

Recepción: 27.10.2025

Revisión: 05.11.2025

Publicación: 15.01.2026

<https://orcid.org/0000-0002-9430-1503>

<https://orcid.org/0000-0002-9501-2017>

<https://orcid.org/0009-0004-7888-9839>

<https://orcid.org/0009-0007-5567-452X>

<https://orcid.org/0000-0002-5742-7772>

<https://orcid.org/0000-0001-7917-3075>

<https://orcid.org/0009-0005-5528-0091>

PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y ANTIMICROBIANAS DE LA FORSITIA: UNA ALTERNATIVA PROMETEDORA EN LA BÚSQUEDA DE TRATAMIENTOS NATURALES Y SEGUROS

ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF FORSYTHIA: A PROMISING ALTERNATIVE IN THE SEARCH FOR NATURAL AND SAFE TREATMENTS

* Arnulfo Villanueva Castillo^{1,2}
César Feliciano Pastelín-Rojas^{1,2}
Ruby Sandy Moreno-Mejía¹
Fabiola Rodríguez-Andrade¹
Carlos Gerardo Castillo-Sosa¹
Hermilo Lucio-Castillo³
Raziel Guillermo Luna-Torres¹

¹Facultad de Medicina Veterinaria y
Zootecnia de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

²Cuerpo Académico de Enfermedades Emergentes,
Bioinformática y Dinámica Molecular.

³Unidad Académica Multidisciplinaria Mante
de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Correos:

arnulfo.villanueva@correo.buap.mx

cesar.pastelin@correo.buap.mx

ruby.moreno@correo.buap.mx

fabiola.rodriguez@correo.buap.mx

carlos.castillo@correo.buap.mx

helucio@docentes.uat.edu.mx

razi.chivaso6@gmail.com

Resumen

La forsitia (*Forsythia virissima*) es una planta originaria de China que ha sido objeto de interés científico debido a sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas, así como a compuestos como el ácido cafeico y el ácido clorogénico, que le confieren actividad medicinal y son necesarios para prevenir el daño celular causado por los radicales libres. El estudio de esta planta puede contribuir al desarrollo de nuevos fármacos y terapias basadas en productos naturales, lo que representa una alternativa interesante para la búsqueda de opciones terapéuticas más seguras.

Palabras clave: forsitia, antioxidante, antimicrobiano, tratamiento natural.

Abstract

Forsythia (*Forsythia virissima*) is a plant native to China that has attracted scientific interest for its antioxidant and antimicrobial properties, attributed to compounds such as caffeic and chlorogenic acids, which confer medicinal activity and help prevent damage to cells caused by free radicals. The study of this plant can inform the development of new drugs and therapies based on natural products, offering an interesting alternative in the search for safer therapeutic options.

Keywords: forsythia, antioxidant, antimicrobial, natural treatment.

Introducción

Las plantas medicinales han sido utilizadas desde tiempos ancestrales para tratar diversas afecciones. Entre ellas, la forsitia, una planta originaria de China, ha sido objeto de interés científico por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. La forsitia contiene compuestos como ácido cafeico y ácido clorogénico (Nishibe et al., 1982), que le confieren una actividad antioxidante, previniendo el daño celular causado por los radicales libres.

Además, estudios han demostrado que la planta presenta actividad antimicrobiana frente a diversos microorganismos patógenos, lo que sugiere su potencial uso como agente terapéutico en infecciones (Qu et al., 2010). El uso de plantas medicinales, como la forsitia, representa una alternativa prometedora para la búsqueda de tratamientos naturales y seguros contra diversas enfermedades.

Forsythia ha sido reconocida por su capacidad para tratar enfermedades como *Escherichia coli*, *Pseudomonas* y *Staphylococcus aureus*, así como procesos inflamatorios, fiebre y heridas, entre otros padecimientos (Burt, 2004; Wang et al., 2018).

En estudios recientes, se han aislado dos compuestos de esta planta, forsythiazide y forsythin, y se ha investigado su actividad antioxidante y antibacteriana. Además, la resistencia a los antibióticos es un problema cada vez más preocupante para los profesionales de la salud, lo que ha llevado a la búsqueda de alternativas naturales a los antibióticos sintéticos convencionales (Qu et al., 2010).

En este contexto, la búsqueda sistemática de la actividad biológica beneficiosa de las plantas medicinales se ha convertido en un enfoque razonable en la investigación sobre nutraceuticos y fármacos. Sin embargo, aunque se estima que hay entre 300 000 y 400 000 especies de árboles en la Tierra, solo se ha investigado una pequeña parte de su fitoquímica y de su función biológica (Kitani et al., 2006).

Por lo tanto, la identificación y evaluación de nuevas plantas con propiedades beneficiosas para la salud, como la forsitia, puede ser un área de investigación prometedora para desarrollar nuevos agentes terapéuticos y nutraceuticos.



https://mx.images.search.yahoo.com/search/images;_ylt=AwrO7i87u1ppk00Bbm3D8Qt.;_ylu=Y29sbwNncTEEcG9zAzEEEd-nRpZAMEc2VjA3BpdnM-?p=Forsythia&fr2=piv-web&type=E210MX91215G0&fr=mcafee#id=1&iurl=https%3A%2F%2Fwww.jardineriaon.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F02%2Fforythia.jpg&action=click

Actividad antioxidante y radicales libres

La teoría de los radicales libres sobre el envejecimiento y los trastornos relacionados con la edad se propuso hace casi medio siglo y ha sido objeto de debate cada vez más en los últimos años. Los nutraceuticos pueden prevenir el desarrollo de muchos trastornos relacionados con la edad, como el cáncer, trastornos cardiovasculares, como la arteriosclerosis y la hipertensión, y posiblemente algunos trastornos degenerativos, enfermedades neurológicas, como la enfermedad de Parkinson y la enfermedad de Alzheimer. Un informe reciente proporciona evidencia adicional de que el consumo de frutas y verduras, como la espinaca y los arándanos, que contienen potentes micronutrientes antioxidantes, puede prevenir y/o revertir la disminución de la función cerebral relacionada con la edad, incluida la función motora e incluso la cognitiva, como la memoria, en ratones envejecidos (Kitani et al., 2006).

El consumo de frutas y verduras se asocia con una menor incidencia y mortalidad por cáncer en múltiples estudios de casos y controles de cohortes humanas en todos los sitios comunes de cáncer. Los efectos anticancerígenos de las verduras también se han observado en experimentos *in vitro*.

La protección de las frutas y verduras contra enfermedades, como el cáncer, las enfermedades cardíacas y cerebrovasculares, se debe a la presencia de varios tipos de antioxidantes en estas frutas y verduras, especialmente vitaminas antioxidantes, como el ácido ascórbico y el R-tocoferol. Sin embargo, la mayor parte de la actividad antioxidante de las frutas o verduras puede atribuirse a sustancias químicas distintas de la vitamina C, la vitamina E o el β -caroteno. Por ejemplo, algunos flavonoides presentes en los alimentos que consumimos tienen actividad antioxidante. También se ha encontrado que los flavonoides tienen un fuerte efecto antioxidante contra los radicales piróxilos como lo hacen la vitamina E, la vitamina C y el glutatión (Cao et al., 1996; Lourenço et al., 2019; Salehi et al., 2018).

No se puede hablar de los antioxidantes sin antes hablar del estrés oxidativo. Es un proceso fisiopatológico que ocurre cuando hay una acumulación excesiva de radicales oxidativos, incluidas especies reactivas de oxígeno (ROS) y especies reactivas de nitrógeno (RNS), que pueden causar daño a diversas macromoléculas biológicas, como el ADN, los lípidos de la membrana celular y las proteínas. Este proceso ha sido asociado con varias enfermedades crónicas relacionadas con el envejecimiento, tales como el cáncer, la arteriosclerosis, la artritis y los trastornos neurodegenerativos. No obstante, el organismo cuenta con un sistema antioxidante que puede eliminar el exceso de radicales oxidativos, el cual incluye componentes no enzimáticos como el glutatión (GSH), el selenio y las vitaminas C y E, así como enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD) y la glutatión peroxidasa (GSH-Px). Para evaluar el daño mediado por ROS, se utiliza comúnmente el grado de peroxidación lipídica, y la concentración de malondialdehído (MDA) se emplea como biomarcador. En estudios, se ha utilizado el dicuat (dibromuro de 1,1'-etileno-2,2'-dipiridilio) como inductor de estrés oxidativo y se ha investigado el efecto antioxidante de la *Forsythia suspensa* como alternativa natural para mantener un estado oxidativo adecuado. El equilibrio entre la producción de radicales oxidativos y el sistema antioxidante es fundamental para mantener la homeostasis oxidativa y prevenir el daño celular y la enfermedad neuronal (Yousef et al., 2009). En el metabolismo de organismos aeróbicos, el oxígeno es esencial, pero puede causar reacciones adversas; las especies reactivas de oxígeno (ROS) son subproductos de la producción normal de energía celular y de actividades funcionales y desempeñan un papel importante en la señalización celular, la apoptosis, la expresión génica y el transporte de iones. Sin embargo, un aumento brusco en los niveles de ROS puede dañar moléculas clave, como proteínas, lípidos, ARN y ADN. La producción de ROS puede deberse a factores ambientales, como la radiación solar, la exposición al ozono y la contaminación por pesticidas y productos

químicos industriales. Durante mucho tiempo se pensó que el estrés oxidativo aumentaba el riesgo de varias enfermedades, como el cáncer, la diabetes, la esclerosis, la artritis, las enfermedades neurodegenerativas y el envejecimiento prematuro. Los antioxidantes pueden proteger las células mediante varios mecanismos, como la conversión de ROS en especies de radicales libres, la interrupción de la reacción en cadena de oxígeno iniciada por ROS, la autofagia y la reducción de los niveles locales de oxígeno. El consumo de antioxidantes puede apoyar los efectos de la defensa antioxidante. Existe un interés creciente en estudiar el papel de los diferentes tipos de reacción del oxígeno y los antioxidantes pueden proteger contra los efectos dañinos de las ROS (Lourenço et al., 2019).

Las especies reactivas de oxígeno (ROS) se producen como subproductos de reacciones biológicas o de factores exógenos (Halliwell, 2007) y están compuestas por radicales superóxido, radicales hidroxilo, oxígeno libre y peróxido de hidrógeno (Jamshidi-Kia et al., 2020). Aunque algunas ROS pueden tener funciones activas en el organismo, como la producción de energía, la fagocitosis, la regulación del crecimiento celular y la señalización intercelular, también pueden ser perjudiciales. Estos agentes pueden atacar los lípidos de la membrana celular y el ADN, provocando procesos de oxidación que dañan la membrana y causando mutaciones en el ADN que pueden llevar al cáncer.

Por lo tanto, se ha buscado una intervención preventiva contra enfermedades relacionadas con los radicales libres. Se ha demostrado que varios productos vegetales, como los compuestos polifenólicos (por ejemplo, flavonoides y taninos) y los extractos de plantas o hierbas, poseen efectos antioxidantes y podrían ser potentes supresores de las ROS. Las investigaciones han mostrado que estas sustancias pueden prevenir la peroxidación de los lípidos de membrana y reducir la fluidez de la membrana, lo que ayuda a proteger la estructura de las células. Además, estos compuestos tienen el potencial de prevenir o

tratar enfermedades asociadas al estrés oxidativo, como el cáncer y otras enfermedades relacionadas con la edad (Chang et al., 2001).

El interés en los antioxidantes ha aumentado debido a su capacidad para proteger los alimentos y los productos farmacéuticos contra la degradación oxidativa, así como al cuerpo contra el estrés oxidativo. Para evaluar la actividad antioxidante de compuestos derivados de plantas (Popova et al., 2004) y otros productos, se requieren enfoques que aborden el mecanismo de acción antioxidante y se centren en la cinética de las reacciones involucradas. Se han llevado a cabo numerosos estudios para evaluar la actividad antioxidante de diferentes muestras de interés mediante diversos métodos en el ámbito de la alimentación y la salud humana. Los métodos basados en la autooxidación inhibida son más adecuados para los antioxidantes que mejoran la terminación y los que rompen cadenas, mientras que se requieren otros estudios específicos para los antioxidantes preventivos. Además, se revisaron los métodos más utilizados para la determinación *in vitro* de la capacidad antioxidante de los ingredientes alimentarios. Se discutieron sus ventajas, desventajas, limitaciones y su utilidad para moléculas puras y extractos crudos. También se discutieron el efecto y la influencia del medio de reacción sobre el rendimiento antioxidante. Por lo tanto, esta revisión proporciona la base y la justificación para el desarrollo de métodos antioxidantes estandarizados para las industrias de alimentos, nutracéuticos y suplementos dietéticos. Además, se discutieron y evaluaron seriamente los principios químicos de varios métodos antioxidantes, incluidos ABTS+, DPPH, FRAP, Cuprac, FCR, ROO-, O2-, H2O2, OH, 1O2 y NO-. También se discutieron los aspectos antioxidantes generales de los principales ingredientes alimentarios mediante varios métodos.

Debido a la información anterior, se observó que las investigaciones se deben a dos vertientes o secciones; la primera sección está dedicada a los ingredientes clave en aplicaciones alimentarias y farmacéuticas, y la segunda sección general

incluye varias definiciones de los principales métodos antioxidantes comúnmente utilizados para determinar la actividad antioxidante de los ingredientes (Gulcin, 2020).

En los últimos años, ha cobrado mucho interés en cómo el estrés oxidativo afecta la fertilidad, como en el caso de la infertilidad en las parejas, que puede deberse a factores que inciden tanto en el hombre como en la mujer. Se estima que entre el 40% y el 50% de las veces la infertilidad se debe a factores que afectan a la mujer y en estos reportes se observó que los antioxidantes reducen el estrés oxidativo. Algunos estudios han explorado la eficacia de los antioxidantes en la mejora de la fertilidad. Una revisión científica evaluó la eficacia de distintos antioxidantes en mujeres con subfertilidad. Se incluyeron 63 ensayos clínicos aleatorios con 7760 mujeres que compararon antioxidantes orales con placebo, ningún tratamiento/tratamiento estándar u otros antioxidantes. La evidencia de baja calidad sugiere que los antioxidantes pueden mejorar las tasas de embarazo clínico en comparación con placebo, sin tratamiento o con tratamiento estándar. Sin embargo, debido a la muy baja calidad de la evidencia, no se sabe con certeza si los antioxidantes mejoran la supervivencia en comparación con placebo o con ningún tratamiento estándar. Se requiere realizar más investigaciones para determinar si los antioxidantes son efectivos para mejorar la fertilidad en mujeres con subfertilidad (Showell et al., 2020).

Factores como la radiación, la contaminación ambiental y el metabolismo de fármacos pueden desencadenar la formación de radicales libres. Estas especies reactivas son neutralizadas por moléculas con propiedades antioxidantes. Los antioxidantes son compuestos que inhiben la oxidación y se conocen como “captadores de radicales libres” porque se combinan con dichos radicales para formar pequeñas especies reactivas. Hay dos tipos de antioxidantes según su origen: exógenos y endógenos. Se ha demostrado que los antioxidantes reducen la incidencia de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, incluyendo el envejecimiento, el cáncer, la

diabetes, la inflamación, la enfermedad hepática, la enfermedad cardiovascular, las cataratas, la toxicidad renal y los trastornos degenerativos del sistema nervioso. Por lo tanto, se cree que los antioxidantes dietéticos tienen un gran potencial para prevenir estas enfermedades (Neha et al., 2019).

Varios compuestos naturales y sintéticos han sido comparados en cuanto a su capacidad antioxidante en ensayos in vitro relacionados con eritrocitos y se ha observado que las catequinas presentan una alta capacidad de captación de ABTS y una alta reducción del coeficiente químico Fe³⁺ en la prueba FRAP. Además, son eficaces para proteger contra la oxidación inducida por SIN, superando al glutatión y al ascorbato. En particular, la (+)-catequina y la (-)-epicatequina son los compuestos más efectivos en la protección contra la hemólisis inducida por AAPH, mientras que (-)-galato de epicatequina, (-)-galato epigallocatequina, (-)-galato de epicatequina y (-)-epicatequina galato-epigallocatequina se protegen a concentraciones más bajas contra la hemólisis inducida por hipoclorito. Por otra parte, las catequinas son más eficaces para inhibir la oxidación inducida por AAPH de la 2’7’-diclorodihidrofluoresceína en los eritrocitos. Debido a sus excelentes propiedades antioxidantes, las catequinas y otros flavonoides son ideales para su uso en nanoformulaciones terapéuticas (Grzesik et al., 2018).

Actividad antibacteriana en la resistencia bacteriana

El uso de nanopartículas de plata (AgNP) desempeña un papel importante en los campos de la biología y la medicina, y se han utilizado como agentes antimicrobianos y antifúngicos en una amplia variedad de productos. Sin embargo, las AgNP se preparan mediante una serie de técnicas químicas y físicas; a menudo se asocian con un alto consumo de energía o con usos tóxicos, lo que limita su empleo. Por tal motivo, se están incrementando las publicaciones sobre la síntesis ecológica de AgNP mediante métodos respetuosos con el medio ambiente, incluidos los biológicos, fotoquímicos y electroquímicos. El

desarrollo de procesos en la intersección entre la nanotecnología y la biología para la síntesis de nanopartículas se está convirtiendo en una ruta alternativa. Muchos de los métodos biológicos para la síntesis de AgNP, que utilizan microorganismos o extractos de plantas, se consideran respetuosos con el medio ambiente. En comparación con los microorganismos, los extractos de plantas constituyen la mejor plataforma biológica para la síntesis de AgNP, ya que los principios activos pueden proporcionar agentes naturales limitantes que estabilizan las AgNP. Los agentes antimicrobianos son importantes en la producción y conservación de alimentos, porque reducen el riesgo de contaminación microbiana y deterioro. Sin embargo, el marcado aumento de la resistencia a los antibióticos de los patógenos en general es una de las preocupaciones de los investigadores hoy en día (Du et al., 2019).

La resistencia a los antibióticos es un problema importante para los especialistas médicos, y el desarrollo de agentes antibacterianos alternativos de origen natural ha atraído una atención considerable en los últimos años. En este estudio, investigamos la actividad antibacteriana de los frutos de *Forsythia suspensa* mediante métodos *in vitro*. Aislamos dos compuestos distintivos (forsitiasida y forsitina) de frutos de *F. suspensa* y evaluamos su actividad antimicrobiana frente a *Escherichia coli*, *Pseudomonas* y *Staphylococcus aureus*. Los resultados mostraron que tanto la forsitiasida como la forsitina exhibieron actividad antimicrobiana significativa contra las tres cepas bacterianas analizadas.

Se encontró que la concentración de estos compuestos influye en la actividad antimicrobiana frente a *E. coli*. Estos hallazgos sugieren que los frutos de *F. suspensa* tienen potencial como agentes antibacterianos naturales. Se necesitan más estudios para investigar la eficacia de los frutos de *F. suspensa in vivo* y su uso potencial como alternativa a los antibióticos sintéticos. El uso de productos naturales como agentes antibacterianos podría ayudar a redu-

cir la resistencia a los antibióticos y brindar una alternativa más segura para la salud humana (Qu et al., 2010).

Se ha demostrado que los aceites esenciales (AE) poseen propiedades antibacterianas frente a una variedad de patógenos transmitidos por los alimentos. Los estudios *in vitro* han demostrado que los AE pueden ser efectivos contra *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* O157:H7, *Shigella dysenteriae*, *Bacillus cereus* y *Staphylococcus aureus* en concentraciones que oscilan entre 0,2 y 10 μ l/ml. Las bacterias grampositivas son generalmente más susceptibles a los AE que las bacterias gramnegativas. Se han identificado varios componentes de AE como antibacterianos eficaces, entre ellos eugenol, carvacrol, timol y cinamaldehído. Se cree que la actividad antibacteriana de los aceites esenciales se debe a su capacidad para alterar la membrana y/o la pared celular de las bacterias. Esta interrupción puede provocar la fuga de componentes intracelulares y, en última instancia, la muerte celular. Además, algunos componentes de AE pueden interferir con el metabolismo bacteriano o inhibir la producción de factores de virulencia. Si bien los aceites esenciales se muestran prometedores como alternativas naturales a los conservantes de alimentos tradicionales, aún existen varios desafíos que deben abordarse antes de que puedan adoptarse ampliamente en la industria alimentaria. Estos desafíos incluyen problemas relacionados con la estabilidad, la solubilidad y las propiedades sensoriales. Además, las preocupaciones de seguridad relacionadas con la toxicidad y la alergenicidad deben evaluarse cuidadosamente antes de que los AE puedan usarse en productos alimenticios (Burt, 2004).

Los flavonoides son compuestos naturales que se encuentran en plantas que han demostrado tener actividad antibacteriana. En artículos de revisión proporciona una actualización de las últimas investigaciones sobre las propiedades antibacterianas de los flavonoides y su relación estructura-actividad. Estas verificaciones destacan que algunos flavonoides han mostrado

actividades antibacterianas hasta seis veces más potentes que los medicamentos estándar en el mercado. Los derivados sintéticos de los flavonoides también han exhibido notables actividades antibacterianas, con potencias de 20 a 80 veces mayores que el fármaco estándar contra bacterias gramnegativas y grampositivas multirresistentes. El artículo concluye que los flavonoides tienen un gran potencial como fuente de nuevos agentes antibacterianos para combatir la resistencia a los antibióticos. Se necesita más investigación para explorar los mecanismos de acción de los flavonoides y su potencial de uso clínico (Farhadi et al., 2019).

El último informe publicado por la Organización Mundial de la Salud ha identificado la resistencia a los antimicrobianos como un problema de salud mundial y un desafío importante en el tratamiento de infecciones asociadas a patógenos multirresistentes. Para abordar esta cuestión, se han adoptado diversas estrategias, entre ellas el descubrimiento de nuevos agentes antimicrobianos que muestran diferentes mecanismos de acción y la prevención de la formación de biopelículas y bombas de resistencia a múltiples fármacos en bacterias. Los productos naturales, incluyendo alcaloides, terpenoides, esteroides, antraquinonas, flavonoides, saponinas, taninos, etc., se han propuesto para combatir cepas bacterianas multirresistentes debido a sus efectos farmacológicos versátiles. Entre estos productos naturales, los flavonoides, también conocidos como compuestos polifenólicos, han sido valorados por su capacidad para retrasar el crecimiento de una amplia variedad de microorganismos patógenos, incluidas bacterias multirresistentes. Se ha investigado ampliamente la hidroxilación en C5, C7, C3' y C4', así como la geranilación o prenilación en C6, para mejorar la inhibición de los flavonoides bacterianos. Sin embargo, se ha demostrado que la metoxilación en C3' y C5 reduce los efectos antibacterianos de los flavonoides. Esta revisión resume la información más reciente sobre la actividad antibacteriana de los flavonoides, prestando especial atención a las relaciones estructura-actividad de este amplio grupo de compuestos naturales para

explorar los agentes antibacterianos seguros y eficaces como productos naturales (Shamsudin et al., 2022).

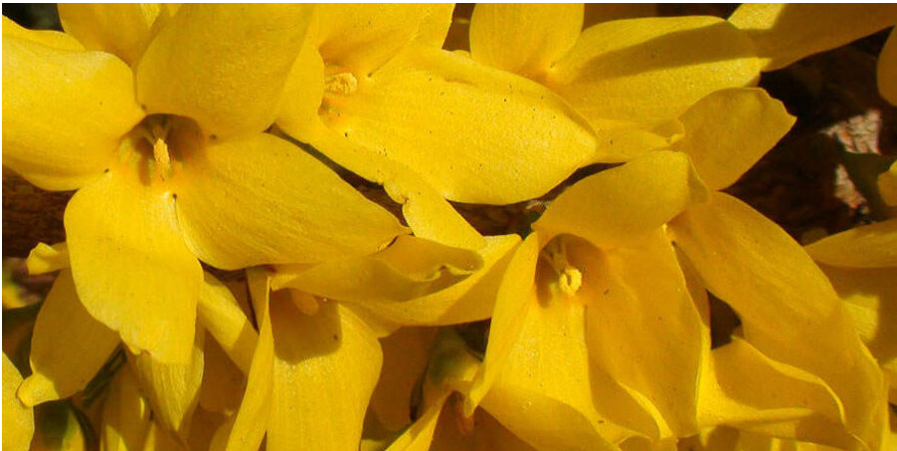
La actividad antibacteriana de compuestos bioactivos presentes en frutas, verduras, especias y plantas medicinales, específicamente flavonoides y ácidos orgánicos, se debe a sus fuertes propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Se probaron 13 flavonoides comunes y 6 ácidos orgánicos contra cepas clínicas de cuatro especies de bacterias patógenas. Todos los compuestos probados mostraron propiedades antimicrobianas; sin embargo, su actividad biológica fue moderada o relativamente baja. El ácido salicílico fue el más efectivo, con concentraciones inhibitorias mínimas de 250-500 µg/mL. Estos compuestos fueron más activos contra las bacterias gramnegativas, como *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*, que contra las grampositivas, como *Enterococcus faecalis* y *Staphylococcus aureus*. Además, se observó que la presencia de grupos hidroxilo en los anillos de fenilo A y B normalmente no influía en el nivel de actividad antibacteriana, aunque sí se observó un aumento significativo en la actividad de los derivados hidroxilados de la flavona frente a *S. aureus*. La presencia y la posición del grupo azúcar en los glucósidos de flavona tampoco tuvieron efecto sobre los valores de concentración inhibitoria mínima. En general, estos resultados sugieren que los flavonoides y los ácidos orgánicos pueden ser útiles como agentes antimicrobianos, aunque se requiere una mayor investigación para determinar su eficacia y sus mecanismos de acción en distintas cepas bacterianas (Adamczak et al., 2020).

Los flavonoides son una clase de metabolitos secundarios presentes en las plantas y su actividad antimicrobiana está recibiendo atención. Con el fin de establecer una relación entre los parámetros fisicoquímicos y la actividad antimicrobiana de los flavonoides, se han desarrollado ecuaciones de regresión que relacionan el ACD/LogP o el LogD7.40 con las concentraciones inhibitorias mínimas (MIC) contra bacterias grampositivas. Estas ecuaciones se han verifi-

cado con otros 68 flavonoides reportados. Con base en estas ecuaciones, se pueden calcular las CIM de la mayoría de los flavonoides contra las bacterias grampositivas, que se espera que sean alrededor de 10,2 o 4,8 μM , y probablemente entre 2,6 y 10,2 μM , o 1,2-4,8 μM . La hidrofilia es un factor clave para la actividad antimicrobiana de los flavonoides contra las bacterias grampositivas, como lo evidencian dos curvas de regresión cóncavas. Además, se sugiere que la membrana celular es el sitio principal de acción de los flavonoides en las bacterias grampositivas y puede estar involucrada en la destrucción de la bicapa de fosfolípidos, la inhibición de la cadena respiratoria o la síntesis de ATP, entre otros posibles mecanismos (Yuan et al., 2021).

Los flavonoides bioactivos presentes en *Asplenium nidus* (helecho) exhiben actividad antitumoral, antibacteriana y antioxidante, lo que los hace prometedores para la prevención de enfermedades y de patógenos multirresistentes como *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris* y *Pseudomonas aeruginosa*. Se utilizó cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC/MS) para fraccionar e identificar los flavonoides

presentes. Las fracciones 1 y 3 mostraron la presencia de doce compuestos conocidos y tres desconocidos, representando el 13,12 % y 2,61 % de la composición total, respectivamente. El gliciridin 7-O-hexósido, quercetina-7-O-rutinósido, keampferol-3-O-rutinósido y miricetina-3-O-ramnósido fueron los flavonoides más abundantes. Los componentes purificados y las fracciones presentes demostraron actividad antibacteriana y antioxidante contra los patógenos MDR en dilución microambiente, con MIC50 para amoxicilina, gliciridin7-O-hexósido y quercetina-7-O-rutinósido entre 0,0003-0,06 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 0,004-0,06 $\mu\text{g}/\text{mL}$ y 0,005-6,0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, respectivamente. La actividad inhibitoria de gliciridin-7-O-hexósido y quercetina-7-O-rutinósido fue similar a la del antibiótico estándar amoxicilina. Además, las fracciones de *A. nidus* demostraron actividad citotóxica en células de cáncer de hígado humano HepG2 y en células de carcinoma humano HeLa. En general, estos hallazgos respaldan el potencial terapéutico de los flavonoides de *A. nidus* y justifican su uso en la medicina popular y etnográfica para tratar enfermedades infecciosas y el cáncer (Jarial et al., 2018).



https://mx.images.search.yahoo.com/search/images;_ylt=Awr0i87u1ppk00Bbm3D8Qt.;_ylu=Y29sbwN-nTEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3BpdnM-?p=Forsythia&fr2=piv-web&type=E210MX91215G0&fr=mcafee#id=11&iurl=https%3A%2F%2Fwww.plantasmania.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2023%2F06%2Fforsythia-planta-cuidados-y-consejos-para-su-cultivo-en-casa.jpg&action=click

Conclusión

La Forsythia ha captado el interés de la comunidad científica por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas, con un alto potencial terapéutico. Los compuestos presentes en esta planta, como el ácido cafeico y el ácido clorogénico, son responsables de su actividad antioxidante, que ayuda a prevenir el daño celular causado por los radicales libres. Además, la Forsythia ha demostrado ser eficaz en la lucha contra diversos microorganismos patógenos, lo que la convierte

en una alternativa prometedora en la búsqueda de tratamientos naturales y seguros para diversas enfermedades. La investigación sobre las propiedades de esta planta puede aportar información valiosa al desarrollo de nuevos fármacos y terapias basadas en productos naturales. En consecuencia, la Forsythia se ha convertido en un objeto de interés científico en la búsqueda de nuevos tratamientos para una amplia gama de enfermedades.

Declaración de no conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

Declaración de privacidad

Se sugiere ingresar los siguientes párrafos.

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, pueden compartirse 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.

Descargo de responsabilidad

(INTELIGENCIA ARTIFICIAL) **Los autores declaran por la presente que NO se han utilizado tecnologías de IA generativa**, tales como modelos de lenguaje grandes (ChatGPT, COPILOT, etc.) y generadores de texto a imagen, durante la redacción o edición de este manuscrito.

Referencias

- Adamczak, A., Ożarowski, M., & Karpiński, T. M. (2020). Antibacterial activity of some flavonoids and organic acids widely distributed in plants. *Journal of Clinical Medicine*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/jcm9010109>
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Cao, G., Sofic, E., & Prior, R. L. (1996). Antioxidant Capacity of Tea and Common Vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(11), 3426–3431. <https://doi.org/10.1021/jf9602535>
- Chang, S. T., Wu, J. H., Wang, S. Y., Kang, P. L., Yang, N. S., & Shyur, L. F. (2001). Antioxidant activity of extracts from acacia confusa Bark and Heartwood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3420–3424. <https://doi.org/10.1021/JF0100907>
- Du, J., Hu, Z., Yu, Z., Li, H., Pan, J., Zhao, D., & Bai, Y. (2019). Antibacterial activity of a novel *Forsythia suspensa* fruit mediated green silver nanoparticles against food-borne pathogens and mechanisms investigation. *Materials Science and Engineering C*, 102, 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.04.031>
- Farhadi, F., Khameneh, B., Iranshahi, M., & Iranshahi, M. (2019). Antibacterial activity of flavonoids and their structure–activity relationship: An update review. *Phytotherapy Research*, 33(1), 13–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ptr.6208>
- Grzesik, M., Naparło, K., Bartosz, G., & Sadowska-Bartosz, I. (2018). Antioxidant properties of catechins: Comparison with other antioxidants. *Food Chemistry*, 241, 480–492. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.117>
- Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. *Archives of Toxicology*, 94(3), 651–715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- Halliwell, B. (2007). Inflammation Biochemistry of oxidative stress. <http://www.oup.com>
- Jamshidi-Kia, F., Wibowo, J. P., Elachouri, M., Masumi, R., Salehifard-Jouneghani, A., Abolhassanzadeh, Z., & Lorigooini, Z. (2020). Battle between plants as antioxidants with free radicals in human body. *Journal of HerbMed Pharmacology*, 9(3), 191–199. <https://doi.org/10.34172/jhp.2020.25>
- Jarial, R., Thakur, S., Sakinah, M., Zularisam, A. W., Sharad, A., Kanwar, S. S., & Singh, L. (2018). Potent anticancer, antioxidant and antibacterial activities of isolated flavonoids from *Asplenium nidus*. *Journal of King Saud University - Science*, 30(2), 185–192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.11.006>
- Kitani, K., Minami, C., Yamamoto, T., Maruyama, W., Kanai, S., Ivy, G. O., & Carrillo, M.-C. (n.d.). Do Antioxidant Strategies Work against Aging and Age-associated Disorders? Propargylamines: A Possible Antioxidant Strategy.
- Lourenço, S. C., Moldão-Martins, M., & Alves, V. D. (2019). Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. In *Molecules* (Vol. 24, Issue 22). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules24224132>
- Neha, K., Haider, M. R., Pathak, A., & Yar, M. S. (2019). Medicinal prospects of antioxidants: A review. In *European Journal of Medicinal Chemistry* (Vol. 178, pp. 687–704). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.06.010>
- Nishibe, S., Okabe, K., Tsukamoto, H., Sakushima, A., & Hisada, S. (1982). The Structure of Forsythiaside isolated from *Forsythia suspensa*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 30(3), 1048–1050. <https://doi.org/10.1248/CPB.30.1048>
- Popova, M., Bankova, V., Butovska, D., Petkov, V., Nikolova-Damyanova, B., Sabatini, A. G., Marcazzan, G. L., & Bogdanov, S. (2004). QUANTIFICATION OF CONSTITUENTS OF PROPOLIS 235 Validated Methods for the Quantification of Biologically Active Constituents of Poplar-type Propolis. *PHYTOCHEMICAL ANALYSIS Phytochem. Anal*, 15, 235–240. <https://doi.org/10.1002.pca.777>

- Qu, H., Zhang, Y., Wang, Y., Li, B., & Sun, W. (2010). Antioxidant and antibacterial activity of two compounds (forsythiaside and forsythin) isolated from *Forsythia suspensa*. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 60(2), 261–266. <https://doi.org/10.1211/jpp.60.2.0016>
- Salehi, B., Martorell, M., Arbiser, J. L., Sureda, A., Martins, N., Maurya, P. K., Sharifi-Rad, M., Kumar, P., & Sharifi-Rad, J. (2018). Antioxidants: Positive or negative actors? In *Biomolecules* (Vol. 8, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/biom8040124>
- Shamsudin, N. F., Ahmed, Q. U., Mahmood, S., Shah, S. A. A., Khatib, A., Mukhtar, S., Alsharif, M. A., Parveen, H., & Zakaria, Z. A. (2022). Antibacterial Effects of Flavonoids and Their Structure-Activity Relationship Study: A Comparative Interpretation. In *Molecules* (Vol. 27, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules27041149>
- Showell, M. G., Mackenzie-Proctor, R., Jordan, V., & Hart, R. J. (2020). Antioxidants for female subfertility. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 8. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007807.pub4>
- Wang, Z., Xia, Q., Liu, X., Liu, W., Huang, W., Mei, X., Luo, J., Shan, M., Ma, Z., & Lin, R. (2018). Phytochemistry, pharmacology, quality control and future research of *Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 210, 318–339. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.08.040>
- Yousef, M. I., Saad, A. A., & El-Shennawy, L. K. (2009). Protective effect of grape seed proanthocyanidin extract against oxidative stress induced by cisplatin in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 47(6), 1176–1183. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.02.007>
- Yuan, G., Guan, Y., Yi, H., Lai, S., Sun, Y., & Cao, S. (2021). Antibacterial activity and mechanism of plant flavonoids to gram-positive bacteria predicted from their lipophilicities. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90035-7>