz y autosostenible, la misma que beneficiaría al campo y a los consumidores alrededor de nuestro planeta.

Declaración de privacidad

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, se pueden compartir a solicitud directa con el autor de correspondencia.

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Conflicto de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés.

Agradecimientos

Se agradece al CONACYT por el apoyo otorgado para la realización de la estancia posdoctoral dentro del programa Estancias Posdoctorales por México, a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y a la Universidad Autónoma de Coahuila.

Referencias

- Bi, K., Liang, Y., Mengiste, T., & Sharon, A. (2023). Killing softly: a roadmap of *Botrytis cinerea* pathogenicity. *Trends in Plant Science*, 28(2), 211-222. [10.1016/j.tplants.2022.08.024](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.08.024)
- Carmona, S. L., Villarreal-Navarrete, A., Burbano-David, D., & Soto-Suárez, M. (2020). Cambios fisiológicos y mecanismos genéticos asociados a la marchitez vascular causada por *Fusarium* en tomate: una revisión actualizada. *Temas Agrarios*, 25(2), 166-189. <https://doi.org/10.21897/rta.v25i2.2457>
- Choudhary, P., Aggarwal, P.R., Rana, S., Nagarathnam, R., & Muthamilarasan, M. (2021). Molecular and metabolomic interventions for identifying potential bioactive molecules to mitigate diseases and their impacts on crop plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 114, 101624. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101624>
- Corral Melgoza, J.J., García-Saucedo, P.A., Aguirre-Paleo, S., Vargas-Sandoval, M., Guzmán-de Casa, A., & Ávila-Val, T.C. (2024). Microorganismos Antagonistas Como Manejo Del Marchitamiento De La Zarzamora Por *Fusarium Oxysporum*. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 15 (3). ME:e3655. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i3.3655>.
- Flórez Chacón, C., & Mojica Flórez, J. (2019). Determinación de la composición química de los aceites esenciales de Tomillo (*Thymus vulgaris*) y Romero (*Rosmarinus officinalis*) y su posible uso como antifúngico contra microorganismos fitopatógenos en productos agrícolas. Pregrado. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.
- Hernández, Y. (2023). Bacterias causantes de enfermedades en cultivos de interés agrícola en Venezuela. *Revista De La Facultad De Agronomía*, 1(76), 133. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/25605
- Kursa, W., Jamiołkowska, A., Skwaryło-Bednarz, B., Kowalski, R., Wrostek, J., Patkowska, E., & Kopacki, M. (2022). In vitro efficacy of herbal plant extracts on some phytopathogenic fungi. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 21(6), 79–90. <https://doi.org/10.24326/asphc.2022.6.7>
- López-Romero, J.C., Torres-Moreno, H., Rodríguez-Martínez, K.L., del Carmen Suárez-García, A., Beltrán-Martínez, M.E., & García-Dávila, J. (2023). Larrea Tridentate: Bioactive Compounds, Biological Activities and Its Potential Use in Phytopharmaceuticals Improvement. In *Aromatic and Medicinal Plants of Drylands and Deserts: Ecology, Ethnobiology and Potential Uses* (pp. 231-268). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003251255-11>
- López-Velázquez, J.G., Delgado-Vargas, F., Ayón-Reyna, L.E., López-Angulo, G., Bautista-Baños, S., Uriarte-Gastelum, Y.G., López-

López, M.E., & Vega-García, M. O. (2021). Postharvest application of partitioned plant extracts from Sinaloa, Mexico for controlling papaya pathogenic fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. *Journal of Plant Pathology*, 103(3), 831–842. 10.1007/s42161-021-00838-w

Lucas-Bautista, J.A., Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R.I., & Hernández-López, Mónica. (2022). Quitinasas en plantas y posible uso como biomarcadores para el diseño de biosensores en la detección de hongos fitopatógenos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(4), 701-713. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2717>

Mora Looor, J.L., Cabrera Casillas, D.O., Alarcón Mite, A.I., & García Larreta, F.S. (2022). Estudio comparativo de polifenoles o fenoles totales y actividad antioxidante de la cascara citrus sínensis. *RECIAMUC*, 6(3), 459-469. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(3\).julio.2022.459-469](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(3).julio.2022.459-469)

Niu, B., Wang, W., Yuan, Z., Sederoff, R.R., Sederoff, H., Chiang, V.L. & Borriss, R. (2020) Microbial Interactions Within Multiple-Strain Biological Control Agents Impact Soil-Borne Plant Disease. *Frontiers in Microbiology*, 11:585404. 10.3389/fmicb.2020.585404

Omran, B.A., Rabbee, M.F., & Baek, K.H. (2024) Biologically inspired nanoformulations for the control of bacterial canker pathogens *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* and subsp. *capsici*, *Journal of Biotechnology*, 392, 34-47. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2024.06.017>

Palacios, M.F., Figueroa, J., Foguet, L., Villafañe, L., & Stein, B. (2020). Estudio de la población del virus de la tristeza de los cítricos en cultivares de limoneros injertados en naranjo agrio y *Citrus macrophylla*. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 97(1), 27-33. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182020000100004&lng=es&tlng=es.

Palomo-Ligas, L., Nery-Flores, S.D., García-Ortíz, J.D., Pérez-Juárez, C.M., Ascacio-Valdes, J.A., Flores-Gallegos, A.C., Rodríguez-Herrera, R., & Cruz-Requena, M. (2022). Molecular effects of bioactive compounds from semi desert plant and their use as potential ingredient in food products. En *Functional Foods and Molecular Mechanisms: Frontier Between Health and Disease*. (pp 142-192). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119804055.ch6>

Piqué, N., Miñana-Galbis, D., Merino, S., & Tomás J.M. (2015). Virulence Factors of *Erwinia amylovora*: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(6):12836-12854. <https://doi.org/10.3390/ijms160612836>

Pontes, J.G.M., Fernandes, L.S., dos Santos, R.V., Tasic, L., & Fill, T. (2020). Virulence Factors in the Phytopathogen-Host Interactions: An Overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(29), 7555-7570. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02389>

Rodrigo S., García-Latorre C, Santamaria O. (2022). Metabolites Produced by Fungi against Fungal Phytopathogens: Review,

Implementation and Perspectives. *Plants*. 11(1):81. <https://doi.org/10.3390/plants11010081>

- Rosas Jauregui, I.A., Hernández Castillo, F.D., Palomo Ligas, L., Martínez Alemán, S.R., Ascacio Valdés, J.A., & Rodríguez Herrera, R. (2021). Polyphenols from different plant sources and their in vitro effect against chickpea pathogens. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(8), 1415-1427. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2742>
- Saad N., Olmstead, J.W., Jones, J.B., Varsani, A., & Harmon, P.F. (2021). Known and New Emerging Viruses Infecting Blueberry. *Plants*, 10(10), 2172. <https://doi.org/10.3390/plants10102172>
- Sáenz Pérez, C.A., Osorio-Hernández, E., Estrada Drouaillet, B., Poot Poot, W.A., Delgado Martínez, R., & Rodríguez-Herrera, R. (2019). Principales enfermedades en cítricos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1653-1665. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1827>
- Stiller, A., Garrison, K., Gurdyumov, K., Kenner, J., Yasmin, F., Yates, P., & Song, B.H. (2021). From Fighting Critters to Saving Lives: Polyphenols in Plant Defense and Human Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 8995. <https://doi.org/10.3390/ijms22168995>
- Yeo, S.K., & Ewe, J.A. (2015). Effect of fermentation on the phytochemical contents and antioxidant properties of plant foods. *En Advances in Fermented Foods and Beverages*, (pp 107-122). Science Direct. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-015-6.00005-0>
- Zeng, Q., Puławska, J., & Schachterle, J. (2021). Early events in fire blight infection and pathogenesis of *Erwinia amylovora*. *Journal of Plant Pathology*, 103 (Suppl 1), 13–24. <https://doi.org/10.1007/s42161-020-00675-3>
- Zhao, Y.S., Eweys, A.S., Zhang, J.Y., Zhu, Y., Bai, J., Darwesh, O.M., Zhang, H.B., & Xiao, X. (2021). Fermentation Affects the Antioxidant Activity of Plant-Based Food Material through the Release and Production of Bioactive Components. *Antioxidants*, 10(12), 2004. <https://doi.org/10.3390/antiox10122004>