

## ÍNDICE

EDITORIAL _____	4
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ANTIMICROBIANO DE EXTRACTOS DE SEMILLA DE AGUACATE ( <i>PERSEA AMERICANA</i> ) CONTRA BACTERIAS, HONGOS FITOPATÓGENOS Y ZONÓTICOS: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA _____	5
EL GÉNERO <i>ALLIUM</i> L. (AMARYLLIDACEAE) Y SU ACTIVIDAD BIOLÓGICA _____	14
FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN GRANULADO CON ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE PARA CÁPSULAS DURAS A PARTIR DE BRÁCTEAS NARANJAS DE <i>BOUGAINVILLEA GLABRA</i> CHOISY _____	28
CUANTIFICACIÓN DE ABSORCIÓN DE CO <sub>2</sub> DE LAS ESPECIES <i>WEINMANNIA FAGAROIDES</i> Y <i>ALNUS ACUMINATA</i> DENTRO DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN PRIVADA CERRO BLANCO _____	38
CURIOSIDADES DE LA QUÍMICA: REIMAGINEMOS EL CO <sub>2</sub> : NO COMO UN PROBLEMA, SINO COMO LA BASE DE SU PROPIA SOLUCIÓN _____	49

## **EQUIPO EDITORIAL**

### **Editora en jefe**

Dra. Lorena Meneses Olmedo, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

### **Editoras asociadas**

Dra. Lenys Fernández Martínez, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

Dra. Fernanda Pilaquinga Flores, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

### **Centro de Publicaciones PUCE**

#### **Pontificia Universidad Católica del Ecuador**

Av. 12 de Octubre 1076 y Vicente Ramón Roca

Edificio del Centro Cultural

Quito, Ecuador

Teléfonos: 299 1700

Extensiones: 1711 / 2060

### **Comité editorial**

Dra. Leadina Sánchez Barboza, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

Dr. Rafael Uribe Soto, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Dra. Yolanda López Franco, Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo, CIAD, Hermosillo, México.

Dra. Elizabeth Pabón Gelves, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Medellín, Colombia.

Dra. María Luisa Valenzuela, Universidad Autónoma de Chile, Santiago, Chile.

Dr. Franklin Méndez, Instituto Politécnico Nacional, Parque Científico y Tecnológico de Morelos, México.

Dra. Tatiana Garrido Reyes, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Dr. José Luis Paz, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

## **Comité Científico Internacional**

Dra. Aline Machado Lucas, Pontificia Universidad Católica de Rio Grande del Sur, Brasil.

Dr. Anderson Schwingel Ribeiro, Universidad Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

Dra. Carla de Andrade Hartwig, Universidad Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

Dr. Eder João Lenardão, Universidad Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

Dr. Eduardo Cassel, Pontificia Universidad Católica de Rio Grande del Sur, Brasil.

Dra. Elizabeth Pabón Gelves, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Medellín, Colombia.

Dr. Elton de Lima Borges, Universidad Federal de Rondonia, Rondonia, Brasil.

Dr. Franklin Méndez, Instituto Politécnico Nacional, Parque Científico y Tecnológico de Morelos, México.

Dr. José Luis Paz, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Dr. Leonardo Moreira dos Santos, Pontificia Universidad Católica de Rio Grande del Sur, Brasil.

Dr. Luis Serrano, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

Dra. María Luisa Valenzuela, Universidad Autónoma de Chile, Santiago, Chile.

Dr. Samuel Thurow, Universidad Estatal de Campinas, Campinas, Brasil.

Dra. Tatiana Garrido Reyes, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Dra. Yolanda López Franco, Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo, CIAD, Hermosillo, México.

# REVISTA infoANALÍTICA

2026, Vol. 14, N°. 1.  
ISSN impreso 2477-8788  
ISSN electrónico 2602-8344

La gestión editorial de infoANALÍTICA se desarrolla bajo los siguientes criterios editoriales y técnicos:

- La revista se gestiona a través del sistema **Open Journal Systems – OJS**.
- Los artículos publicados cuentan, cuando corresponde, con código de identificación **DOI – Digital Object Identifier**.
- La revista es una publicación científica de acceso abierto – **Open Access**.
- Los artículos se publican bajo licencia **Creative Commons Reconocimiento CompartirIgual 4.0 Internacional**.
- La revista promueve la difusión de resultados de investigación en áreas relacionadas con la Química y las ciencias afines.
- La revista se encuentra registrada, indexada o visible en directorios académicos, buscadores de literatura científica de acceso abierto y bases de datos bibliográficas y académicas, lo que fortalece su visibilidad, circulación y posicionamiento dentro del ecosistema de comunicación científica.

Directorios e índices académicos:



Directorios de revistas de acceso abierto:



Bases de datos y portales bibliográficos:



Espacios de difusión, interoperabilidad y ciencia abierta:



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador – PUCE**  
**Escuela de Ciencias Químicas**  
Quito, Ecuador

## EDITORIAL

Los procesos de investigación suelen enfrentar desafíos significativos en economías como la ecuatoriana, debido a la limitación de recursos y a los prolongados tiempos que demandan las actividades científicas. Sin embargo, como revista hemos continuado con el proceso editorial, con el aporte de investigadores de la PUCE y de otras universidades del Ecuador, lo que otorga un carácter innovador al presente número de la *Revista infoANALÍTICA*. El volumen 14, número 1, presenta importantes novedades dentro de su contenido.

En este número publicamos trabajos en las tradicionales secciones de Artículos de Revisión, Artículos Científicos y Notas Científicas.

En la sección de Artículos de Revisión se presenta un estudio que sugiere que la semilla de aguacate constituye una fuente prometedora de compuestos bioactivos, con potencial aplicación en estrategias de manejo integrado de patógenos en sistemas agrícolas y agroindustriales.

En otro estudio se demostró que el género *Allium* spp. posee capacidad antioxidante y diversas actividades farmacológicas, tales como: antibacteriana, antiinflamatoria, anticancerígena, inmunomoduladora, cardioprotectora, antiviral y de control de peso.

En la sección de artículos científicos se presentan los resultados de una investigación en la que se desarrolla un granulado con actividad antioxidante para cápsulas duras de gelatina, empleando brácteas naranjas de *Bougainvillea glabra* Choisy (*B. glabra*), confirmando su potencial como fuente eficaz y económicamente viable de antioxidantes para el desarrollo de fitomedicamentos estandarizados.

En otro estudio se evaluó el porcentaje de absorción de CO<sub>2</sub> de las especies *Weinmannia fagaroides* (encenillo) y *Alnus acuminata* (aliso) en respuesta al cambio climático y al aumento de gases de efecto invernadero, encontrando la necesidad de implementar estrategias de conservación que favorezcan la recuperación de ecosistemas degradados y maximicen la absorción de carbono.

Quienes formamos parte del comité editorial continuamos aunando esfuerzos para consolidar a la *Revista infoANALÍTICA* como un referente nacional e internacional en la difusión y fortalecimiento de las ciencias químicas.

Invitamos a nuestros lectores a explorar este nuevo número de la revista, donde encontrarán información de actualidad y relevancia científica.

Dra. Lorena Meneses Olmedo  
**Editora en jefe**

*Artículo de Revisión***EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ANTIMICROBIANO DE EXTRACTOS DE SEMILLA DE AGUACATE (*PERSEA AMERICANA*) CONTRA BACTERIAS, HONGOS FITOPATÓGENOS Y ZONÓTICOS: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA****EVALUATION OF THE ANTIMICROBIAL POTENTIAL OF AVOCADO (*PERSEA AMERICANA*) SEED EXTRACTS AGAINST BACTERIA, PHYTOPATHOGENIC AND ZONOTIC FUNGI: A LITERATURE REVIEW**

Bolívar Silva L. , Cristina Mayorga N. , Andrés Gómez N. , Augusto Oviedo-Chávez\*   
y Julio Vinueza Galárraga .

Carrera de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Ambientales,  
Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

\*Correspondencia: [aoviedo554@puce.edu.ec](mailto:aoviedo554@puce.edu.ec)

Recibido: 03 de septiembre 2024; Aceptado: 14 de enero 2026; Publicación: 26 de abril de 2026

**Cómo citar:**

Silva, B. L., Mayorga, C. N., Gómez, A. N., Oviedo-Chávez, A., Vinueza Galárraga, J. (2026). Evaluación del potencial antimicrobiano de extractos de semilla de aguacate (*Persea americana*) contra bacterias, hongos fitopatógenos y zoonóticos: Una revisión bibliográfica. *InfoAnalítica*, 14(1), 5–13. <https://doi.org/10.26807/ia.v14i1.292>

© 2026 Los autores. Publicado por Revista InfoAnalítica. Este artículo es de acceso abierto y se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-SA 4.0), que permite el uso, distribución, adaptación y reproducción en cualquier medio o formato, siempre que se cite adecuadamente la obra original y que las obras derivadas se distribuyan bajo la misma licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## RESUMEN

El uso intensivo de agroquímicos y antimicrobianos sintéticos ha generado impactos negativos en la salud humana, animal y ambiental, así como un incremento en la resistencia microbiana. En este contexto, los extractos vegetales han despertado interés como alternativas sostenibles para el control de microorganismos patógenos. La semilla de aguacate (*Persea americana*), un residuo agroindustrial subutilizado, contiene diversos metabolitos secundarios con potencial actividad antimicrobiana. El presente artículo analiza las tendencias reportadas en la literatura científica sobre la actividad antimicrobiana de extractos de semilla de aguacate frente a bacterias y hongos fitopatógenos y zoonóticos. Se realizó una revisión documental en bases de datos especializadas, seleccionando estudios representativos que emplean distintos solventes y metodologías analíticas. Los resultados muestran que los extractos obtenidos con solventes polares, principalmente etanol y metanol, presentan mayor actividad frente a bacterias Gram positivas como *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus*, así como frente a hongos como *Colletotrichum gloeosporioides* y *Botrytis cinerea*. La actividad antimicrobiana se reporta generalmente mediante zonas de inhibición del orden de decenas de milímetros y concentraciones inhibitorias en el rango de mg/mL, aunque la comparabilidad entre estudios es limitada. En conjunto, la evidencia analizada sugiere que la semilla de aguacate constituye una fuente prometedora de compuestos bioactivos con potencial aplicación en estrategias de manejo integrado de patógenos en sistemas agrícolas y agroindustriales, destacando la necesidad de metodologías analíticas más homogéneas para fortalecer su aprovechamiento.

**Palabras clave:** actividad antimicrobiana, extractos vegetales, fitopatógenos, *Persea americana*, residuos agroindustriales, zoonosis.

## ABSTRACT

The intensive use of agrochemicals and synthetic antimicrobials has generated negative impacts on human, animal, and environmental health, as well as an increase in microbial resistance. In this context, plant extracts have attracted interest as sustainable alternatives for the control of pathogenic microorganisms. Avocado seed (*Persea americana*), an underutilized agro-industrial residue, contains various secondary metabolites with potential antimicrobial activity. This article analyzes trends reported in scientific literature regarding the antimicrobial activity of avocado seed extracts against phytopathogenic and zoonotic bacteria and fungi. A documentary review was conducted using specialized databases, selecting representative studies that employ different solvents and analytical methodologies. The results show that extracts obtained with polar solvents, mainly ethanol and methanol, exhibit greater activity against Gram-positive bacteria such as *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus*, as well as against fungi such as *Colletotrichum gloeosporioides* and *Botrytis cinerea*. Antimicrobial activity is generally reported through inhibition zones on the order of several millimeters and inhibitory concentrations in the mg/mL range, although comparability among studies is limited. Overall, the analyzed evidence suggests that avocado seed represents a promising source of bioactive compounds with potential application in integrated pathogen management strategies in agricultural and agroindustrial systems, highlighting the need for more homogeneous analytical methodologies to strengthen its utilization.

**Keywords:** antimicrobial activity, agro-industrial residues, *Persea americana*, phytopathogens, plant extracts, zoonoses.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la humanidad ha buscado diversas estrategias para combatir los agentes patógenos que afectan tanto a las plantas como a los animales, incluyendo microorganismos con potencial zoonótico, es decir, capaces de transmitirse entre animales y humanos. En el caso de los vegetales, enfermedades como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*), la roya del café (*Hemileia vastatrix*), la antracnosis en papaya (*Colletotrichum gloeosporioides*) y el moho gris en diversos frutos (*Botrytis cinerea*) han causado grandes pérdidas agrícolas (León-Ttacca et al., 2022; Vélez-Terranova et al., 2014). Simultáneamente, ciertas bacterias fitopatógenas, en su mayoría Gram negativas, como proteobacterias y actinobacterias, también han sido responsables de daños relevantes en cultivos (Rojas y Santoyo, 2018; Vidaver y Lambrecht, 2006).

En el ámbito animal, los microorganismos zoonóticos, como ciertas cepas de *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* o *Aspergillus fumigatus*, representan una amenaza creciente, al ser capaces de infectar a humanos a través del contacto directo, el consumo de productos contaminados o vectores animales. Su persistencia y adaptación hacen necesario explorar alternativas a los antimicrobianos convencionales, muchos de los cuales presentan resistencia creciente (Cardoso et al., 2016; FAO, 2010).

Una de las principales estrategias históricas para el control de microorganismos patógenos ha sido el uso de agroquímicos o plaguicidas sintéticos. Sin embargo, estas sustancias, clasificadas en organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides, poseen alta toxicidad, baja biodegradabilidad y una persistencia ambiental alarmante (Cruz et al., 2017; Del Puerto y Suárez, 2014; Haggerty et al., 2023; Ortíz et al., 2013; Ramírez y Lacasaña, 2001). Además de causar intoxicaciones agudas, han sido asociadas con enfermedades crónicas como cáncer, leucemia, Parkinson y diabetes (Blair et al., 2015; Chirinos et al., 2019; Duran et al., 2017; González et al., 2010). En 2019, el consumo mundial de pesticidas fue de aproximadamente 4,2 millones de toneladas métricas (Rajak et al., 2023), siendo Brasil y Argentina algunos de los países con mayor uso per cápita (Ortíz et al., 2013; Sharma et al., 2019). Este panorama se agrava por el mal manejo de los productos, la reutilización de enva-

ses y la escasa capacitación en su uso (Alvarado et al., 2019; Del Puerto y Suárez, 2014).

Como respuesta a estos desafíos, los extractos vegetales con propiedades antimicrobianas han ganado atención en la investigación científica. Se ha demostrado que numerosos compuestos presentes en las plantas, como alcaloides, terpenos, flavonoides, saponinas y fenoles, pueden actuar eficazmente contra bacterias y hongos tanto en sistemas vegetales como animales (Amaya et al., 2021; Avalos y Pérez, 2012; Chil-Núñez et al., 2019; Echavarría et al., 2016; Mareggiani et al., 2010; Mesa et al., 2019; Quintana et al., 2017; Vélez-Terranova et al., 2014). Su uso, además de ser más seguro para humanos, animales y el ambiente, no genera residuos peligrosos ni bioacumulación.

En ese contexto, una planta con gran potencial es el aguacate (*Persea americana* Mill.), ampliamente cultivado en América. En 2021 se produjeron más de 8,6 millones de toneladas a nivel mundial, lo cual genera una gran cantidad de residuos, especialmente cáscaras y semillas (Álvarez et al., 2021). Estos subproductos, frecuentemente desechados, contienen valiosos compuestos bioactivos aún subutilizados, entre ellos lípidos, fitoesteroles, flavonoides, proantocianidinas, alcaloides, triterpenos y polifenoles (Bahru et al., 2019; Barbosa-Martín et al., 2016; Ceballos y Montoya, 2013; Camacho et al., 2021; Ejiofor et al., 2018; Onyekachi et al., 2011; Sánchez-Quezada et al., 2023; Vivero et al., 2019).

Diversas investigaciones destacan que los extractos de semilla de aguacate presentan efectos antimicrobianos, antifúngicos, antiinflamatorios, antioxidantes e incluso larvicidas, lo que permite considerarlos como una alternativa prometedora en el manejo integrado de plagas y patógenos, tanto vegetales como animales (Leite Giffoni et al., 2009).

Por tanto, el presente trabajo recopila, analiza y fundamenta la evidencia científica disponible sobre las propiedades antimicrobianas de la semilla de aguacate frente a bacterias y hongos fitopatógenos y zoonóticos, con el fin de valorar su potencial aplicación en contextos agropecuarios sostenibles.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación bibliográfica documental con uso de recursos digitales, en las bases de datos SciELO, Elsevier, Google Scholar y Scopus, para analizar artículos científicos relacionados con 1) las propiedades físicas y químicas de la semilla de aguacate, 2) métodos de extracción con distintos solventes y 3) diferentes variedades del vegetal. Se utilizaron los descriptores en la siguiente ecuación: antimicrobiano + semilla de aguacate + propiedades fisicoquímicas + extracto + solvente. Se priorizaron artículos científicos recientes que evaluaran las actividades antimicrobianas de la semilla de aguacate (*Persea americana*). Se localizaron ochenta artículos, de los cuales se excluyeron veintiocho por no ser relevantes para el objetivo del presente trabajo debido a antigüedad del artículo, información errada, entre otros criterios.

## DISCUSIÓN

Varias especies de plantas comestibles, ornamentales, frutales o maderables están presentes desde hace miles de años; se han adaptado, evolucionado y han sobrevivido a un sinnúmero de enfermedades y microorganismos patógenos. Entre estas amenazas se encuentran los hongos, bacterias, virus y ciertos insectos y ácaros que producen enfermedades graves en los seres vivos (Anaya y Espinosa, 2006; Guillén-Andrade et al., 2019).

Los hongos son uno de los principales problemas para los cultivos, causando procesos patológicos como el mildiú polvoriento, el tizón tardío y la roya. Estas afecciones pueden influir en las hojas, los tallos, las flores y los frutos de las plantas, debilitándolas y reduciendo su rendimiento. Los insectos son otra causa común de daños en las plantas, alimentándose de las hojas, los tallos, las raíces y los frutos, y transmitiendo enfermedades en algunos casos. Los ácaros, por su parte, también causan daños significativos al alimentarse de las hojas, lo que provoca decoloración y deformaciones (Anaya y Espinosa, 2006; Guillén-Andrade et al., 2019).

Las bacterias también pueden causar enfermedades en las plantas, aunque son menos comunes que los hongos. Estas bacterias generan manchas en las hojas, pudrición de los frutos, marchitez y necrosis en diversas partes de la planta. Algunos ejemplos de bacterias fitopatógenas incluyen *Xanthomonas* spp.,

*Pseudomonas* spp. y *Erwinia* spp. Los virus son agentes infecciosos que también pueden afectar a las plantas, causando síntomas como manchas, deformaciones y enanismo en las hojas, y se transmiten a través de insectos vectores (Anaya y Espinosa, 2006; Guillén-Andrade et al., 2019).

Las plantas han desarrollado diversas estrategias de defensa contra sus depredadores, entre ellas adaptaciones físicas como las espinas o la producción de diversas sustancias químicas llamadas metabolitos secundarios como los flavonoides, fenoles, taninos, cumarinas, alcaloides, terpenoides y esteroides. Estas sustancias tienen actividad biológica que impide que hongos, insectos, bacterias o virus ataquen a los vegetales, protegiéndolos de manera natural (Anaya y Espinosa, 2006; Camacho-Escobar et al., 2020; Guillén-Andrade et al., 2019).

A continuación, se resume la actividad antimicrobiana de los extractos de la semilla de aguacate frente a distintos microorganismos.

Los estudios descritos en la Tabla 1 revelan la capacidad antimicrobiana de los extractos de la semilla de aguacate contra hongos y bacterias empleando diferentes solventes y variedades de aguacate.

De acuerdo con ello se puede inferir que la semilla de aguacate contiene numerosas moléculas bioactivas poco aprovechadas como ácidos fenólicos, taninos, terpenoides, alcaloides, flavonoides, que inhiben el proceso de desarrollo de hongos y bacterias (Hernández-Martínez et al., 2022; Tremocoldi et al., 2018; David et al., 2022).

Las diferentes variedades de aguacate Hass, Negra de la Cruz, Pinkerton, entre otras, mostraron variaciones en su actividad antimicrobiana, lo que puede estar relacionado con la variabilidad en la composición química de las semillas. Por ejemplo, en el estudio de Flores et al. (2019), menciona que las semillas de aguacate Negra de la Cruz y Hass demostraron ser efectivas contra bacterias Gram positivas, pero no contra Gram negativas, sugiriendo que la resistencia de ciertas bacterias podría estar asociada a la presencia de compuestos específicos en cada variedad.

Otro factor importante que estaría influyendo en la actividad antimicrobiana es el solvente utilizado.

**Tabla 1. Tendencias reportadas en la actividad antimicrobiana de extractos de semilla de aguacate (*Persea americana*) según solvente y microorganismo evaluado**

Variedad	Solvente principal	Tipo de microorganismo	Tendencia de actividad	Referencia
<b>Hass, Negra de la Cruz</b>	etanol/agua; metanol/agua; acetato de etilo	<i>Staphylococcus aureus</i> (G+) <i>Bacillus cereus</i> (G+) <i>Escherichia coli</i> (G-) <i>Salmonella</i> spp. (G-)	Mayor susceptibilidad en bacterias Gram positivas; mayor resistencia en Gram negativas	Flores et al., 2019
<b>Hass</b>	metanol	<i>Staphylococcus aureus</i> (G+) <i>Escherichia coli</i> (G-)	Actividad antibacteriana moderada, inferior a la de antibióticos estándar	Bahru et al., 2019
<b>Hass</b>	Agua caliente; metanol/acetona	<i>Staphylococcus aureus</i> (G+) <i>Escherichia coli</i> (G-) <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (G-)	Actividad limitada; mejor desempeño con solventes orgánicos	Fernández-Castañeda et al., 2018
<b>Pinkerton</b>	etanol	<i>Staphylococcus aureus</i> (G+) <i>Bacillus subtilis</i> (G+) <i>Escherichia coli</i> (G-)	Actividad antimicrobiana sinérgica dependiente de la formulación	Skenderidis et al., 2021
<b>Varias</b>	etanol	<i>Staphylococcus aureus</i> (G+) <i>Bacillus cereus</i> (G+)	Buen desempeño frente a <i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Bacillus cereus</i>	Amado et al., 2019
<b>Breda, Margarita</b>	etanol	Hongos fitopatógenos <i>Botrytis cinerea</i> <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> <i>Monilinia fructicola</i>	Efecto inhibitorio temporal; pérdida de actividad con el tiempo	Fagundes et al., 2018
<b>No aplica</b>	propilenglicol/agua	Hongos (principalmente <i>Botrytis cinerea</i> )	Efecto fungistático frente a <i>Botrytis cinerea</i>	Echenique-Martínez et al., 2021

**Nota:** Los estudios revisados emplean metodologías y distintas unidades de medición (zonas de inhibición, porcentajes de inhibición y concentración mínima inhibitoria [CMI]), por lo que los resultados deben interpretarse como tendencias generales y no como valores directamente comparables. G+: Gram positiva; G-: Gram negativa.

La selección del solvente podría influir en la capacidad de extraer compuestos específicos que tienen actividad antimicrobiana. Diversos estudios han determinado que solventes polares como el agua, etanol, metanol y el propilenglicol son capaces de extraer componentes bioactivos como fenoles, flavonoides, saponinas y polisacáridos a diferencia de solventes apolares como el hexano, diclorometano que extraen compuestos lipofílicos como terpenos y ciertos ácidos grasos (Rodríguez-Carpena et al., 2011, Nguyen y Nguyen, 2021). Estos componentes tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de bacterias y hongos, destruyendo su membrana

celular, reprimiendo su metabolismo e impidiendo su crecimiento (Rodríguez y Nereyda, 2011).

Los extractos en etanol, metanol y acetato de etilo mostraron alta efectividad contra bacterias Gram positivas como *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus*, según los resultados de Amado et al. (2019) y Bahru et al. (2019). Esto sugiere que estos solventes son capaces de extraer compuestos bioactivos como flavonoides y fenoles que son conocidos por sus propiedades antimicrobianas (Sierra-Castrillo et al., 2020).

Por otro lado, los extractos en agua, como se observó en el estudio de Fernández-Castañeda et al., (2018), no fueron efectivos contra bacterias Gram positivas, lo que indica que el agua podría no ser un solvente adecuado para extraer ciertos compuestos lipofílicos responsables de la actividad antimicrobiana.

El estudio de Fagundes et al., (2018) demostró que los extractos etanólicos de semillas de aguacate Breda y Margarita son efectivos contra *Colletotrichum gloeosporioides* y *Monilinia fructicola*, aunque la efectividad disminuyó con el tiempo, sugiriendo que la estabilidad de los compuestos activos podría ser un factor limitante.

El uso de solventes como propilenglicol y agua destilada para enriquecer extractos con acetogéninas, como en el estudio de Echenique-Martínez (2021) ha mostrado un efecto fungistático contra *Botrytis cinerea*, lo que indica que ciertos compuestos específicos en las semillas de aguacate pueden ser aprovechados para desarrollar tratamientos naturales contra hongos patógenos.

## CONCLUSIÓN

A lo largo de este trabajo se ha puesto en evidencia que la semilla de aguacate (*Persea americana*), frecuentemente considerada un residuo sin valor, encierra un potencial que merece ser observado con mayor atención desde la química y las ciencias aplicadas. En un contexto marcado por la búsqueda de alternativas más sostenibles a los antimicrobianos sintéticos, los resultados revisados muestran que este subproducto agroindustrial puede constituir una fuente interesante de compuestos con actividad biológica.

Más allá de las diferencias metodológicas entre los estudios analizados, existe un patrón común que atraviesa la mayoría de los resultados: la elección del solvente es un factor determinante en la actividad antimicrobiana de los extractos. En particular, las mezclas hidroalcohólicas de etanol y agua, con proporciones cercanas al 70–80 % v/v de etanol, son las que de manera más consistente conducen a extractos con mayor capacidad inhibitoria. En estos sistemas se reportan zonas de inhibición entre 18 y 30 mm frente a bacterias Gram positivas como *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus*, mientras que las bacterias Gram negativas presentan

una respuesta más variable y generalmente menos marcada. Las concentraciones mínimas inhibitorias, situadas habitualmente en el rango de 0,5 a 4 mg/mL, refuerzan la idea de una actividad moderada pero reproducible.

En el caso de los hongos fitopatógenos, los extractos obtenidos con etanol o metanol también muestran una inhibición relevante del crecimiento micelial, con porcentajes de inhibición que pueden alcanzar valores cercanos al 80–85 % en especies como *Monilinia fructicola*, *Botrytis cinerea* y *Colletotrichum gloeosporioides*. No obstante, varios estudios coinciden en señalar que este efecto es principalmente fungistático y dependiente del tiempo, lo que invita a considerar la estabilidad de los compuestos bioactivos como un aspecto clave en futuras aplicaciones.

Cuando se contrastan estos resultados con los obtenidos a partir de extractos acuosos o de solventes poco polares, la diferencia es evidente. El agua, utilizada de forma aislada, muestra una capacidad limitada para extraer los metabolitos responsables de la actividad antimicrobiana, mientras que los solventes apolares presentan una eficacia selectiva que no alcanza los niveles observados con los sistemas hidroalcohólicos. Este comportamiento refuerza la importancia de trabajar con solventes de polaridad intermedia, capaces de solubilizar de manera equilibrada compuestos fenólicos, flavonoides, taninos y acetogéninas.

En conjunto, la evidencia revisada permite afirmar que la mezcla etanol-agua (70–80 % v/v) representa, hasta el momento, la opción más eficiente y reproducible reportada para la obtención de extractos de semilla de aguacate con actividad antimicrobiana relevante. Más allá de identificar una “mejor” formulación, estos resultados invitan a repensar el valor de los residuos agroindustriales desde una perspectiva química y sostenible, donde el conocimiento analítico puede contribuir a transformar materiales descartados en recursos con aplicaciones potenciales en agricultura, agroindustria y educación científica.

Este trabajo no pretende cerrar el tema, sino abrir la puerta a investigaciones futuras que, mediante metodologías más estandarizadas y enfoques interdisciplinarios, permitan profundizar en el aprovechamiento responsable de la semilla de aguacate y otros subproductos vegetales. En ese

sentido, la química se posiciona no solo como una herramienta de análisis, sino también como un puente entre el conocimiento científico y las necesidades reales de un desarrollo más sostenible.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Alvarado, J., Valencia, C. A., Castillo, M. R., Luna, P. D., Borboa, J. A., Mexia, M. E., & Ruiz, N. C. (2019). Agroquímicos organofosforados y su potencial daño en la salud de trabajadores agrícolas del campo sonorense. *CIENCIA Ergo Sum*, 26(1), 1–11. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n1a8>
- Álvarez Flores, J. J. ., Vite Cevallos, H. ., Garzón Montealegre, V. J. ., & Carvajal Romero, H. . (2021). Análisis de la producción de aguacate en el Ecuador y su exportación a mercados internacionales en el periodo 2008 al 2018. *Revista Metropolitana De Ciencias Aplicadas*, 4(Suplemento 1), 164-172. <https://doi.org/10.62452/0qmq0530>
- Amado, D. A. V., Helmann, G. A. B., Detoni, A. M., de Carvalho, S. L. C., de Aguiar, C. M., Martin, C. A., Tiuman, T. S., & Cottica, S. M. (2019). Antioxidant and antibacterial activity and preliminary toxicity analysis of four varieties of avocado (*Persea americana* Mill.). *Brazilian Journal of Food Technology*, 22, 1–11. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.04418>
- Amaya, E., Sastoque, P. A., & Acero, J. (2021). Efectividad de los aceites esenciales de *Thymus vulgaris* (Tomillo) y *Origanum vulgare* subsp. *Hirtum* (Orégano griego) probados contra *Ralstonia solanacearum* fitopatógeno del cultivo de *Solanum lycopersicum* (Tomate). *Revista Environment & Technology*, 2(1). <https://doi.org/10.56205/ret.2-1.1>
- Anaya, A., & Espinosa, F. (2006). La Química que entretiene a los seres vivos. *Ciencias*, 83, 4–13.
- Avalos, A., & Perez, E. (2012). Plaguicidas Botánicos: Una alternativa a tener en cuenta. *Fitosanidad*, 16(1), 51–59. <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/viewFile/798/814>
- Bahru, T. B., Tadele, Z. H., & Ajebe, E. G. (2019). A Review on Avocado Seed: Functionality, Composition, Antioxidant and Antimicrobial Properties. *Chemical Science International Journal*, 27(2), 1–10. <https://doi.org/10.9734/csji/2019/v27i230112>
- Barbosa-Martín, E., Chel-Guerrero, L., González-Mondragón, E., & Betancur-Ancona, D. (2016). Chemical and technological properties of avocado (*Persea americana* Mill.) seed fibrous residues. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 457–463. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.09.006>
- Blair, A., Ritz, B., Wesseling, C., & Beane Freeman, L. (2015). Pesticides and human health. In *Medicine* (Vol. 72, Issue 2).
- Camacho Soliz, S. R., Carme Valdivia, F. C., & Condori Salluco, N. F. (2021). Eficacia de la Palta como Antibacteriano frente a *Mycobacterium Tuberculosis*. *Gaceta Medica Boliviana*, 44(2), 233–239. <https://doi.org/10.47993/gmb.v44i2.235>
- Camacho-Escobar, M. A., Ramos-Ramos, D. A., Ávila-Serrano, N. Y., Sánchez-Bernal, E. I., & López-Garrido, S. J. (2020). Las defensas físico-químicas de las plantas y su efecto en la alimentación de los rumiantes. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(2), 443–453. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.629>
- Cardoso, P., Scarpassa, J. A., Pretto-Giordano, L. G., Otaguiri, E. S., Yamada-Ogatta, S. F., Nakazato, G., Perugini, M., Moreira, I. C., & Vilas-Bôas, G. T. (2016). Antibacterial activity of avocado extracts (*Persea americana* Mill.) against *Streptococcus agalactiae*. *International Journal of Experimental Botany*, 85, 218–224.
- Ceballos, A., & Montoya, S. (2013). Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 103–112.
- Chil-Nunez, I., Molina-Bertran, S., Ortiz-Zamora, L., Dutok, C. M. S., & Souto, R. N. P. (2019). State of the Art of the specie *Persea americana* Mill (avocado). *Amazonia Investiga*, 8(21), 73–86.
- Chirinos, D. T., Castro, R., Cun, J., Castro, J., Peñarrieta Bravo, S., Solis, L., & Geraud-Pouey, F. (2019). Los insecticidas y el control de plagas agrícolas: la magnitud de su uso en cultivos de algunas provincias de Ecuador: la magnitud de su uso en cultivos de algunas provincias de Ecuador. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(1), 1–16. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num1\\_art:1276](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1276)
- Cruz, G., Julcour, C., & Jáuregui, U. (2017). El Estado actual y perspectivas de la degradación de pesticidas por procesos avanzados de oxidación State of the art and perspectives of pesticides degradation by advanced oxidation processes Resumen. *Revista Cubana de Química*, 29(3), 492–516.
- David, D., Alzate, A. F., Rojano, B., Copete-Pertuz, L. S., Echeverry, R., Gutierrez, J., & Zapata-Vahos, I. C. (2022). Extraction and characterization of phenolic compounds with antioxidant and antimicrobial activity from avocado seed (*Persea americana* mill). *Bionatura*, 7(4). <https://doi.org/10.21931/RB/2022.07.04.51>
- Del Puerto, A. M., & Suárez, S. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372–387.
- Duran, A., González, M. I., & Vargas, G. (2017). Situaciones de riesgo potencial relacionadas con la aplicación de agroquímicos en los sistemas hortícolas. *Agronomía Costarricense*, 41, 1–13.
- Echavarría, A., D'Armas, H., Matute, N.-L., Jaramillo, C., Rojas, L., & Benítez, R. (2016). Evaluación de la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios de ex-

- tractos de dieciséis plantas medicinales. *Revista Ciencia UNEMI*, 9, 29–35.
- Echenique-Martínez, A. A., Rodríguez-Sánchez, D. G., Troncoso-Rojas, R., Hernández-Brenes, C., Robles-Ozuna, L. E., & Montoya-Ballesteros, L. C. (2021). Antifungal effect of acetogenins from avocado (*Persea americana* Mill.) seed against the fungus *Botrytis cinerea*. *International Food Research Journal*, 28(5), 1078–1087. <https://doi.org/10.47836/ifrj.28.5.21>
- Ejiofor, N. C., Ezeagu, I. E., Ayoola, M. B., & Umera, E. A. (2018). Determination of the Chemical Composition of Avocado (*Persea Americana*) Seed. *Advances in Food Technology and Nutritional Sciences-Open Journal*, SE(2), S51–S55. <https://doi.org/10.17140/aftnsoj-se-2-107>
- Fagundes, M. C., de Oliveira, A. F., de Carvalho, V. L., Ramos, J. D., dos Santos, V. A., & Rufini, J. C. M. (2018). Alternative Control of Plant Pathogen Fungi Through Ethanolic Extracts of Avocado Seeds (*Persea Americana* Mill.). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 61. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2018180052>
- Fernández-Castañeda, L. A., Arias-Candamil, H., Zapata-Torres, B., & Ardila-Castañeda, M. P. (2018). Evaluation of the antimicrobial capacity of Hass avocado seed extract (*Persea americana*) for potential application in the meat industry. *DYNA*, 85(207), 346–350. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.72980>
- Flores, M., Ortiz-Viedma, J., Curaqueo, A., Rodriguez, A., Dovale-Rosabal, G., Magaña, F., Vega, C., Toro, M., López, L., Ferreyra, R., & Defilippi, B. G. (2019). Preliminary Studies of Chemical and Physical Properties of Two Varieties of Avocado Seeds Grown in Chile. *Journal of Food Quality*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3563750>
- Flores-Bedregal, E., Puelles-Román, J., Mendoza-Moncada, A., Chacon-Rodriguez, K., Terrones-Ramirez, L., & Mendez-Vilchez, W. (2023). In vitro antifungal activity of blueberry branches/leaves and avocado seed extracts against *Botrytis* sp. *Agroindustrial Science*, 13(2), 55–66. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2023.02.01>
- González, C. A., Robledo, M. de L., Medina, I. M., Velázquez, J. B., Girón, M. I., Quintanilla, B., Patricia, O., Pérez, N. E., & Rojas, A. E. (2010). Patrón de uso y venta de plaguicidas en Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(3), 221–228.
- Guillén-Andrade, H., Escalera-Ordaz, A. K., Torres-Gurrola, G., García-Rodríguez, Y. M., Espinosa García, F. J., & Tapia-Vargas, L. M. (2019). Identificación de nuevos metabolitos secundarios en *Persea americana* Miller variedad *Drymifolia*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23, 253–265. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2025>
- Haggerty, C. J. E., Delius, B. K., Jouanard, N., Ndao, P. D., De Leo, G. A., Lund, A. J., Lopez-Carr, D., Remais, J. V., Riveau, G., Sokolow, S. H., & Rohrer, J. R. (2023). Pyrethroid insecticides pose greater risk than organophosphate insecticides to biocontrol agents for human schistosomiasis. *Environmental Pollution*, 319, 120952. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120952>
- Hernández-Martínez, M. A., Suárez-Rodríguez, L. M., López-Meza, J. E., Ochoa-Zarzosa, A., Salgado-Garciglia, R., Fernández-Pavia, S. P., & López-Gómez, R. (2022). Antifungal Activity of Avocado Seed Recombinant GASA/Snakin PaSn. *Antibiotics*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/antibiotics11111558>
- Leite Giffoni, J. J., Brito Salles, H. É., Cordeiro, R. A., Brillhante Nogueira, S. R., Sidrim, C. J. J., Medeiros Bertini, L., Rocha Gadelha, F. M., & Maia De Moraes, S. (2009). Chemical composition, toxicity and larvicidal and antifungal activities of *Persea americana* (avocado) seed extracts. *Revista Da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 42(2), 110–113.
- Leon-Ttacca, B., Yactayo-Yataco, R. J., Astete-Farfán, A., Mattos-Calderón, L. L., & Arestegui-Cantoral, J. C. (2022). Antibiosis y micoparasitismo de hongos endófitos sobre el agente causal del moho gris del arándano (*Botrytis cinerea*). *Bioagro*, 34(3), 209–220. <https://doi.org/10.51372/bioagro343.1>
- Mareggiani, G., Zamuner, N., & Angarola, G. (2010). Efecto de extractos acuosos de dos meliáceas sobre *Meloidogyne incognita* (Nematoda, meloidogynidae). *Revista Latinoamericana de Química*, 38(1), 68–73.
- Mesa, v, Marín, P., Ocampo, O., & Monsalve, Z. (2019). Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo de hongos fitopatógenos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 45(1), 23–30.
- Nguyen, T.-V.-L., & Nguyen, Q.-D. (2021). Comparison of Phytochemical Contents, Antioxidant and Antibacterial Activities of Various Solvent Extracts Obtained from ‘Maluma’ Avocado Pulp Powder. *Molecules*, 26(7693), 738–754. <https://doi.org/10.3390/molecules>
- Onyekachi, C., Bride, W., Nwaoguikpe, R. N., & Ujowundu, C. O. (2011). Biochemical composition and antimicrobial activities of seed extracts of avocado (*Persea americana*). *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, 3(7), 184–190.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación -FAO. (2010). *Código internacional de conducta sobre la distribución y utilización de plaguicidas Directrices para el desarrollo de políticas de manejo de plagas y plaguicidas*.
- Ortíz, I., Avila-Chávez, M. A., & Torres, L. G. (2013). Plaguicidas en México: usos, riesgos y marco regulatorio. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 4(1), 3. <https://doi.org/10.7603/s40682-013-0003-1>
- Quintana Obregón, E. A., Sánchez Mariñez, R. I., Cortez Rocha, M. O., & González Aguilar, G. A. (2017). Actividad antifúngica in vitro de mezcla de terpenos de naranja contra *Alternaria tenuissima*. *Scientia Fungorum*, 45(45), 7–12. <https://doi.org/10.33885/sf.2017.0.1163>
- Rajak, P., Roy, S., Ganguly, A., Mandi, M., Dutta, A., Das, K., Nanda, S., Ghanty, S., & Biswas, G. (2023). Agricultural

- pesticides – friends or foes to biosphere? *Journal of Hazardous Materials Advances*, 10, 100264. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100264>
- Ramírez, J., & Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: Clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Academia*, 2, 67–75.
- Rodríguez, S., & Nereyda, E. (2011). USO DE AGENTES ANTIMICROBIANOS NATURALES EN LA CONSERVACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS. *Ra Ximhai*, 7(1), 253–170.
- Rodríguez-Carpena, J. G., Morcuende, D., Andrade, M. J., Kylli, P., & Estevez, M. (2011). Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, in vitro antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10), 5625–5635. <https://doi.org/10.1021/jf1048832>
- Rojas, D., & Santoyo, G. (2018). Bacterias endófitas de plantas y su posible repercusión en la salud humana. *Milenaria, Ciencia y Arte*, 8(13), 25–27.
- Sánchez-Quezada, V., Gaytán-Martínez, M., Recio, I., & Loarca-Piña, G. (2023). Avocado seed by-product uses in emulsion-type ingredients with nutraceutical value: Stability, cytotoxicity, nutraceutical properties, and assessment of in vitro oral-gastric digestion. *Food Chemistry*, 421, 136118.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., Kohli, S. K., Yadav, P., Bali, A. S., Parihar, R. D., Dar, O. I., Singh, K., Jasrotia, S., Bakshi, P., Ramakrishnan, M., Kumar, S., Bhardwaj, R., & Thukral, A. K. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1446. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
- Sierra-Castrillo, J., Gómez-Rave, L., Muñoz, A., Ramírez-Hoyos F, Patiño-Rojas, I., Zapata-Baron, S., León-Rojas D, & Bermúdez-Pirela, V. (2020). Evaluación de la actividad antimicrobiana in vitro de extractos de *Persea americana* (Aguacate) variedad Choquette sobre el crecimiento de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. *Kasmera*, 48(2), 48230835. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4064181>
- Skenderidis, P., Leontopoulos, S., Petrotos, K., Mitsagga, C., & Giavasis, I. (2021). The In Vitro and In Vivo Synergistic Antimicrobial Activity Assessment of Vacuum Microwave Assisted Aqueous Extracts from Pomegranate and Avocado Fruit Peels and Avocado Seeds Based on a Mixtures Design Model. *Plants*, 10(1757). [https://doi.org/10.3390/plants10\(1757\)](https://doi.org/10.3390/plants10(1757))
- Tremocoldi, M. A., Rosalen, P. L., Franchin, M., Massarioli, A. P., Denny, C., Daiuto, É. R., Paschoal, J. A. R., Melo, P. S., & De Alencar, S. M. (2018). Exploration of avocado by-products as natural sources of bioactive compounds. *PLOS ONE*, 13(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192577>
- Vélez-Terranova, M., Campos Gaona, R., & Sánchez-Guerrero, H. (2014). Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la metanogénesis ruminal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), 489–499.
- Vidaver, A. K., & Lambrecht, P. A. (2006). Las Bacterias como Patógenos Vegetales. *The Plant Health Instructor*. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2006-0601-01>
- Vivero, Ariel., Valenzuela, R., Valenzuela, Alfonso., & Morales, G. (2019). Bioactive compounds and potential health benefits of avocado. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(4), 491–498. <https://doi.org/10.4067/S0717-7518201900040049>

*Artículo de Revisión*

## EL GÉNERO *ALLIUM* L. (AMARYLLIDACEAE) Y SU ACTIVIDAD BIOLÓGICA

### THE GENUS *ALLIUM* L. (AMARYLLIDACEAE) AND ITS BIOLOGICAL ACTIVITY

Dayana Borja-Espín\* , Irma Tipantuña-Millingalli<sup>ORCID</sup>, Javier Santamaría-Aguirre<sup>ORCID</sup>,  
Carmita Reyes-Tello<sup>ORCID</sup> y Rommy Terán-Soto<sup>ORCID</sup>

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

\*Autor de correspondencia: [dpborja@uce.edu.ec](mailto:dpborja@uce.edu.ec)

Recepción: 08 de noviembre 2024; Aceptación: 14 de enero de 2026; Publicación: 26 de abril de 2026

Bitā iscipſam, ſequam experit reſt apietur modigni ſſinctuſa voluptur ſum ellatur, odipisnim raerit dolorep elician-  
dame de pel mo corro voluptat quam enis non conem lab int am, quia dolore laccae. Udici blandem ſaperfe reſſunda  
perro blabo. Me pa audipsuntus earum eius ſitem rehenim ipidiat quaepe vende et officiū ſcipſum int.

Dus ut ilitas quis ex et qui voluptas eſ el incturia velicid electatur aceſtiur maionecatis ius, occae autem quatur ad

**Forma sugerida de citar:** Borja-Espín D, Tipantuña-Millingalli I, Santamaría-Aguirre J, Reyes-Tello C, Terán-Soto R. (2026). *El género Allium L. (Amaryllidaceae) y su actividad biológica*. *InfoAnalítica*, 14 (1), 14-27. <https://doi.org/10.26807/ia.v14i1.298>

© 2026 Los autores. Publicado por Revista InfoAnalítica. Este artículo es de acceso abierto y se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-SA 4.0), que permite el uso, distribución, adaptación y reproducción en cualquier medio o formato, siempre que se cite adecuadamente la obra original y que las obras derivadas se distribuyan bajo la misma licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## RESUMEN

El presente artículo evalúa las diversas actividades biológicas de especies vegetales pertenecientes al género *Allium* spp. mediante el análisis de 80 trabajos de investigación relacionados con esta temática. Las especies de este género presentan diversos metabolitos secundarios que, aunque generalmente se encuentran en concentraciones relativamente bajas, exhiben una elevada potencia biológica. Entre los compuestos más representativos destacan los metabolitos sulfurados, como la alicina, y el flavonoide quercetina, identificados principalmente en extractos acuosos y alcohólicos. El análisis bibliográfico mostró que el género *Allium* spp. posee capacidad antioxidante, además de múltiples actividades farmacológicas, entre ellas efectos antibacterianos, antiinflamatorios, anticancerígenos, inmunomoduladores, cardioprotectores, antivirales y asociados al control del peso corporal. La mayoría de los metabolitos activos responsables de estas actividades biológicas corresponden a compuestos organosulfurados; mientras que los efectos anticancerígenos y relacionados con el control de la obesidad se asocian principalmente con la actividad del flavonoide quercetina. Asimismo, se evidenció que las especies de mayor interés en estudios de actividad biológica corresponden a *A. sativum* y *A. cepa*. En contraste, *A. fistulosum* y *A. ursinum* han sido evaluadas en menor medida, reportándose principalmente estudios relacionados con actividades antibacterianas y antiparasitarias. Aunque se dispone de monografías para algunas especies de *Allium* spp., en las cuales se sugieren dosis terapéuticas para determinadas patologías, resulta necesario profundizar en la investigación para establecer recomendaciones específicas y fundamentadas para cada una de estas especies.

**Palabras clave:** *Allium*, actividad antiviral, compuestos sulfurados, extractos, flavonoides.

## ABSTRACT

This article evaluates the diverse biological activities of plant species belonging to the genus *Allium* spp. through the analysis of 80 research studies related to this topic. Species of this genus contain a variety of secondary metabolites which, although generally present in relatively low concentrations, exhibit high biological potency. Among the most representative compounds are sulfur-containing metabolites, such as allicin, and the flavonoid quercetin, which are mainly identified in aqueous and alcoholic extracts. The bibliographic analysis showed that the genus *Allium* spp. possesses antioxidant capacity as well as multiple pharmacological activities, including antibacterial, anti-inflammatory, anticancer, immunomodulatory, cardioprotective, antiviral, and weight-management effects. Most of the active metabolites responsible for these biological activities correspond to organosulfur compounds, while the anticancer effects and those associated with obesity control are mainly related to the biological activity of the flavonoid quercetin. Furthermore, it was observed that the species most frequently studied for biological activity correspond to *A. sativum* and *A. cepa*. In contrast, *A. fistulosum* and *A. ursinum* have been evaluated to a lesser extent, with studies mainly reporting antibacterial and antiparasitic activities, respectively. Although monographs are available for some species of *Allium* spp., in which therapeutic dosages are suggested for certain pathologies, further research is required to establish specific and well-supported recommendations for each of these species.

**Keywords:** *Allium*, antiviral activity, extracts, flavonoids, sulfur compounds.

## INTRODUCCIÓN

El género *Allium* pertenece a la familia Amaryllidaceae. Las especies de esta familia son plantas monocotiledóneas herbáceas, generalmente bienales, caracterizadas por presentar un tallo verdadero localizado en la base de la planta, conocido como bulbo. Este tallo es corto, comprimido y achatado con forma de disco, a partir del cual se originan las hojas, raíces y, eventualmente, yemas. El tallo verdadero crece progresivamente para permitir la producción continua de raíces y hojas, ensanchándose de manera radial hasta adquirir una forma similar a la de un cono invertido. El conjunto de las vainas o bases concéntricas de las hojas forma el pseudotallo o “falso tallo” de la planta. Las hojas crecen opuestas entre sí y de forma alterna a partir del meristemo o yema apical del tallo (Roula, 2022).

Entre las especies del género *Allium* más utilizadas en Ecuador se encuentran *Allium ampeloprasum* var. *porrum* (puerro), cultivada ampliamente en los Andes ecuatorianos; *Allium ascalonicum* (cebolla escalonada), cultivada en la provincia de Manabí; *Allium cepa* (cebolla paiteña), cultivada en las provincias de Azuay, Galápagos, Los Ríos y Napo; *A. cepa* var. *agregatum* (puka cebolla), cultivada en la provincia de Imbabura; *Allium fistulosum* (perpetua), cultivada en la provincia de Cañar; y *Allium sativum* (ajo, cebolla jívora), cultivada en las provincias de Cañar, Imbabura y Pichincha (de la Torre, 2008; Freire-Fierro, 2004).

Las diferentes especies vegetales del género *Allium* han sido utilizadas desde la antigüedad por los pueblos ecuatorianos con el fin de prevenir o tratar dolencias y enfermedades. Con estos antecedentes nace el interés de conocer los diferentes beneficios biológicos que presentan estas especies en la profilaxis y tratamiento de diferentes enfermedades de tipo respiratorio, cardiovascular, intestinal, inmunitarias, bacterianas, entre otras (Acosta, 1992).

En relación con la actividad biológica de las especies del género *Allium*, su composición química puede variar de acuerdo con la especie y con las características ecológicas del entorno. En estas plantas se han identificado compuestos como proteínas, grasas, azúcares totales, cenizas, agua y diversos minerales, entre ellos sodio, potasio, hierro, calcio, fósforo, azufre y zinc, además de vitaminas como tiamina, riboflavina, niacina y biotina. A estos componentes primarios se suman metabolitos secundarios, identificados en diversos

estudios científicos, que han despertado un notable interés en la investigación de los compuestos presentes en el ajo. Entre ellos destaca el disulfuro de alilo, responsable de su olor característico (Villa, 2021).

El ajo es una planta que presenta una elevada concentración de compuestos azufrados, entre los que se encuentran principalmente aliína, alicina, ajoeno, trisulfuro de dialilo, S-alilcisteína y disulfuro de alilpropilo, entre otros. Asimismo, se han identificado enzimas relacionadas con la actividad antimicrobiana, como la alinasa, la peroxidasa y la mirosinasa. Además, se han reportado otros compuestos bioactivos, como los flavonoides quercetina y catequina (Loría, 2021).

Los metabolitos secundarios confieren a este género diversas propiedades biológicas que le permiten actuar sobre distintas patologías, particularmente enfermedades degenerativas como la obesidad y las enfermedades cardiovasculares, asociadas con la acción de radicales libres que generan estrés oxidativo en las células. En este contexto, la capacidad antioxidante de las especies del género *Allium* resulta de especial interés (Arellano-Buendía, 2022).

Los procesos inflamatorios presentes en las enfermedades autoinmunes pueden desencadenar una respuesta inflamatoria innecesaria o excesiva al momento de presentarse un decaimiento o enfermedad. Por ello, las actividades antiinflamatoria y anticancerígena de estas especies resultan beneficiosas para la salud.

Actualmente, el uso inadecuado de antimicrobianos ha favorecido la aparición de cepas con resistencia intermedia y extendida a estos compuestos. Esta situación ha impulsado la búsqueda de nuevas estrategias terapéuticas capaces de tratar enfermedades causadas por dichos microorganismos. En este contexto, el estudio de la actividad antimicrobiana del género *Allium* adquiere una gran importancia.

Otras actividades biológicas menos estudiadas, pero igualmente interesantes, asociadas a estas especies incluyen efectos inmunomoduladores, cardioprotectores y relacionados con el control de la obesidad, los cuales se vinculan con la regulación de citoquinas proinflamatorias (Miteva, 2024).

El género *Allium* incluye plantas ampliamente conocidas como el ajo, la cebolla y el puerro. Estas especies han sido utilizadas desde la antigüedad por sus propiedades medicinales, atribuidas principalmente a la presencia de compuestos bioactivos con actividad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria, anticancerígena, inmunomoduladora, cardioprotectora y relacionada con el control de la obesidad. Diversos estudios han demostrado que estos compuestos pueden contribuir a la prevención y al tratamiento de distintas patologías, incluyendo:

- *Enfermedades cardiovasculares*: ayuda a reducir el riesgo de enfermedades cardíacas, como la hipertensión, la aterosclerosis y la trombosis.
- *Enfermedades respiratorias*: previenen y tratan patologías como la bronquitis crónica, el asma y la neumonía.
- *Enfermedades infecciosas*: los compuestos bioactivos presentes en el género *Allium* pueden ayudar a prevenir y tratar infecciones causadas por bacterias, virus y hongos.
- *Enfermedades degenerativas*: la capacidad antioxidante y antiinflamatoria de los compuestos bioactivos presentes en el género *Allium* puede ayudar a prevenir la obesidad, la diabetes y la enfermedad de Alzheimer.
- *Cáncer*: los compuestos bioactivos presentes en el género *Allium* han demostrado ser efectivos en la prevención y tratamiento de ciertos tipos de cáncer, como el cáncer de colon, el cáncer de mama y el cáncer de próstata.

Además, la pandemia de COVID-19 incrementó el interés científico en la identificación de moléculas naturales con potencial terapéutico para combatir o prevenir enfermedades infecciosas. En este contexto, el género *Allium* se ha consolidado como uno de los grupos vegetales más estudiados, debido a la diversidad de compuestos bioactivos presentes en sus especies. Diversas investigaciones han demostrado los beneficios biológicos asociados a estos compuestos, lo que podría favorecer el desarrollo de nuevos fármacos o suplementos alimenticios con aplicaciones en la prevención y tratamiento de diversas patologías.

En general, el género *Allium* constituye una fuente importante de compuestos bioactivos con propiedades medicinales. El estudio de estas especies

podría contribuir al desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas orientadas a la prevención y tratamiento de enfermedades, así como al fortalecimiento de enfoques basados en productos naturales para mejorar la salud humana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda bibliográfica de artículos originales y revisiones en bases de datos científicas en línea, mediante combinaciones de términos como *Allium* y actividad biológica; *Allium sativum* y actividad antioxidante; *Allium fistulosum* y control de la obesidad; y *Allium cepa* y actividad inmunomoduladora o antiviral, entre otros. Se consideraron publicaciones en español e inglés, restringiendo la búsqueda a trabajos publicados a partir de 2008.

Inicialmente se identificaron 90 artículos potencialmente relevantes. Tras la revisión de resúmenes, metodología y conclusiones, se excluyeron 20 documentos por no cumplir con criterios de pertinencia y calidad metodológica, incluyendo artículos publicados entre 1992 y 1997 y 20 revisiones que no presentaban evidencia experimental suficiente. Para el desarrollo del artículo se seleccionaron finalmente 50 estudios originales, en los cuales se analizaron los ensayos reportados, los métodos aplicados y los organismos de prueba.

Las estructuras químicas se elaboraron mediante el software **JSME Molecular Editor (JavaScript)**. Este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto **SENIOR DI-CONV-2021-19 (2022-2024)** de la Facultad de Ciencias Químicas, titulado “*Extracto estabilizado de ajo como inmunomodulador natural, alternativa para nuevas pandemias*”.

## RESULTADOS

Entre las especies comestibles del género *Allium* más estudiadas se encuentran *A. sativum* (Figura 1), *A. fistulosum* (Figura 2), *A. cepa* (Figura 3) y *A. odorum*. Estas especies no solo se utilizan ampliamente en la gastronomía, sino que diversos estudios han demostrado que presentan actividades biológicas beneficiosas para la profilaxis y el tratamiento de enfermedades cardiovasculares, inflamatorias e infecciosas. Asimismo, existen investigaciones sobre especies silvestres del género *Allium*, como *A. ursinum* y *A. oschaninii*, las cuales han

mostrado actividades biológicas relevantes y un considerable potencial terapéutico para el tratamiento de enfermedades como el cáncer (Kothari, 2020) y diversas infecciones bacterianas (Galdiero, 2020).

**Figura 1. *Allium sativum* (ajo)** (Gonzalo, 2021)



**Figura 2. *Allium fistulosum* (cebolla larga)**  
(Herbarium, 2022)



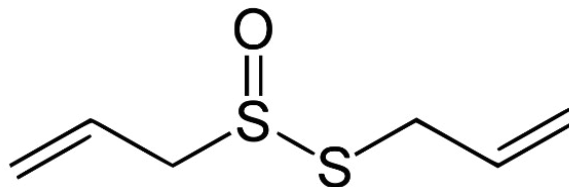
**Figura 3. *Allium cepa* (cebolla paiteña)** (Seeds, 2022)



Los radicales libres son especies altamente reactivas capaces de inducir daño celular, incrementando el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, degenerativas y diversos tipos de cáncer. En este contexto, numerosos estudios han identificado compuestos y moléculas con capacidad antioxidante y potencial terapéutico en la prevención y tratamiento de distintas patologías. Este efecto antioxidante se basa en la estabilización de los radicales libres mediante la cesión de electrones por parte de los antioxidantes.

Este fenómeno ha sido observado en especies del género *Allium*, cuyos metabolitos secundarios presentan propiedades biológicas que contribuyen a la profilaxis y tratamiento de estas enfermedades. Estudios desarrollados por Awan et al. (2019) y Stanisavljević et al. (2020) señalan que el principal responsable del efecto antioxidante del ajo (*A. sativum*) y de *A. ursinum* es el compuesto sulfurado alicina, considerado el metabolito secundario biológicamente más activo en el extracto acuoso de estas especies (Figura 4).

**Figura 4. Alicina** (Cordero, 2020)



González Maza (2017) señala que la actividad antioxidante del ajo constituye uno de los principales mecanismos asociados a su efecto cardioprotector, particularmente en pacientes sometidos a tratamiento con doxorubicina, un agente quimioterapéutico empleado en diversos tipos de cáncer y cuyo principal efecto adverso es la cardiotoxicidad. En este sentido, compuestos como la S-alilcisteína, la S-alilmercaptocisteína, el selenio y la vitamina C actúan frente a la agresión de los peróxidos lipídicos, contribuyendo a la protección del endotelio vascular frente al daño inducido por el peróxido de hidrógeno. Asimismo, participan en la inhibición de la emisión de bajos niveles de quimioluminiscencia y en la formación temprana de TBA-RS (*Thiobarbituric Acid Reactive Substances*), reconocidos como marcadores del daño oxidativo generado por radicales libres (Villa Sánchez, 2021).

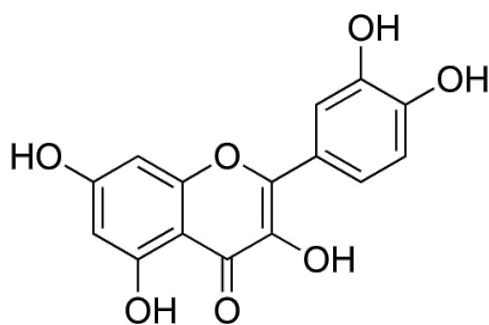
Por otra parte, Suárez Cunza (2014) evaluó la actividad antioxidante de *A. sativum* utilizando metabolitos secundarios azufrados (alicina) y oxigenados (flavonoides). Los resultados demostraron que los extractos acuosos de ajo preparados en tres concentraciones diferentes exhibieron un efecto protector significativo in vitro frente a la lipoperoxidación de los glóbulos rojos humanos.

Estudios realizados en ratas macho Wistar sometidas a estrés oxidativo con cloruro de mercurio; al añadir en diferentes muestras el extracto acuoso de cebolla (*A. cepa*), así como los componentes bioactivos quercetina (Figura 5) y catequina; se observó una mejora significativa de la actividad de la Paraoxonasa (PON1), enzima relacionada principalmente con las lipoproteínas de alta densidad (HDL).

Esto parece contribuir al mantenimiento y recuperación de la estructura y el estado antioxidativo de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Velázquez-Morales, 2021) y a la actividad de eliminación de los radicales libres. En consecuencia, se previene la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y la peroxidación de lípidos (Jaiswal, 2014).

Otro estudio realizado en roedores, en el que se administró bromato de potasio por vía oral como agente oxidante y posteriormente se suministró pienso comercial enriquecido con *A. cepa*, evidenció que esta especie vegetal actuó como una primera línea de defensa antioxidante frente a las especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), contribuyendo a la protección celular y al incremento significativo de la concentración de proteínas totales en hígado, riñón y suero (Nwonuma et al., 2021).

**Figura 5. Quercetina** (Pacheco Coello, 2023)



## ACTIVIDADES BIOLÓGICAS DE LAS ESPECIES VEGETALES DEL GÉNERO *ALLIUM* SPP.

### 1. Actividad antimicrobiana

Hay un número importante de bacterias productoras de toxinas capaces de invadir tejidos e interferir en procesos metabólicos del organismo huésped. Por ello, se ha tratado de dar respuesta a la creciente necesidad de tratamientos antibacterianos inefectivos contra diferentes cepas bacterianas conocidas y emergentes. Numerosos estudios científicos continúan investigando los metabolitos secundarios presentes en especies vegetales. Para el género *Allium* spp. se ha encontrado un potencial aliado para combatir infecciones bacterianas. Lanzotti (2014) analizó el extracto acuoso de *A. sativum*. El autor comprobó que el compuesto sulfurado alicina actúa como un potente antimicrobiano capaz de eliminar cepas de hongos, mohos, levaduras y algunas especies de bacterias. Además, actúa sinérgicamente con otros antibióticos, de manera que potencia la acción de estos contra los microorganismos en los cuales ejercen su acción. La alicina, al romperse y repararse no enzimáticamente, posee mayor estabilidad y actividad frente a organismos micóticos, formando un compuesto llamado ajoene, como indican los estudios de Juárez-Segovia (2019).

Los extractos crudos de ajo presentan efecto inhibitorio sobre el crecimiento de *Aspergillus parasiticus* y *Aspergillus niger*, evidenciando halos de inhibición posterior a las 72 h de incubación. El mayor efecto inhibitorio se observó a las 72 h de incubación lo presentó el extracto al 100%, con halos de inhibición de 12 mm para *A. parasiticus* y 15.5 mm para *A. niger*. De igual manera ocurre con el flavonol quercetina del extracto acuoso del ajo. Éste presentó actividad contra tres cepas bacterianas multirresistentes a antibióticos (MDR, por sus siglas en inglés: Multi-Drug Resistance): *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Mycobacterium smegmatis* (Sharma, 2019). En un estudio desarrollado por Cruz (2016) con dos extractos de *A. cepa* (metanólico y hexanólico) observaron que en la modulación con aminoglucósidos (amikacina, gentamicina) los efectos eran sinérgicos para el extracto metanólico y antagónicos con los extractos hexanólicos contra cepas multirresistentes de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Es importante mencio-

nar que los componentes activos de *Allium cepa* son mayoritariamente solubles en solventes polares, lo que condiciona la forma de evaluación *in vitro*, respecto de la forma de preparación de las diluciones.

El ensayo de Zolfaghari (2021) determinó que el extracto acuoso de *A. fistulosum* es efectivo contra bacterias Gram positivas (*Bacillus subtilis* y *S. aureus*) y Gram negativas (*E. coli* y *P. aeruginosa*). Además, los compuestos fenólicos aromáticos, especialmente el fistuloimidato B, fueron activos contra *E. coli* y *S. aureus* con una concentración mínima inhibitoria (CMI) que supera al antibiótico en una relación de 3 a 5 (Zolfaghari, 2021). Los ensayos también demostraron que *S. aureus* fue más sensible que *E. coli* frente a los compuestos fenólicos probados.

En cuanto a las plantas silvestres de este género, Krstin (2018) observó que los extractos acuosos exhiben una actividad antimicrobiana y antifúngica débil e inespecífica. Sin embargo, se demostró una actividad antiparasitaria relevante de *A. ursinum* contra los parásitos de los géneros *Trypanosoma* y *Leishmania*, mediante la inhibición de los compuestos vitales para el metabolismo de los parásitos por parte de los compuestos de azufre.

En cuanto a las plantas silvestres de este género, Krstin (2018) observó que los extractos acuosos exhiben una actividad antimicrobiana y antifúngica débil e inespecífica. Sin embargo, se demostró una actividad antiparasitaria relevante de *A. ursinum* contra los parásitos de los géneros *Trypanosoma* y *Leishmania*, mediante la inhibición de los compuestos vitales para el metabolismo de los parásitos por parte de los compuestos de azufre.

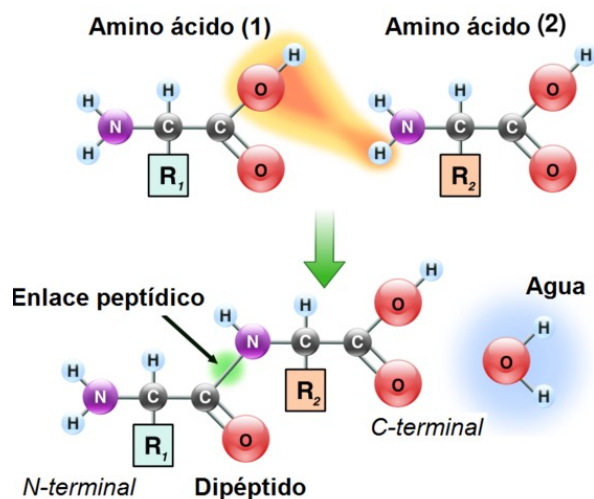
Cabe destacar que el metabolito más eficaz contra microorganismos patógenos es la alicina, del cual se desconoce el mecanismo de acción que ejerce. Sin embargo, se ha descrito que la alicina, en su forma natural como aliína, al contener azufre en su estructura actúa directamente sobre diferentes estructuras microbianas, incluyendo proteínas, enzimas y membrana celular. Esta se transforma en alicina como consecuencia del procesamiento del ajo. El grupo tiol de la alicina reacciona químicamente con diferentes enzimas del microorganismo; entre ellas la tioredoxina reductasa,

proteasas, y algunas relacionadas con la síntesis de ácidos nucleicos del microorganismo, afectando su metabolismo (Lima da Costa da Silva, 2024). Además, al ser la aliína un derivado del aminoácido cisteína puede intervenir en la elongación de aminoácidos de las proteínas bacterianas al establecerse un enlace peptídico entre la aliína y un aminoácido bacteriano como se muestra en la Figura 6. Esto provoca que la estructura difiera de la original, dando lugar a una función biológica diferente y afectando al metabolismo microbiano.

Para que se forme el enlace peptídico (Figura 6) es necesario que exista en las moléculas una parte amino terminal de una molécula y una parte carboxílico terminal de la otra molécula. De esta manera y mediante la acción de la enzima peptidasa se da la unión de las dos moléculas con liberación de una molécula de agua (Pliego Pastrana, 2024). Por lo tanto, la unión entre la aliína y el aminoácido microbiano durante la síntesis de proteínas haría posible su acción antimicrobiana, de tal manera que, la molécula formada tendrá una distinta función biológica a la original o sería afuncional.

#### Figura 6. Enlace peptídico de aminoácidos

(Aminoácido 1=aliína + aminoácido 2) (Pliego Pastrana, 2024)



Por otra parte, la quercetina actúa como un potente bacteriostático que afecta a la síntesis del peptidoglicano y aumenta la permeabilidad de la membrana citoplasmática. Además, inhibe la actividad hemolítica de la alfa toxina y disminuye su secreción (Carrada López, 2017). La alfa-toxina

es una proteína formadora de poros a nivel de la membrana celular bacteriana con actividad citotóxica y secretada por algunas bacterias. Es capaz de producir la necrosis de la piel y provocar la lisis de los eritrocitos (hemólisis), linfocitos, macrófagos, monocitos y células epiteliales alveolares (Carrada López, 2017). El hierro liberado tras la hemólisis es utilizado por los microorganismos a través de sideróforos (moléculas de bajo peso molecular que tienen una alta afinidad por el hierro) (Encyclopedia of Soils in the Environment (Second Edition), 2023). En el contexto de la medicina, los sideróforos son de particular interés debido a su papel en la patogenicidad de muchos microorganismos. Algunas bacterias patógenas, como *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*, producen sideróforos para obtener el hierro necesario para su crecimiento y supervivencia en el cuerpo humano. Además, algunos sideróforos bacterianos pueden incluso captar el hierro de las proteínas de transporte de hierro del hospedero, lo que les permite prosperar en el entorno hostil del cuerpo humano (Encyclopedia of Soils in the Environment (Second Edition), 2023). Este efecto bacteriostático podría utilizarse sinérgicamente con antibióticos convencionales, potenciando su acción biológica (Storani, 2019).

## 2. Actividad antiinflamatoria

La inflamación es una respuesta inespecífica del sistema inmunitario frente a una agresión y da lugar a cambios fisiológicos variados como el incremento del flujo sanguíneo y permeabilidad vascular. La inflamación es capaz de generar distintas patologías como artritis, cardiopatías, colitis, entre otras (Guillamón, 2018).

Las especies reactivas de oxígeno y de nitrógeno se forman como productos del metabolismo celular que pueden tener efectos tóxicos y dañar muchos componentes celulares. Su producción excesiva afecta la homeostasis celular y conduce al estrés oxidativo (Bryan Oronsky, 2022).

Una inflamación aguda no controlada puede volverse crónica y ser la base de una serie de enfermedades degenerativas como el Alzheimer, el Parkinson, la Esclerosis Múltiple y otras enfermedades autoinmunes. Por ejemplo, la producción por parte de neutrófilos y otras células fagocíticas, de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno capaces de oxidar proteínas, lípidos, constituyentes

celulares y causar grave daño al ADN. Esta producción se ve exacerbada en la inflamación crónica donde hay una permanente producción de estas sustancias, lo que lleva a daño celular y de tejidos (Kiss, 2022).

Los metabolitos secundarios sulfurados (alicina, ajoene, alíina) o flavonoides (quercetina) permiten que los mediadores activadores de la inflamación se vean contrarrestados y se inhiban en el proceso inflamatorio. La disminución de la producción de óxido nítrico (NO) y de la expresión del óxido nítrico sintasa inducible (iNOS) disminuye la vasodilatación de los vasos sanguíneos efectores, lo que implica una marcada disminución de la acción de los mediadores inflamatorios, además de inhibir la adhesión y la agregación plaquetaria (González-Costa, 2019).

Elevados niveles de radicales libres, a la vez estimulan enzimas oxidativas como la lipooxigenasa, que cataliza la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados libres para sintetizar hidroperóxidos, implicados en la patogénesis de muchas enfermedades inflamatorias crónicas. El extracto acuoso de ajo tiene efecto terapéutico antiinflamatorio ya que puede ayudar en la inhibición de las enzimas lipooxigenasas (Arman Mahmud Khan, 2023).

Como se puede observar en la Tabla 1, la respuesta antiinflamatoria que los diferentes metabolitos ejercen se da por el bloqueo de la producción o liberación de moléculas mediadoras de la inflamación. Esta acción se da mediante la intervención de los metabolitos sulfurados o flavonoides activos de *Allium* spp. En el proceso inflamatorio, la acción de los estímulos externos e internos, sean de naturaleza biológica, física, química o mecánica, provocan una serie de procesos en el organismo que desencadenan la inflamación aguda o crónica. Dependiendo de la duración de la reacción inmunológica se puede llegar a desarrollar una enfermedad degenerativa como la artritis o incluso el cáncer (Ramírez-Concepción, 2016).

El dialil disulfuro suprime la inflamación al disminuir la expresión de citoquinas proinflamatorias, como TNF- $\alpha$ , IL-1 e IL-6, mediante el bloqueo de la vía de NF- $\kappa$ B (factor nuclear kappa B), lo que contribuye a reducir la aparición de trastornos inflamatorios, como el asma y la colitis ulcerosa, así como de enfermedades degenerativas, como la artritis reumatoide (RamaRao Malla, 2022).

**Tabla 1. Respuesta antiinflamatoria de las especies del género *Allium* spp.**

Especie	Metabolito	Respuesta	Referencias
<i>A. sativum</i>	Ajoeno	Inhibición de la producción de NO, PGE-2, TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ e IL-6	(Hitchcock JK, 2021), (Loría Gutiérrez, 2021)
		Inhibición de la actividad enzimática COX-2	
		Disminución de iNOS	
<i>A. sativum</i>	Alicina	Reducción de la producción de iNOS	(Zugaro, 2023), (Arellano Buendia, 2023) (Gao, 2024)
		Reducción de la acumulación de NO	
		Disminución de la producción de NO, PGE-2, TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ e IL-6 y NF-kB	
<i>A. sativum</i>	Aliína y S- <i>alilcisteína</i>	Disminución de la producción de MCP-1	(Zugaro, 2023)
		Incremento en la producción de TNF- $\alpha$ e IL-1 $\beta$	
		Disminución de IL-6	
<i>A. sativum</i>	Disulfuro de dialilo	Disminución de niveles de IL-10, IL-6, IL-1 $\beta$ y TNF- $\alpha$	(Zugaro, 2023) (El-Saadony, 2024) (Hall, 2017)
		Reducción de la producción de NO	
		Inhibición de la activación de NF-kB	
<i>A. cepa</i> <i>A. sativum</i>	Compuestos sulfurados	Disminución o inhibición de la producción / liberación de IL-6, IL-1 $\beta$ y TNF- $\alpha$	(Guillamón, 2018) (El-Saadony, 2024)
		Reducción de la producción de NO y PGE-2	
		Inhibición de la activación de NF-kB	
<i>A. cepa</i> <i>A. sativum</i>	Compuestos sulfurados	Reducción de la expresión de IL-6, IL-1 $\beta$ , TNF- $\alpha$ , IL-8	(El-Saadony, 2024)
		Bloqueo de la vía de lipopolisacáridos (LPS)	

(Elaborado por D. Borja-Espín)

### 3. Actividad antitumoral / anticancerígena

Una de las enfermedades degenerativas con alta incidencia de morbilidad a nivel mundial es el cáncer, en la que se produce la multiplicación anormal de células, en lugar de ser eliminadas (NCD Alliance, 2022). La proliferación celular descontrolada forma bultos en los tejidos, conocidos como tumores, que pueden ser malignos (cancerosos) o benignos (no cancerosos). Los tumores malignos se diseminan o invaden tejidos cercanos o las células viajan a otras partes del cuerpo, formando nuevos tumores (metástasis) (Hu, 2024). El cáncer se origina por cambios en los genes que controlan el funcionamiento de las células, en especial, la manera en que las células se forman o se multiplican. Estos cambios genéticos pueden ser por

errores durante la multiplicación celular; daños en el ácido desoxirribonucleico (ADN), por la exposición a sustancias ambientales perjudiciales como el humo del tabaco, los alimentos procesados, los rayos ultravioletas y la herencia genética (Hu, 2024). Al tratarse de una enfermedad que no tiene cura aún, se llevan a cabo numerosos estudios científicos como medida de prevención mediante métodos saludables de alimentación, ejercicio, protección de la piel, entre otras (Hu, 2024). El estudio de compuestos con actividad anticancerígena también está en auge.

Compuestos solubles en aceite derivados del ajo como el dialil sulfuro, disulfuro o trisulfuro, ajoene y alicina han mostrado inhibición de la proliferación de varios tipos de células cancerígenas.

Los mecanismos de acción incluyen la activación de enzimas metabolizantes que detoxifican carcinógenos, formación de antioxidantes, inducción de apoptosis, modificación de histonas e inhibición de angiogénesis e invasión celular (Saleh A Almatroodi, 2019).

En el cáncer de seno se ha encontrado que tanto DADS como DATS interfieren con las vías de señalización celular que la apoptosis, la mitosis, la metástasis tumoral y la vascularización, lo que sugiere que podrían ser considerados como inhibidores potenciales de origen natural (RamaRao Malla, 2022).

En el cáncer de próstata hay evidencia de que DATS aporta en reducir la resistencia de las células cancerígenas a la apoptosis debido a que induce muerte celular mediada por ferroptosis ya que participa en la degradación de la proteína ferritina (Ling Lu, 2024).

En el cáncer de colon se ha observado que DATS puede inhibir la angiogénesis, migración e invasión de células tumorales, solo o en combinación con fármacos como el cisplatino en el caso de cáncer gástrico, potenciando su efecto y disminuyendo su toxicidad (Ling Lu, 2024).

La apoptosis mediada por alicina en células de cáncer de colon involucra a Nrf2, un factor antiapoptótico clave que regula la expresión de proteínas antiapoptóticas como la Bcl-2 y Bcl-xL (Vivek D. Savairam, 2023).

#### **4. Inmunomodulación**

Diferentes enfermedades como el cáncer o el SIDA (síndrome de inmunodeficiencia adquirida) debilitan el sistema inmunitario del organismo, al disminuir las células de defensa como los linfocitos T. Sin embargo, existen algunas moléculas capaces de mejorar la respuesta inmunitaria estimulando la producción de células inmunitarias y sanguíneas (NIH, 2019). Numerosos estudios demuestran que metabolitos azufrados de las especies de *Allium* son capaces de estimular la síntesis de moléculas moduladoras del sistema inmune como las citoquinas (Perejón-Rubio, 2021). Entre las moléculas más importantes están los interferones (IFN- $\alpha$ ) que activan los linfocitos citolíticos naturales que pueden destruir células tumorales o infectadas por un virus (NIH, 2019), interleuci-

nas (IL-2 o factor de crecimiento de células T) que incrementan los glóbulos blancos. Las células T citolíticas y los linfocitos citolíticos naturales y células B que atacan las células cancerosas (NIH, 2019). De igual manera, se ha demostrado que la alicina es un potente mitógeno (factor que estimula la división celular) que incrementa la proliferación de células mononucleares (Guillamón, 2018), la producción de citoquinas y la capacidad fagocítica de macrófagos (Moutia, 2018).

#### **5. Control de peso corporal**

La obesidad es considerada un problema de salud pública capaz de generar enfermedades crónicas, como afecciones cardiovasculares cardiovasculares, diabetes, inflamación, presión alta y cáncer (Cooper, 2021). Existe un número limitado de fármacos eficaces y seguros para tratar, a largo plazo, la obesidad. Por todo esto surge la necesidad de nuevas opciones terapéuticas para la pérdida de peso. En este sentido, se evaluó el efecto de extractos de ajo se probó en mujeres obesas, y se observó un descenso en el índice de masa corporal con la ingesta de una tableta de alicina (400 mg en polvo de *Allium sativum* conteniendo 1,100 mcg de alicina por tableta) (Ettehad-Marvasti Fateme, 2022).

La aliina posee un potente efecto anti-obesidad en ratones obesos, lo que resultó en reducción de su peso, así como la disminución de la dislipidemia. Además, suprimió la acumulación de lípidos hepáticos y mejoró el metabolismo de estos (Ming-Yan Yang, 2024).

Otro efecto de la aliina parece estar relacionado con la supresión de la expresión de los genes *Akt* y *PI3K*, relacionados con la adipogénesis, lo que sugiere un potencial efecto terapéutico de esta molécula en enfermedades metabólicas (Ni Li, 2021).

#### **6. Actividad cardioprotectora**

Las enfermedades cardiovasculares constituyen una de las principales causas de muerte en el mundo, en particular la enfermedad arterial coronaria (EAC), que comprende trastornos del corazón y de los vasos sanguíneos (Villarroya, 2018). La EAC ocurre cuando las arterias presentan dificultad para suministrar al corazón suficiente sangre, oxígeno y nutrientes, debido a la presencia

de depósitos o placas de grasa que las obstruyen (OMS, 2023) o provocan inflamación a nivel arterial (Riaz, 2018), lo que puede desencadenar una angina o un infarto (Medline, 2022).

Diversos estudios demostraron que los pacientes que consumieron ajo incrementaron los niveles de la enzima óxido nítrico sintasa, la cual interviene en la formación de óxido nítrico (García-Muñoz, 2015). Este último actúa como vasodilatador de las arterias coronarias (Muñoz-Cano, 2016). De igual manera, se ha descrito el efecto cardioprotector del ajo debido a su acción reductora del colesterol y los triglicéridos en sangre (Du, 2024). También se ha observado una disminución de la placa de ateroma, compuesta por lípidos, tejido fibroso y células inmunocompetentes (Arellano-Buendía, 2022). Finalmente, mediante la capacidad antioxidante del ajo, se disminuyen los radicales libres de oxígeno, lo que se traduce en una reducción de los ácidos grasos gracias a la acción de la quercetina (Nile, 2018).

### 7. Actividad antiviral

A consecuencia de la pandemia de COVID-19 en el año 2020, surgió un gran interés por encontrar fuentes que permitan prevenir, tratar o curar enfermedades virales (Singh, 2023). Si bien el género *Allium*, al igual que muchas otras especies vegetales, no cura estas enfermedades por sí solo, numerosas investigaciones señalan que posee un importante potencial antiviral (Rouf, 2020).

Yaghoubian (2021) refiere que la alicina, uno de los compuestos bioactivos del ajo, posee actividad antiviral *in vivo* frente al resfriado común y que podría inhibir el crecimiento del virus de la influenza H1N1 *in vitro*. En dicho estudio, se evaluó clínicamente a 86 pacientes, divididos en un grupo tratado con alicina y un grupo placebo, encontrándose que el grupo tratado con alicina (L-cisteína) mostró una disminución considerable de síntomas como tos, disnea y mialgia, en comparación con el grupo placebo ( $p < 0.05$  a  $p < 0.01$ ).

Complementando lo anterior, Khubber (2020) señala que la disminución de las infecciones virales causadas por SARS-CoV-2 puede deberse a la presencia de compuestos organosulfurados, como la alicina, y de flavonoides, como la quercetina, presentes en extractos acuosos y aceites esenciales de ajo (Khubber, 2020).

## DISCUSIÓN

La presencia de compuestos fitoquímicos sulfurados en el ajo (*Allium sativum* L.) le provee actividades biológicas sustanciales: acción inmunomoduladora, antiinflamatoria, anticancerígena, antitumoral, antidiabética, anti-ateroesclerótica y cardioprotectora. De esto se deriva la posibilidad de aprovechar este recurso mediante técnicas farmacéuticas como la encapsulación de estas sustancias bioactivas, por ejemplo, en micro- y nanopartículas que permitan mantenerlas estables y biofuncionales, provean formulaciones de liberación retardada e incluso permitan su liberación en sitios específicos de acción (Loría Gutiérrez, 2021).

De acuerdo con varios de los artículos analizados en este documento, los componentes fenólicos presentes en el género *Allium* spp. han demostrado tener amplia actividad biológica. De estos compuestos, la quercetina es por sí sola la responsable de varias de esas actividades biológicas. Como lo corroboran Loira y colaboradores (2021) este flavonoide se encuentra mayormente en la especie *A. cepa*, y en menor cantidad en *A. sativum*; aunque en esta última especie parece generar una actividad sinérgica con los compuestos sulfurados, posiblemente debido a otros flavonoides, especialmente de tipo aromático.

**Actividad antimicrobiana:** Las especies del género *Allium* presentan una potente actividad antimicrobiana, con acción bacteriostática sobre cepas de hongos, mohos, levaduras y bacterias. Esto se debe principalmente a la alicina que está presente en este género y con mayor concentración en el ajo (*Allium cepa*). Además, actúa sinérgicamente con antibióticos y otros compuestos solubles, lo que sugiere que la alicina podría ser un aliado valioso en la lucha contra las infecciones bacterianas. Es importante mencionar que los compuestos fenólicos aromáticos pueden presentar ante ciertas bacterias una concentración mínima inhibitoria (CMI) superior al antibiótico, como lo analizó (Galdiero, 2020).

**Actividades antiinflamatorias, inmunomoduladora, control de peso corporal y cardioprotectora:** Las enfermedades asociadas a procesos inflamatorios son altamente prevalentes en el ser humano, por lo que la investigación en este campo resulta esencial para el desarrollo de alternativas terapéuticas eficaces. En este contexto, los resul-

tados obtenidos por Guillamón (2018) y González (2019) indican que es fundamental considerar estrategias integradas con la dieta que permitan modular de manera equilibrada la respuesta inflamatoria e inmunológica.

Diversos compuestos organosulfurados presentes en especies del género *Allium* han demostrado efectos positivos tanto en la regulación de la respuesta inmune como en el control de la inflamación. Varios de los estudios revisados para este artículo (ver Tabla 1) indican que estos compuestos pueden modular la inmunidad al interferir en la producción o liberación de mediadores proinflamatorios.

Además, estos mismos compuestos contribuyen a la regulación del tejido adiposo, lo cual es relevante en intervenciones para el control de peso corporal. Cabe destacar que procesos como la inflamación crónica (Hall, 2017), la inmunomodulación deficiente (Elberry, 2014) y la acumulación excesiva de tejido adiposo (Chung, 2023) están estrechamente relacionados con el desarrollo de enfermedades crónicas de mayor gravedad, como el cáncer y las patologías cardiovasculares (Gao, 2024).

Sin embargo, las sustancias azufradas y compuestos fenólicos responsables de los beneficios del género *Allium*, son en su mayoría inestables. Por ello el proceso de extracción afecta considerablemente la concentración efectiva de las preparaciones farmacéuticas e incluso la estabilidad de los alimentos que los contienen. (Villa Sánchez, 2021) En este sentido, las investigaciones deben también enfocar sus esfuerzos a obtener sustancias estabilizadas para su incorporación en formas farmacéuticas o alimentos fortificados adecuados para el consumo.

## CONCLUSIÓN

Las principales actividades biológicas que se han reportado para las variedades vegetales del género *Allium* son: antimicrobiana, antiinflamatoria, anticancerígena, inmunomoduladora, antiviral, control de peso y cardioprotectora.

Las especies vegetales del género *Allium* más estudiadas son *A. sativum* y *A. cepa*. No obstante, investigaciones recientes han destacado otras especies con propiedades relevantes. Por ejem-

plo, *Allium fistulosum* ha demostrado actividad antibacteriana, especialmente frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Además, se ha descrito un efecto antiobesidad asociado a la regulación del metabolismo hepático de los lípidos. Por su parte, *Allium ursinum* ha mostrado propiedades antiparasitarias frente a microorganismos como *Trypanosoma* y *Leishmania*, así como una notable capacidad antioxidante atribuida a la alicina y a flavonoides como la quercetina.

Los metabolitos secundarios responsables de la mayoría de las acciones biológicas en especies del género *Allium* son, principalmente, los compuestos sulfurados como la alicina, aliína, S-alil cisteína y ajoeno. Estos compuestos están estrechamente relacionados con efectos antibacterianos, antiinflamatorios e inmunomoduladores.

Por otro lado, el flavonoide quercetina es el principal responsable de las actividades anticancerígena y de control del peso corporal, gracias a su potente acción farmacológica. En cuanto a la actividad cardioprotectora, esta se ve potenciada por la acción combinada de compuestos sulfurados y flavonoides. La quercetina contribuye con su capacidad antioxidante, mientras que la alicina y otros compuestos sulfurados presentes en el ajo aportan efectos antiinflamatorios y de regulación del metabolismo lipídico.

Todas estas actividades y beneficios presentes en el género *Allium* requieren una especial atención en sus especies para generar investigaciones que permitan optimizar el aprovechamiento de mejor manera sus metabolitos, con especial atención en su estabilización.

## AGRADECIMIENTO


Los autores agradecen a la Universidad Central del Ecuador por el financiamiento del proyecto de investigación “Extracto estabilizado de ajo como inmunomodulador natural, alternativa para nuevas pandemias” (SENIOR DI-CONV-2021-19), en cuyo marco se realizó la presente revisión.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Acosta, M. (1992). *Vademécum de plantas medicinales del Ecuador*. Abya-Yala; FESO. <https://bibliotecadigital.uce.edu.ec/s/L-D/item/1148#?c=&m=&s=&cv=>
- Arellano-Buendía, A. S., Juárez-Rojas, J. G., García-Arroyo, F., Aparicio-Trejo, O. E., Sánchez-Muñoz, F., Arguello-García, R., Sánchez-Lozada, L. G., Bojalil, R., & Osorio-Alonso, H. (2023). Antioxidant and anti-inflammatory effects of allicin in the kidney of an experimental model of metabolic syndrome. *PeerJ*, 11, e16132. <https://doi.org/10.7717/peerj.16132>
- Arellano-Buendía, A. S., Juárez-Rojas, J. G., García-Arroyo, F. E., Sánchez-Lozada, L. G., & Osorio-Alonso, H. (2022). Mecanismos moleculares de los efectos benéficos de la alicina sobre la enfermedad cardiovascular. *Archivos de Cardiología de México*, 92(3), 362–370. <https://doi.org/10.24875/ACM.21000196>
- Awan, K. A., Butt, M. S., Ul Haq, I., & Suleria, H. A. R. (2019). Investigating the antioxidant potential of garlic (*Allium sativum*) extracts through different extraction modes. *Current Bioactive Compounds*, 15(1). <https://doi.org/10.2174/1573407213666171024121712>
- Bryan Oronsky, S. C. (2022). What exactly is inflammation (and what is it not?). *International Journal of Molecular Sciences*, 23. <https://doi.org/10.3390/ijms232314905>
- Chung, M. Y. (2023). Antiobesity effects of onion (*Allium cepa*) in subjects with obesity: Systematic review and meta-analysis. *Food Science & Nutrition*, 11(8), 4409–4418. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3426>
- Cooper, S. R. (2021). Sex/gender differences in obesity prevalence, comorbidities, and treatment. *Current Obesity Reports*. <https://doi.org/10.1007/s13679-021-00453-x>
- Cordero, C. (2020, 22 de abril). *Constituyentes químicos y actividad farmacológica del ajo (Allium sativum L.)*. Heaven Biotech. <https://heavenbiotech.cl/constituyentes-quimicos-y-actividad-farmacologica-del-ajo-allium-sativum-l/>
- Cruz, A. J., Brito, I. P., Sobral, M. A., Sousa, A. T., Alves, E. F., Andreza, R. S., & Ribeiro, T. R. (2016). Avaliação da atividade antibacteriana e moduladora dos extratos metanólico e hexânico da folha de *Allium cepa*. *Revista Ciências da Saúde*, 14(2).
- de la Torre, L., Navarrete, H., Muriel M., P., Macía, M. J., & Balslev, H. (Eds.). (2008). *Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador*. Herbario QCA de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador & Herbario AAU del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Aarhus.
- Elberry, A. A.-M. (2014). Immunomodulatory effect of red onion (*Allium cepa* Linn) scale extract on experimentally induced atypical prostatic hyperplasia in Wistar rats. *Mediators of Inflammation*, 640746. <https://doi.org/10.1155/2014/640746>
- Freire-Fierro, A. (2004). *Botánica sistemática ecuatoriana*. Missouri Botanical Garden Press.
- Galdiero, E. D. (2020). *Allium ursinum* and *Allium oshaninii* against *Klebsiella pneumoniae* and *Candida albicans* mono- and polymicrobial biofilms in in vitro static and dynamic models. *Microorganisms*, 8(3), 336. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030336>
- Gao, Y. W. (2024). Therapeutic potentials of allicin in cardiovascular disease: Advances and future directions. *Chinese Medicine*, 19(1), 93. <https://doi.org/10.1186/s13020-024-00936-8>
- García-Muñoz, A. (2015). Ajo (*Allium sativum*) para prevenir hipertensión y aterosclerosis. *Revista Vinculando*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2615.0481>
- Garden Seeds Market. (2022, 25 de septiembre). *Cebolla - Red Baron - 450 semillas - Allium cepa L.* <https://garden-seedsmarket.com/cebolla-red-baron.html>
- González Maza, M. G. (2017). Revisión bibliográfica sobre el uso terapéutico del ajo. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*, 6(1). <https://revrehabilitacion.sld.cu/index.php/reh/article/view/161>
- González, C. A., Robledo, M. de L., Medina, I. M., Velázquez, J. B., Girón, M. I., Quintanilla, B., Pérez, N. E., & Rojas, A. E. (2010). Patrón de uso y venta de plaguicidas en Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(3), 221–228.
- González-Costa, M. (2019). La inflamación desde una perspectiva inmunológica: Desafío a la medicina en el siglo XXI. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 30–44.
- Gonzalo, M. (2021, 29 de julio). *Ajo, una hortaliza muy saludable*. Canal Salud Mapfre. <https://www.salud.mapfre.es/nutricion/alimentos/ajo-un-condimento-muy-saludable>
- Guillamón, E. (2018). Efecto de compuestos fitoquímicos del género *Allium* sobre el sistema inmune y la respuesta inflamatoria. *Ars Pharmaceutica*. <http://dx.doi.org/10.30827/ars.v59i3.7479>
- Hall, A. T.-R. (2017). Garlic organosulfur compounds reduce inflammation and oxidative stress during dengue virus infection. *Viruses*, 9(7), 159. <https://doi.org/10.3390/v9070159>
- Herbarium. (2022, 25 de septiembre). *Allium fistulosum*. [https://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Allium\\_fistulosum.htm](https://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Allium_fistulosum.htm)
- Hu, W. S. (2024). Diallyl disulfide synergizes with melphalan to increase apoptosis and DNA damage through elevation of reactive oxygen species in multiple myeloma cells. *Annals of Hematology*, 103(4), 1293–1303. <https://doi.org/10.1007/s00277-023-05592-w>
- Jaiswal, N. (2014). Onion extract (*Allium cepa* L.), quercetin and catechin up-regulate paraoxonase 1 activity with concomitant protection against low-density lipoprotein oxidation in male Wistar rats subjected to oxidative stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(13), 2752–2757. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6620>

- Khubber, S. H. (2020). Garlic (*Allium sativum* L.): A potential unique therapeutic food rich in organosulfur and flavonoid compounds to fight with COVID-19. *Nutrition Journal*, 19(1), 124. <https://doi.org/10.1186/s12937-020-00643-8>
- Kiss, A. L. (2022). Inflammation in focus: The beginning and the end. *Pathology and Oncology Research*. <https://doi.org/10.3389/pore.2021.1610136>
- Kothari, D., Lee, W. D., & Kim, S. K. (2020). Allium flavonols: Health benefits, molecular targets, and bioavailability. *Antioxidants*, 9(9), 888. <https://doi.org/10.3390/antiox9090888>
- Krstin, S. M. (2018). *Tulbaghia violacea* and *Allium ursinum* extracts exhibit anti-parasitic and antimicrobial activities. *Molecules*, 23(2). <https://doi.org/10.3390/molecules23020313>
- Lanzotti, V. S. (2014). Compounds from *Allium* species with cytotoxic activity. *Phytochemistry Reviews*, 769–791.
- Lima da Costa da Silva, R. B. (2024). Potencial antimicrobiano dos extratos da casca e do bulbilho de *Allium sativum* frente a microorganismos patogénicos. *Revista Contemporânea*, 4(5). <https://doi.org/10.56083/RCV4N5-127>
- Ling Lu, Z. G. (2024). The potential of diallyl trisulfide for cancer prevention and treatment, with mechanism insights. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. <https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1450836>
- MedlinePlus. (2022, 24 de septiembre). *Enfermedad de las arterias coronarias*. <https://medlineplus.gov/spanish>
- Nile, A. N. (2018). Valorization of onion solid waste and their flavonols for assessment of cytotoxicity, enzyme inhibitory and antioxidant activities. *Food and Chemical Toxicology*, 119, 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.056>
- Organización Mundial de la Salud. (2023). *Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)*.
- Pacheco Coello, F. J. (2023). Primer análisis comparativo de la actividad antioxidante, hemolítica y antihemolítica de extractos acuosos de cinco especies del género *Hibiscus* presentes en Latinoamérica. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 6(2), 9–24. <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i2.3015>
- Pliego Pastrana, P. R. (2024, 28 de septiembre). *Las proteínas y el código genético*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n1/e7.html>
- Riaz, H. K. (2018). Association between obesity and cardiovascular outcomes: A systematic review and meta-analysis of Mendelian randomization studies. *JAMA Network Open*, 1(7), e183788. <https://doi.org/10.1001/jama-networkopen.2018.3788>
- Rouf, R. U. (2020). Antiviral potential of garlic (*Allium sativum*) and its organosulfur compounds: A systematic update of pre-clinical and clinic data. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 219–234. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.006>
- Sharma, D. R. (2019). In silico and in vitro approach of *Allium cepa* and isolated quercetin against MDR bacterial strains and *Mycobacterium smegmatis*. *South African Journal of Botany*, 124, 29–35.
- Singh, M. L. (2023). Plant-derived natural compounds as an emerging antiviral in combating COVID-19. *Indian Journal of Microbiology*, 63(4), 429–446. <https://doi.org/10.1007/s12088-023-01121-5>
- Stanisavljević, N. S.-V. (2020). Antioxidant and antiproliferative activity of *Allium ursinum* and their associated microbiota during simulated in vitro digestion in the presence of food matrix. *Frontiers in Microbiology*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33335521/>
- Velázquez-Morales, B. P.-V. (2021). Effect of paraoxonase 1 on health and its modulation through diet. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud*, 209–213.
- Villa Sánchez, F. E., Moncayo Molina, W. E., Alvarado Aguilar, M. C., Leal Chantong, A. A., & Daza Barcia, D. D. (2021). Síntesis verde de nanopartículas de plata (AgNPs) utilizando ajo (*Allium sativum* L.) y exploración de su actividad antimicrobiana y catalítica. *FACSALUD-UNEMI*, 5(8), 39–50. <https://doi.org/10.29076/issn.2602-8360vol5iss8.2021pp39-50p>
- Villarroya, F. (2018, 28 de septiembre). *SINC: Ciencia contada en español*. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/El-tejido-adiposo-marron-activa-el-metabolismo-de-grasas-y-carbohidratos>
- Vivek D. Savairam, N. A. (2023). Allicin: A review of its important pharmacological activities. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100283>
- Yaghoubian, H. N. (2021). Evaluate the therapeutic effect of allicin (L-cysteine) on clinical presentation and prognosis in patients with COVID-19. *European Journal of Translational Myology*, 31(2), 9518. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2021.9518>

*Artículo Científico***FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN GRANULADO CON ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE PARA CÁPSULAS DURAS A PARTIR DE BRÁCTEAS NARANJAS DE *BOUGAINVILLEA GLABRA CHOISY*****FORMULATION AND EVALUATION OF A GRANULATE WITH ANTIOXIDANT ACTIVITY FOR HARD CAPSULES FROM ORANGE BRACTS OF *BOUGAINVILLEA GLABRA CHOISY***

Carmita Jaramillo J.<sup>1</sup>, Leslee Reyna O.<sup>1</sup>, Víctor Meléndres M.<sup>1</sup>, Mercedes Campo F.<sup>1</sup>,  
Geovanny Ramón J.<sup>1</sup> y Ana-Paola Echavarria V.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Estatal de Milagro, Milagro, Ecuador.

\*Correspondencia: [aechavarriav@unemi.edu.ec](mailto:aechavarriav@unemi.edu.ec)

Recepción: 29 de agosto 2025; Aceptación: 15 de enero de 2026; Publicación: 26 de abril de 2026

**Forma de citar:**

Jaramillo, C., Reyna, L., Meléndres, V., Campo, M., Geovanny Ramón J., y Echavarria, A.-P. (2026). *Formulación y evaluación de un granulado con actividad antioxidante para cápsulas duras a partir de brácteas naranja de Bougainvillea glabra Choisy*. *InfoAnalítica*, 14(1), 28-37. <https://doi.org/10.26807/ia.v14i1.310>

© 2026 Los autores. Publicado por Revista InfoAnalítica. Este artículo es de acceso abierto y se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-SA 4.0), que permite el uso, distribución, adaptación y reproducción en cualquier medio o formato, siempre que se cite adecuadamente la obra original y que las obras derivadas se distribuyan bajo la misma licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## RESUMEN

Este estudio desarrolla un granulado con actividad antioxidante para cápsulas duras de gelatina, empleando brácteas naranjas de *Bougainvillea glabra* Choisy (*B. glabra*). Aunque comúnmente ornamental, esta especie contiene fitoquímicos bioactivos como flavonoides, betalainas (principalmente betaxantinas) y compuestos fenólicos, asociados a efectos terapéuticos frente a enfermedades respiratorias, inflamatorias y metabólicas. En respuesta a la demanda de fitofármacos accesibles para el control del estrés oxidativo, se formuló una cápsula vegetal estandarizada. Las brácteas fueron recolectadas bajo lineamientos de la OMS (Organización Mundial de la Salud), secadas a  $40 \pm 2$  °C, molidas (~1 mm) y sometidas a extracción hidroalcohólica (etanol:agua 50:50) asistida por ultrasonido. El extracto fue caracterizado mediante parámetros fisicoquímicos (pH, °Brix, densidad, sólidos totales) y se determinó su contenido fenólico total con el método de Folin-Ciocalteu. La actividad antioxidante se evaluó mediante los ensayos DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) y TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity). Posteriormente, el extracto se granuló por vía húmeda con excipientes farmacéuticos y se encapsuló en cápsulas duras de gelatina (tamaño 0) utilizando una encapsuladora semiautomática. Tanto el granulado como las cápsulas fueron evaluados según métodos de la Farmacopea (USP), incluyendo humedad, fluidez, distribución del tamaño de partícula, uniformidad de llenado y tiempo de desintegración. Las propiedades de flujo se calcularon mediante los índices de Carr y Hausner. Los resultados revelaron un contenido de fenoles totales de 53,34 mg EAG/g y una elevada capacidad antioxidante expresada como equivalentes de Trolox (TEAC). Las cápsulas cumplieron con los estándares de calidad establecidos, lo que confirma el potencial de *Bougainvillea glabra* como una fuente eficaz y económicamente viable de antioxidantes para el desarrollo de fitomedicamentos estandarizados.

**Palabras clave:** actividad antioxidante, *Bougainvillea glabra* Choisy, cápsulas duras, formulación farmacéutica, granulado nutracéutico.

## ABSTRACT

This study develops a granulate with antioxidant activity for hard gelatin capsules from orange bracts of *Bougainvillea glabra* Choisy (*B. glabra*). Although commonly ornamental, this species contains bioactive phytochemicals, including flavonoids, betalains (mainly betaxanthins), and phenolic compounds, which are associated with therapeutic effects against respiratory, inflammatory, and metabolic disorders. In response to the demand for accessible phytopharmaceuticals to manage oxidative stress, a standardized plant-based capsule was formulated. The bracts were collected following WHO guidelines, dried at  $40 \pm 2$  °C, ground (~1 mm), and subjected to hydroalcoholic extraction (ethanol: water 50:50) assisted by ultrasound. The extract was characterized using physicochemical parameters (pH, °Brix, density, and total solids), and total phenolic content was quantified using the Folin-Ciocalteu method. Antioxidant activity was assessed using DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), and TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) assays. The extract was then wet-granulated with pharmaceutical excipients and encapsulated into hard gelatin capsules (size 0) using a semi-automatic capsule filler. Both the granulate and the capsules were evaluated according to United States Pharmacopeia (USP) methods, including moisture content, flowability, particle size distribution, fill uniformity, and disintegration time. Flow properties were calculated using Carr's and Hausner's indices. The results revealed a total phenolic content of 53.34 mg GAE/g and high antioxidant capacity expressed as Trolox equivalents (TEAC). The capsules met established quality standards, confirming the potential of *B. glabra* as an effective, economical natural source of antioxidants for the development of standardized phytomedicines.

**Keywords:** *Bougainvillea glabra* Choisy, hard capsules, nutraceutical granulate, pharmaceutical formulation.

## INTRODUCCIÓN

El uso de plantas con fines curativos constituye una de las prácticas terapéuticas más antiguas de la humanidad. Desde las primeras civilizaciones, la naturaleza ha servido como una fuente esencial de compuestos bioactivos empleados en el tratamiento de diversas enfermedades (Zaragoza *et al.*, 2021). Durante siglos, las especies vegetales representaron el principal recurso para preservar la salud, configurando el conocimiento empírico que ha sido posteriormente sistematizado y fortalecido por la ciencia moderna (Caurio *et al.*, 2024; Ornelas García *et al.*, 2023).

En las últimas décadas, el interés por los productos naturales ha cobrado especial relevancia, impulsando la investigación de especies con potencial terapéutico y el desarrollo de fitoderivados destinados a diversas aplicaciones farmacéuticas (Newman & Cragg, 2020). Numerosos extractos botánicos han demostrado eficacia farmacológica con perfiles de seguridad favorables frente a fármacos sintéticos (Ansari *et al.*, 2025), lo que posiciona a los fitofármacos como alternativas accesibles y prometedoras (Ekor, 2014).

Ecuador, reconocido por su alta biodiversidad, alberga un amplio número de especies utilizadas en la medicina tradicional, muchas de las cuales están siendo estudiadas para validar científicamente sus propiedades (Contreras-Miranda *et al.*, 2022). Entre estas destaca *Bougainvillea glabra* Choisy, conocida como veranera, trinitaria o buganvilia especie ornamental apreciada por sus brácteas coloridas y su elevada riqueza fitoquímica (Mahey *et al.*, 2025). En diversas culturas se emplean preparaciones de sus flores, hojas y brácteas para el tratamiento de afecciones respiratorias, gastrointestinales y febriles (Albán *et al.*, 2018). Dichos usos se atribuyen a la presencia de flavonoides, compuestos fenólicos y betalainas, reconocidos por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antipiréticas (Saleem *et al.*, 2020).

Los compuestos fenólicos y las betalainas han sido identificados como los principales responsables de la actividad antioxidante de *B. glabra* (Jaramillo-Jaramillo *et al.*, 2023). Las brácteas concentran metabolitos capaces de neutralizar radicales libres, lo que la convierte en una especie de interés para combatir el estrés oxidativo, proceso asociado al envejecimiento prematuro y a

enfermedades crónicas como cáncer, Alzheimer, Parkinson, diabetes tipo II y afecciones cardiovasculares (Riaz *et al.*, 2021; Liguori *et al.*, 2018). Su acción antioxidante se complementa con la capacidad de quelar metales pesados e interrumpir reacciones en cadena que deterioran biomoléculas esenciales como lípidos, proteínas y ADN (Saleem *et al.*, 2021).

La Organización Mundial de la Salud estima que cerca del 80 % de la población mundial, especialmente en zonas rurales de países en desarrollo, depende de la medicina tradicional como principal forma de atención (WHO, 2013). Esto resalta la necesidad de integrar el conocimiento ancestral con metodologías científicas que permitan la formulación de productos seguros, eficaces y estandarizados (Sofowora *et al.*, 2013; Davis & Choisy, 2024). En este marco, aprovechar el potencial antioxidante de *B. glabra* para el diseño de un fitofármaco en cápsulas duras constituye una estrategia innovadora dentro del desarrollo terapéutico basado en recursos naturales.

El presente estudio propone la formulación de un granulado estandarizado con actividad antioxidante, obtenido a partir de un extracto hidroalcohólico de brácteas naranjas de *B. glabra* y destinado a su encapsulación en cápsulas duras de gelatina. Esta forma farmacéutica fue seleccionada por su estabilidad, facilidad de administración y precisión en la dosificación. La elección de brácteas naranjas se fundamenta en su elevada concentración de betaxantinas, pigmentos con alta capacidad antioxidante (Rodríguez-Herrera *et al.*, 2023).

Para la formulación se realizaron análisis fisicoquímicos de la droga vegetal y del extracto, así como la determinación de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante mediante los métodos DPPH, FRAP y TEAC. Adicionalmente, se establecieron parámetros de calidad para el granulado y las cápsulas terminadas, considerando humedad, fluidez, tamaño de partícula y tiempo de disgregación.

En conjunto, esta investigación busca demostrar la viabilidad técnica de formular un fitofármaco a base de *B. glabra*, al tiempo que aporta a la valorización científica de la biodiversidad ecuatoriana y al desarrollo de alternativas terapéuticas accesibles y sostenibles. En un contexto donde persisten desafíos en el acceso equitativo a medica-

mentos, el uso racional de productos farmacéuticos derivados de plantas emerge como una estrategia clave para fortalecer la salud pública y promover la investigación local.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó un diseño cuantitativo de tipo experimental para la formulación y evaluación de cápsulas duras de gelatina con actividad antioxidante, elaboradas a partir de extracto hidroalcohólico de brácteas naranjas de *Bougainvillea glabra* Choisy (*B. glabra*) (Jaramillo et al., 2021).

### Recolección de la muestra.

Las muestras representativas de *B. glabra* se recolectaron en la Facultad de Agronomía de la Universidad Técnica de Machala, Ecuador, localizada en las coordenadas 3°29'0.64" S; 80°30'27.20" O., siguiendo los lineamientos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (WHO, 2013) para la recolección de drogas vegetales.

### Secado y molido.

Inicialmente, las brácteas se sometieron a un presecado a temperatura ambiente durante 24 horas, protegidas de la luz directa. Se distribuyeron de forma uniforme en un secador artesanal, evitando su aglomeración. Posteriormente, se colocaron en bandejas y se llevaron a una estufa con circulación de aire integrada (MEMMERT UF 55, Alemania), a una temperatura controlada de  $40 \pm 2$  °C durante 5 horas.

El material pulverizado se almacenó bajo condiciones controladas de luz y humedad, garantizando su estabilidad hasta su posterior procesamiento.

### Extracción.

La extracción se realizó mediante el método de extracción asistida por ultrasonido (EAU), (FISHER SCIENTIFIC, modelo 15333418) utilizando una mezcla hidroalcohólica (EtOH:H<sub>2</sub>O, 50:50 v/v). Se procesaron 20 g de brácteas pulverizadas en 800 mL de disolvente, a 40 °C durante 45 min. El

extracto fue filtrado y concentrado en rotoevaporador (marca HEIDOLPH, modelo Laborota 4001 efficient).

Se evaluaron parámetros fisicoquímicos como pH, densidad, °Brix, índice de refracción y sólidos totales. Además, se aplicaron métodos espectrofotométricos para determinar contenido de fenoles totales (método de Folin-Ciocalteu) y actividad antioxidante (DPPH y FRAP).

### Formulación del granulado y encapsulación.

Para lograr mayor cohesión en el granulado se ensayó con diferentes proporciones de CMC (carboximetil-celulosa) como aglutinante de viscosidad media en la formulación, que se le adicionó al extracto, en combinación con los excipientes: celulosa microcristalina (Avicel), almidón de maíz, estearato de magnesio, dióxido de silicio coloidal (Aerosil). El granulado fue tamizado (Tamiz malla 18 US STD Marca Tyler 5198), secado a  $40 \pm 2$  °C y encapsulado en cápsulas de gelatina dura (tamaño 0) mediante una encapsuladora semiautomática (ProFiller1100).

### Ensayos de calidad del granulado y cápsulas.

Se evaluaron parámetros como contenido de humedad (mediante termogravimetría), fluidez (ángulo de reposo y velocidad de flujo), densidad aparente y compactada, e índices de Carry y Hausner (Shah et al., 2008). Las cápsulas se analizaron en cuanto a peso promedio, tiempo de disgregación (en agua a 37 °C) características organolépticas y contenido antioxidante del granulado encapsulado. Para la disgregación de las cápsulas se utilizó el equipo (marca ERWEKA ZT2), el mismo que nos da a conocer que la formulación se libera de manera correcta.

### Análisis estadístico.

Se calcularon medias y desviaciones estándar utilizando Microsoft Excel. Se aplicó un ANOVA unifactorial mediante el software estadístico Jamovi v2.4.8.0 para identificar diferencias significativas entre tratamientos.

## RESULTADOS

La separación de las brácteas se realizó inmediatamente después de la recolección de la mues-

tra vegetal, para minimizar su oxidación (Robles Aguilar *et al.*, 2017). Una vez colectada la droga, se procedió a la caracterización de dimensiones morfológicas de la muestra (Tabla 1).

**Tabla 1. Caracterización morfológica de la planta**

Parámetro	Resultado Características	Unidad / Descripción
Largo	3,3 ± 0,34	cm
Ancho	3,2 ± 0,35	cm
Forma	Oval-ancha	Característica morfológica
Olor	Característico	Característica organoléptica
Superficie	Ondulada-plana	Textura externa

**Leyenda:**  $\bar{X}$  / DS: media / desviación estándar

### Control de calidad de la droga cruda.

El control de calidad de la droga vegetal mostró un contenido de humedad de 7,16 ± 0,54 % y cenizas totales de 8,09 ± 0,59 %. Para el ensayo de solubilidad de la planta vegetal cruda, se utilizaron tres mezclas hidroalcohólicas con

diferentes proporciones, (etanol: agua al 30, 50 y 70% EtOH:H<sub>2</sub>O) para seleccionar el disolvente más adecuado que permita extraer los metabolitos especializados de la muestra en mayor proporción. Esta selección se desarrolló sobre la base de los análisis de las sustancias solubles presentados en la Tabla 2.

**Tabla 2. Sustancias solubles hidroalcohólica (Ssh)**

Parámetros (%)	*Resultados $\bar{X}$ / DS
Sustancias solubles hidroalcohólica (Ssh)	
30 %	31,41a / 0,78
50 %	36,02b / 1,10
70 %	37,05b / 0,62

**Leyenda:**  $\bar{X}$  / DS: media / desviación estándar. No existe diferencia estadísticamente significativa. Letras diferentes: existe diferencia estadísticamente significativa.

Se eligió la mezcla 50:50 por su equilibrio entre eficiencia y afinidad por metabolitos hidrosolubles

de *B. glabra* Choisy (Tabla 3).

**Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos del extracto hidroalcohólico 50 % de *B. glabra***

Parámetro	Resultado $\bar{X}$ / DS
Densidad relativa (g/mL)	1,03 ± 0,01
Índice de refracción (nD)	1,35 ± 0,01
pH	5,68 ± 0,01
Sólidos totales (%)	0,16 ± 0,12
Grados Brix (%)	8,35 ± 0,01

En la Tabla 4 se observan los resultados obtenidos de extracto seco por el método de Folin-Ciocalteu y la capacidad antioxidante por FRAP-TEAC (n=3) y DPPH (n=3).

**Tabla 4. Contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante por FRAP- TEAC (n=3) y DPPH (n=3)**

Parámetro	Valor	Observaciones
Fenoles totales (Folin-Ciocalteu)	53,34 ± 5,89 mg EAG/g	Buena linealidad (R <sup>2</sup> = 0,9963)
Capacidad antioxidante (FRAP)	107,30 ± 9,37 mg TEAC/g	Buena correlación (R <sup>2</sup> = 0,9984)
Capacidad antioxidante (DPPH)	256,68 ± 1,44 mg TEAC/g	Alta capacidad antioxidante (R <sup>2</sup> = 0,9912)

Se realizaron distintos ensayos experimentales para seleccionar la mejor formulación de granulados a base de brácteas de *Bougainvillea glabra Choisy*, utilizando diferentes excipientes (almidón, Avicel, Aerosil, estearato de magnesio y CMC).

Los parámetros evaluados incluyeron ángulo de reposo, velocidad de flujo, índice de compresibilidad (IC) e índice de Hausner (IH), y se compararon con los valores de referencia establecidos por la Farmacopea USP.

**Tabla 5. Resumen de formulaciones seleccionadas y parámetros fisicomecánicos del granulado**

Función del excipiente	Formulación(F)	Composición	Ángulo de reposo (°)	Velocidad de flujo (g/c m <sup>2</sup> /s)	IC (%)	IH
Diluyente	F1	100% Almidón	34,30 ±1,91	14,95 ±0,29	14,76± 1,63	1,17± 0,02
Lubricante	F5	Aerosil 1%	28,77 ±0,01	25,34 ±0,01	11,90±0,01	1,14±0,01
Aglutinante	F2	CMC 2%	25,24 ±1,33	7,98± 0,04	11,00± 0,01	1,11± 0,01

**Leyenda:**  $\bar{X}/DS$ : media / desviación estándar, F: Formulaciones; índice de compresibilidad (IC)- índice de Hausner (IH)

En la Tabla 5, el análisis estadístico mediante ANOVA unifactorial mostró diferencias significativas entre las formulaciones evaluadas (p < 0.05).

Las cápsulas mostraron olor característico de *B. glabra*, recubrimiento transparente (tamaño 0) y granulado de color amarillo pajizo.

### El Control de calidad de cápsulas.

**Tabla 6. Desintegración de las cápsulas *B. glabra***

Parámetros	$\bar{X} / DS$
Peso medio (g)	0,24 / 0,001
Humedad residual	4,49/0,03
Desintegración (minutos)	02:17

Los valores reportados en la Tabla 6 indican que las cápsulas cumplen con el tiempo de desintegración que recomienda la Farmacopea de los Estados Unidos USP 30 (Farmacopea de los Estados Unidos de América USP 30- NF, 2020; Usp

42-Nf 37., 2021), menor a los 20 min, del mismo modo cumple con el rango en humedad residual que plantea la literatura para granulados entre (0-5 %).

## Fenoles totales y actividad antioxidante en las cápsulas.

de la cuantificación de fenoles y actividad antioxidante en las cápsulas elaboradas con el granulado a base de las brácteas de *B. glabra*.

En la Tabla 7, se muestra los resultados obtenidos

**Tabla 7. Fenoles totales y DPPH**

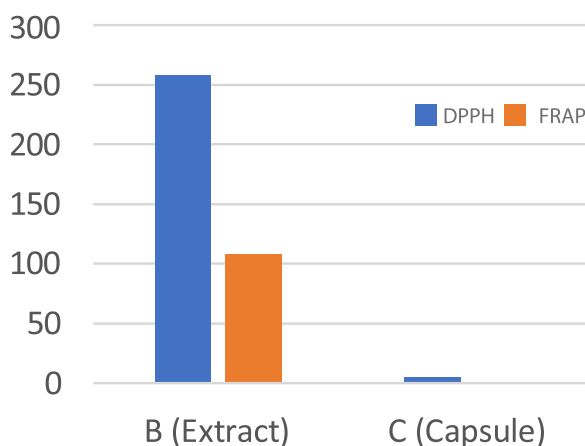
ENSAYOS	* (etanol: agua/8:2)	EAG (mg)/g X/ DS
TEAC (mg) / 1 g	1	5,75 / 0,05
EAG (mg) / 1 g	1	3,37 / 0,17

Leyenda: \* Peso g de granulado en 20 mL

En la Figura 1, se presenta la comparación de la actividad antioxidante medida por DPPH y FRAP entre el extracto y las cápsulas elaboradas de

*Bougainvillea glabra* Choisy. Se obtuvo una marcada reducción de la capacidad antioxidante en las cápsulas respecto al extracto puro.

**Figura 1. Comparación de la actividad antioxidante medida por DPPH y FRAP entre el extracto y las cápsulas elaboradas de *B. glabra***



## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación respaldan de manera científica el uso tradicional de *Bougainvillea glabra* Choisy como una fuente de compuestos bioactivos con potencial antioxidante. La extracción asistida por ultrasonido (EAU) demostró ser más eficiente que la maceración convencional, al preservar mejor los metabolitos termo-sensibles, en concordancia con estudios previos, como los de Hidalgo-Sánchez *et al.*, (2025). En cuanto al solvente de extracción, aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones hidroalcohólicas evaluadas, se seleccionó la mezcla etanol-agua 50:50 por ofrecer un balance adecuado entre eficiencia de extracción, costo y solubilidad de compuestos hidrofílicos como las betalaínas,

ampliamente solubles en agua. Este comportamiento es consistente con los hallazgos de Gómez-Bache *et al.* (2016), quienes tampoco reportaron diferencias significativas en la eficiencia de extracción entre concentraciones similares.

El extracto obtenido presentó parámetros físico-químicos adecuados (Jaramillo *et al.*, 2021), con valores de densidad ( $1,03 \pm 0,01$  g/mL), índice de refracción ( $1,35 \pm 0,01$ ), pH ( $5,68 \pm 0,01$ ), sólidos totales ( $0,16 \pm 0,12\%$ ) y °Brix ( $8,35 \pm 0,01$ ), totales ( $0,16 \pm 0,12\%$ ) y grados Brix ( $8,35 \pm 0,01$ ). El pH ligeramente ácido sugiere una concentración relevante de compuestos fenólicos, flavonoides y betalaínas (Wu *et al.*, 2022). Respecto al contenido fenólico total ( $53,34 \pm 5,89$  mg EAG/g),

este fue inferior al reportado por Jaramillo *et al.*, (2021), quienes utilizaron la misma técnica de extracción ( $129,6 \pm 0,3$  mg EAG/g). Esta diferencia puede atribuirse a factores como edad de la planta, condiciones agroecológicas de cultivo y las prácticas de almacenamiento postcosecha. Además, es importante considerar que el método de Folin- Ciocalteu puede sobreestimar el contenido fenólico debido a posibles interferencias con derivados de tirosina, como las betalainas (Robles Aguilar *et al.*, 2017).

La actividad antioxidante medida mediante los métodos FRAP y DPPH fue superior a la informada en estudios anteriores (Markandan *et al.*, 2016; Shalini *et al.*, 2018). Esta elevada capacidad antioxidante podría explicarse por la selección adecuada del solvente, así como por las condiciones controladas de extracción y concentración, que favorecieron la conservación y disponibilidad de los metabolitos antioxidantes.

La formulación F5 presentó la mayor fluidez, mientras que F2 registró valores significativamente menores en relación con F1 y F5. En contraste, para los parámetros índice de compresibilidad (IC) e índice de Hausner (IH) no se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ). Justificando la selección de cada una de las formulaciones (diluyente, lubricante y aglutinante) utilizadas en la elaboración del granulado para cápsulas duras con extracto de *B. glabra*, considerando criterios técnicos y farmacopéicos.

La extracción hidroalcohólica asistida por ultrasonido resultó eficaz, obteniéndose un extracto bioactivo y estable, con valores relevantes de capacidad antioxidante según los métodos FRAP y DPPH. La calidad del extracto, caracterizado por un pH ligeramente ácido y una adecuada concentración de metabolitos especializados, cumplió con los parámetros fisicoquímicos requeridos, excepto en el contenido de cenizas, que fue elevado, aunque no comprometió su funcionalidad antioxidante. Desde el enfoque farmacotécnico, la formulación del granulado compuesta por 100 % de almidón, 1 % de Aerosil y 2 % de CMC generó un sistema con buena fluidez, cohesión y capacidad de encapsulación.

En relación con la formulación del granulado para cápsulas, se evaluaron diferentes combinaciones experimentales. La formulación elaborada únicamente con almidón (F1) presentó un desempeño

sobresaliente en cuanto a fluidez y compresibilidad, cumpliendo adecuadamente con los parámetros establecidos por la USP (ángulo de reposo de  $34,3^\circ$ , velocidad de flujo de  $14,95$  g/cm<sup>2</sup>/s, índice de compresibilidad del 14,76 % y un índice de Hausner de 1,17). La incorporación de Aerosil al 1 % (F5) incrementó de forma significativa la fluidez del granulado, mientras que el uso de CMC al 2 % (F2) como aglutinante proporcionó la cohesión necesaria sin generar afectaciones sobre la fluidez del material.

Las cápsulas desarrolladas presentaron características organolépticas satisfactorias (recubrimiento transparente, color amarillo pajizo), un tiempo de desintegración adecuado (2 min 17 s), humedad residual dentro de los límites permitidos ( $4,49 \pm 0,03$  %) y uniformidad de peso ( $0,24 \pm 0,001$  g). No obstante, el contenido fenólico ( $3,37 \pm 0,17$  mg EAG/g) y la actividad antioxidante ( $5,75 \pm 0,05$  mg TEAC/g) en las cápsulas fueron considerablemente menores que en el extracto original, lo que indica una dilución del principio activo durante el proceso de formulación.

Esta observación sugiere la necesidad de optimizar la concentración del extracto seco en la formulación final para maximizar la eficacia antioxidante del producto. Esta recomendación es coherente con los resultados obtenidos por Kenari & Razavi, (2022), quienes reportaron mayores niveles de compuestos fenólicos al encapsular extractos de *Bougainvillea spectabilis*, destacando la importancia de ajustar la dosis del principio activo para mejorar el perfil terapéutico del producto nutracéutico.

## CONCLUSIÓN

La presente investigación muestra que las brácteas naranjas de *Bougainvillea glabra* Choisy son una fuente prometedora de compuestos fenólicos con destacada actividad antioxidante, lo que respalda su potencial como insumo fitoterapéutico natural.

Las cápsulas duras desarrolladas cumplieron con los estándares internacionales: presentaron uniformidad de peso, rápida desintegración (<20 min), niveles aceptables de humedad residual y contenido cuantificable de compuestos fenólicos.

Este estudio constituye una valiosa contribución al aprovechamiento integral de recursos vegetales subutilizados, al integrar conocimientos etnobotánicos con tecnologías modernas de extracción y

formulación. Se recomienda llevar a cabo estudios complementarios de estabilidad, biodisponibilidad y ensayos clínicos que validen su efectividad y viabilidad comercial como suplemento antioxidante de origen vegetal. Finalmente, este trabajo contribuye al conocimiento científico sobre el potencial antioxidante de *Bougainvillea glabra* Choisy y respalda su viabilidad como materia prima para el desarrollo de suplementos nutraceuticos en forma sólida. Asimismo, promueve la valorización y el aprovechamiento sostenible de especies vegetales locales subutilizadas, integrando el saber etnobotánico tradicional con técnicas farmacéuticas modernas.

## AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Machala, por el respaldo institucional brindado para la realización de esta investigación. De manera especial, se agradece a la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud y a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por permitir el uso de sus laboratorios, equipos y recursos técnicos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo experimental del presente estudio.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Albán, M. S., Echavarría, A. P., & Domínguez, L. D. (2018). Composición nutricional y propiedades funcionales de flores comestibles|Nutritional composition and functional properties of edible flowers. *SABER*, 30(0), Article 0.
- Ansari, P., Reberio, A. D., Ansari, N. J., Kumar, S., Khan, J. T., Chowdhury, S., Abd El-Mordy, F. M., Hannan, J. M. A., Flatt, P. R., Abdel-Wahab, Y. H. A., & Seidel, V. (2025). Therapeutic Potential of Medicinal Plants and Their Phytoconstituents in Diabetes, Cancer, Infections, Cardiovascular Diseases, Inflammation and Gastrointestinal Disorders. *Biomedicines*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13020454>
- Caurio, A., Jr, B., Lm, G., Cc, R., Nr, R., S, S., T, E., R, R., Cc, D., & Elg, D. (2024). Protective effect of *Bougainvillea glabra* Choisy bract in toxicity induced by Paraquat in *Drosophila melanogaster*. *Comparative Biochemistry and Physiology. Toxicology & Pharmacology: CBP*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2024.109873>
- Contreras-Miranda, J. A., Ramirez Marin, M. A., Contreras-Miranda, J. A., & Ramirez Marin, M. A. (2022). Uso de plantas medicinales que se comercializan en Guayaquil, Ecuador. *Manglar*, 19(4), 309-316. <https://doi.org/10.57188/manglar.2022.039>
- Davis, C. C., & Choisy, P. (2024). Medicinal plants meet modern biodiversity science. *Current Biology*, 34(4), R158-R173. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.12.038>
- Ekor, M. (2014). The growing use of herbal medicines: Issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. *Frontiers in Pharmacology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fphar.2013.00177>
- Gomez-Bache, U., Navarro, B., & Petricevich, V. L. (2016). Estudio preliminar del efecto hipoglucémico del extracto de *Bougainvillea xbuttiana* (variedad naranja) en modelo murino. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 47(3), 60-66.
- Hidalgo-Sánchez, M. A., Pérez-Cuesta, A. M., Montesdeoca-Erazo, R. V., & Casigña-Guamán, N. S. (2025). Influencia del ultrasonido en la extracción de compuestos bioactivos de *Piper aduncum* L. *Código Científico Revista de Investigación*, 6(E1), Article E1. <https://doi.org/10.55813/gaea/cc.ri/v6/nE1/815>
- Jaramillo, C., Armijos A., J. C., Cedeño S., R., Campo F., M., & Rojas de Astudillo, L. (2021). Comparación de la relación de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante en brácteas de dos variedades de *bougainvillea glabra choisy*. *infoANALÍTICA*, 9(1), 167-179.
- Jaramillo Jaramillo, C. G., Solano Maza, L. O., Campo Fernández, M., & Rojas De Astudillo, L. (2023). Composición química y actividad antioxidante de hojas de dos variedades de *Bougainvillea glabra* Choisy: Chemical composition and antioxidant activity of the leaves of two varieties of *Bougainvillea glabra* Choisy. *Cumbres*, 9(1), 9-20. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v9n1a1>
- Kenari, R. E., & Razavi, R. (2022). Encapsulation of *bougainvillea* (*Bougainvillea spectabilis*) flower extract in *Urtica dioica* L. seed gum: Characterization, antioxidant/antimicrobial properties, and in vitro digestion. *Food Science & Nutrition*, 10(10), 3436. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2944>
- Liguori, I., Russo, G., Curcio, F., Bulli, G., Aran, L., Della-Morte, D., Gargiulo, G., Testa, G., Cacciatore, F., Bonaduce, D., & Abete, P. (2018). Oxidative stress, aging, and diseases. *Clinical Interventions in Aging, Volume 13*, 757-772. <https://doi.org/10.2147/CIA.S158513>
- Mahey, P., Sontakke, M., Muchahary, S., Gupta, A. K., Jha, A. K., Kandpal, R., Kunwar, T., & Choudhary, A. (2025). Transforming the therapeutic and nutritional benefits of *Bougainvillea* flowers for sustainable uses and food security. *Discover Food*, 5(1), 156. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00302-z>
- Markandan, S., Abdullah, A., Musa, K. H., Subramaniam, V., & Stockham, K. (2016). Determination of antioxidant activities, total phenolic and flavanoid contents in *Bougainvillea glabra* bracts at various methanol concentrations. 030038. <https://doi.org/10.1063/1.4966776>

- Newman, D., & Cragg, G. (2020). Natural Products as Sources of New Drugs over the Nearly Four Decades from 01/1981 to 09/2019. *Journal of Natural Products*, 83(3). <https://doi.org/10.1021/acs.jnatp.rod.9b01285>
- Ornelas García, I., Al, G. B., Fj, A. G., Na, C. V., & D, G. M. (2023). Bougainvillea glabra Choisy (Nyctinaginacea): Review of phytochemistry and antimicrobial potential. *Frontiers in Chemistry*, 11. <https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1276514>
- Riaz, M., Fatima, H., Misbah ur Rehman, M., Qadir, R., Hussain, S., Hafeez, A., & Siddique, A. B. (2021). Appraisal of antioxidant potential and biological studies of bogan bail (Bougainvillea glabra) leaf extracts using different solvents. *Czech Journal of Food Sciences*, 39(3), 176-180. <https://doi.org/10.17221/273/2020-CJFS>
- Robles Aguilar, M. V., Jaramillo Jaramillo, C., & Rojas de Astudillo, L. (2017). Contenido de betalainas y actividad antioxidante en brácteas de Bougainvillea glabra Choisy. *Revista cubana de farmacia*, 51(2 (abril-junio)), 8.
- Rodríguez-Herrera, V. V., García-Cruz, L., & Valle-Guadarrama, S. (2023). Aqueous two-phase extraction: A non-thermal technique to separate and concentrate betalains from Bougainvillea glabra Choisy bracts. *Industrial Crops and Products*, 193, 116245. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116245>
- Saleem, H., A, U., Mf, M., & N, A. (2021). Bougainvillea glabra (choisy): A comprehensive review on botany, traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicity. *Journal of Ethnopharmacology*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113356>
- Saleem, H., Htar, T. T., Naidu, R., Zengin, G., Ahmad, I., & Ahemad, N. (2020). Phytochemical profiling, antioxidant, enzyme inhibition and cytotoxic potential of Bougainvillea glabra flowers. *Natural Product Research*, 34(18), 2602-2606. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1543684>
- Shah, R. B., Tawakkul, M. A., & Khan, M. A. (2008). Comparative Evaluation of Flow for Pharmaceutical Powders and Granules. *AAPS PharmSciTech*, 9(1), 250-258. <https://doi.org/10.1208/s12249-008-9046-8>
- Shalini, M., Aminah, A., Khalid, H. M., Vimala, S., Katherine, S., & Khoo, M. G. H. (2018). In-vitro Antioxidant Activities, Phytoconstituent and Toxicity Evaluation of Local Bougainvillea glabra Bract (Bunga Kertas). *International Journal of ChemTech Research*, 11(9), 22-30. <https://doi.org/10.20902/IJCTR.2018.110904>
- Sofowora, A., Ogunbodede, E., & Onayade, A. (2013). The role and place of medicinal plants in the strategies for disease prevention. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 10(5), 210-229. <https://doi.org/10.4314/ajtcam.v10i5.2>
- WHO, W. H. (2013). *WHO traditional medicine strategy: 2014-2023*. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/92455>
- Wu, Q., Fu, X., Chen, Z., Wang, H., Wang, J., Zhu, Z., & Zhu, G. (2022). Composition, Color Stability and Antioxidant Properties of Betalain-Based Extracts from Bracts of Bougainvillea. *Molecules*, 27(16), 5120. <https://doi.org/10.3390/molecule27165120>
- Zaragoza, E., Orozco, L., Freitas, R., Castillo, E., Kuroda, D., & Ramirez, M. (2021). Valoración, como indicadores ácido-base, de extractos naturales de flores de bougainvillea glabra, cosmos bipinnatus, psittacanthus calyculatus y cascara y fruto de opuntia ficus, de San Miguel el alto, Jalisco. *Revista Comunicação Universitária*, 1(2), 1-8

*Artículo Científico***CUANTIFICACIÓN DE ABSORCIÓN DE CO<sub>2</sub> DE LAS ESPECIES *WEINMANNIA FAGAROIDES* Y *ALNUS ACUMINATA* DENTRO DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN PRIVADA CERRO BLANCO****QUANTIFICATION OF CO<sub>2</sub> ABSORPTION OF THE SPECIES *WEINMANNIA FAGAROIDES* AND *ALNUS ACUMINATA* IN THE CERRO BLANCO PRIVATE CONSERVATION AREA**María Fernanda López<sup>1</sup>  y Marjori Morejón 

1 Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra, Ibarra, Ecuador.

\*Correspondencia: [mflopez2@pucesi.edu.ec](mailto:mflopez2@pucesi.edu.ec)

Recepción: 28 de enero de 2025; Aceptación: 26 de enero 2026; Publicación: 26 de abril de 2026

**Forma de citar:**López, M. F., y Morejón, M. (2026). *Cuantificación de absorción de CO<sub>2</sub> de las especies Weinmannia fagaroides y Alnus acuminata dentro del área de conservación privada Cerro Blanco*. *InfoAnalítica*, 14(1), 38–48. <https://doi.org/10.26807/ia.v14i1.310>

© 2026 Los autores. Publicado por Revista InfoAnalítica. Este artículo es de acceso abierto y se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-SA 4.0), que permite el uso, distribución, adaptación y reproducción en cualquier medio o formato, siempre que se cite adecuadamente la obra original y que las obras derivadas se distribuyan bajo la misma licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## RESUMEN

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Área de Conservación Privada Cerro Blanco, cantón Otavalo, provincia de Imbabura, cerca de las instalaciones de la Unión Andina de Cementos S.A.A. (UNACEM). El objetivo fue evaluar el porcentaje de absorción de CO<sub>2</sub> de las especies *Weinmannia fagaroides* (encenillo) y *Alnus acuminata* (aliso) en respuesta al cambio climático y al aumento de gases de efecto invernadero. Se determinó cuál de estas especies tiene mayor capacidad de captura de carbono en su estructura vegetal, proporcionando información para el proyecto “1 Millón de Árboles” impulsado por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) y la política de Carbono Cero de UNACEM. Se establecieron dos parcelas por especie en sitios seleccionados. Se tomaron muestras de las copas de los árboles y se utilizó el método de calcinación para determinar el porcentaje de carbono absorbido. Los resultados indicaron que *Alnus acuminata* almacena 0,22 toneladas de carbono por individuo, mientras que *Weinmannia fagaroides* almacena 0,10 toneladas. Se analizaron factores ambientales como la humedad del suelo y la temperatura, los cuales pueden influir en la captura de carbono. Se observó que las diferencias en la composición del suelo y el régimen hídrico de cada especie impactan su capacidad de almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Estos hallazgos sugieren la importancia de considerar condiciones ecológicas al seleccionar especies para reforestación y mitigación del cambio climático. Los resultados destacan la necesidad de implementar estrategias de conservación que favorezcan la recuperación de ecosistemas degradados y maximicen la absorción de carbono. Se recomienda integrar manejo sostenible y fomentar biodiversidad para fortalecer la resiliencia de ecosistemas forestales.

**Palabras clave:** bosque, dióxido de carbono, efecto invernadero, UNACEM.

## ABSTRACT

The research was conducted in the Cerro Blanco Private Conservation Area in Otavalo, Imbabura, near the UNACEM cement production facilities. The objective was to evaluate the CO<sub>2</sub> absorption percentage of *Weinmannia fagaroides* and *Alnus acuminata* in response to climate change and increasing greenhouse gas concentrations. This study provided relevant information for the “Million Trees” project and the Zero Carbon policy implemented by UNACEM. Two plots per species were established in selected sites. Tree canopy samples were taken, and the calcination method was used to determine the percentage of carbon absorbed. The results showed that *Alnus acuminata* stores 0.22 tons of carbon per individual, while *Weinmannia fagaroides* stores 0.10 tons. Environmental factors such as soil moisture and temperature were analyzed, as they can influence carbon capture efficiency. Differences in soil composition and the hydric regime of each species impact their CO<sub>2</sub> storage capacity. These findings highlight the importance of considering ecological conditions when selecting species for reforestation and mitigation of climate change. The results emphasize the need to implement conservation strategies that promote ecosystem recovery and maximize carbon absorption. Integrating sustainable management and fostering biodiversity will strengthen the resilience of forest ecosystems against climate change.

**Keywords:** Carbon dioxide, effect, forest, greenhouse, UNACEM.

## INTRODUCCIÓN

Con el surgimiento de la revolución industrial, las actividades industriales han liberado una gran cantidad de gases contaminantes de efecto invernadero a la atmósfera, provocando un incremento en la temperatura global; y con las consecuencias que conlleva a los ecosistemas y a la conservación de la biodiversidad (Environmental Protection Agency, 2022).

Los principales gases que producen el efecto invernadero en la atmósfera son el CO<sub>2</sub>, el NO<sub>2</sub>, y el metano, los cuales durante las últimas décadas han ido aumentando considerablemente debido a los modelos de producción y consumo. Este incremento ha deteriorado la calidad del aire y ha elevado el riesgo de enfermedades respiratorias, especialmente en niños y adultos mayores.

Ante esta problemática global, la mitigación del cambio climático se ha convertido en una prioridad tanto para gobiernos como para la sociedad civil y el sector empresarial; una de las estrategias más importantes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y estabilizar el clima es el secuestro de carbono, proceso mediante el cual los ecosistemas absorben y almacenan CO<sub>2</sub> de la atmósfera (Pardos, 2016, p. 321).

La investigación tuvo como objetivo cuantificar la cantidad de carbono capturado por las especies vegetales *Weinmannia fagaroides* y *Alnus acuminata* dentro del Área de Conservación Privada Cerro Blanco, determinando cuál de ellas posee un mayor porcentaje de absorción de CO<sub>2</sub>, siendo de relevancia para futuros proyectos de reforestación en la zona.

La elección de investigar la especie *Alnus acuminata* como parte central de este estudio se basó en su predominancia en el área de conservación, lo que aseguró la efectividad del análisis, además, esta especie vegetal se destaca como una opción principal para la reforestación en los ecosistemas andinos, lo que añadió relevancia a la investigación, en cuanto a la especie *Weinmannia fagaroides*, su amplia distribución en el bosque protector la convirtió en un punto de estudio clave; es importante resaltar que, a pesar de su importancia ecológica, no se han realizado estudios previos sobre su capacidad para almacenar CO<sub>2</sub>.

La metodología aplicada en la investigación tuvo un enfoque descriptivo al medirse variables de las especies como altura y el diámetro a la altura del pecho (DAP) de la especie *Weinmannia fagaroides* y *Alnus acuminata* luego del establecimiento de parcelas en puntos de predominancia de los árboles, con esto se aplicaron fórmulas para determinar la cantidad de carbono almacenado en cada una de las parcelas de las dos especies; también se aplicó un método experimental para estimar el porcentaje de absorción de CO<sub>2</sub> tras la colecta de muestras vegetales de los árboles plus seleccionados, y se realizó el análisis en laboratorio a través del método de calcinación para determinación de cenizas.

Los resultados de este estudio indicaron que la especie *Weinmannia fagaroides* absorbe un valor de 0,105 toneladas de CO<sub>2</sub> en la estructura vegetal de cada individuo, mientras que la especie *Alnus acuminata* absorbe 0,25 toneladas en cada uno de los árboles; así mismo hay un almacenamiento de 16,25 ton por cada hectárea de *Weinmannia fagaroides*, y de 12,93 toneladas en cada hectárea de la especie *Alnus acuminata*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el proyecto de investigación se aplicó el método descriptivo para la identificación de las especies vegetales en los puntos de muestreo establecidos, y la medición de variables de interés como altura y el DAP de las especies seleccionadas, para su posterior recolección en el Área de Conservación Privada Cerro Blanco.

Se aplicó la técnica de observación directa para una inspección primaria del lugar y reconocimiento de las especies *Weinmannia fagaroides* y *Alnus acuminata* dentro de la zona; una vez determinados los sitios en los que hay mayor predominancia de estas especies, se elaboró un mapa del área de estudio por medio del software ArcGIS. Una vez realizada la identificación del área de estudio se marcaron 2 puntos de muestreo por cada una de las especies; y se procedió al establecimiento de una parcela en cada sitio de muestreo seleccionado, éstas tuvieron dimensiones de 50 m x 50 m ya que presentan menos problemas con respecto a la presencia o ausencia de árboles dentro y fuera de los bordes y permiten cubrir una superficie equivalente al

0,4 % del bosque de estudio, además fueron de tipo permanentes por ser más eficientes, a fin de determinar la dinámica respecto de la fijación de carbono (Arévalo, 2015, p. 7).

Para la mensuración forestal, se aplicó el método no destructivo, realizando mediciones directas en el campo del DAP y altura total de los árboles, para luego calcular el volumen, biomasa en la superficie, biomasa total, y cantidad de CO<sub>2</sub> secuestrado en el área de estudio mediante ecuaciones. (Russo, 2009, p. 5,6). El DAP fue medido a la altura del pecho (1,30 m) ya que es la medida estándar reconocida internacionalmente; y la medición de la altura de los árboles se realizó mediante principios trigonométricos con un clinómetro Abney. Para la recolección de muestras se seleccionaron árboles plus aplicando el método de árboles de comparación, y se procedió al corte y recolección de los árboles plus con la ayuda de una podadora aérea, se procuró tomar de 3 a 5 muestras de cada árbol de la periferia de ramas y hojas, se colocaron en mallas de invernadero, y se etiquetaron con su nombre, número de parcela, y número de árbol plus, para su posterior traslado al laboratorio (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2022, p. 8).

Para la fase de laboratorio se aplicó un método experimental orientado al análisis químico de la biomasa aérea de las muestras recolectadas, con el fin de determinar el contenido de cenizas mediante el método de calcinación y estimar la cantidad de carbono presente en las muestras.

Inicialmente, las muestras vegetales se pesaron para determinar su peso húmedo. Posteriormente, fueron trasladadas al laboratorio en bolsas de papel, donde se separaron en ramas y hojas y se colocaron en bandejas de papel de 25 × 15 cm. A continuación, se registró un segundo peso húmedo utilizando una balanza analítica.

Luego, las muestras se secaron en estufa a 80 °C durante 48 horas. Finalizado este proceso, se pesaron nuevamente para calcular el porcentaje de humedad mediante la fórmula correspondiente. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a calcinación, y la pérdida de masa obtenida se utilizó como base para estimar la fracción de carbono presente en la biomasa. A partir del porcentaje de cenizas determinado, se estimó la cantidad de CO<sub>2</sub> almacenado.

## Área de estudio

El estudio se realizó en el Área de Conservación Privada Cerro Blanco, ubicada en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura, Ecuador, entre 2.800 y 3.600 m s. n. m. El área corresponde a un bosque montano con presencia de especies nativas, temperatura media anual de 12 °C y precipitación aproximada de 1.500 mm.

## Diseño experimental

Se empleó un diseño descriptivo y comparativo con enfoque cuantitativo. Se seleccionaron cuatro parcelas permanentes, dos por especie, cada una de 50 × 50 m (0,25 ha), con base en criterios de representatividad del bosque y referencias metodológicas previas (Arévalo, 2015). La ubicación de las parcelas se determinó mediante muestreo dirigido en zonas con predominancia de *Weinmannia fagaroides* y *Alnus acuminata*, las cuales fueron georreferenciadas mediante GPS y cartografiadas en ArcGIS.

En cada parcela se registraron todos los individuos con DAP ≥ 10 cm, contabilizando un total de **n = XX** árboles por especie. Se midieron las variables diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total y biomasa aérea estimada.

## Medición de variables

- **DAP:** medido con cinta diamétrica (precisión ±0,1 cm).
- **Altura:** determinada mediante clinómetro Abney (precisión ±0,5°) aplicando principios trigonométricos.
- **Edad estimada:** calculada mediante modelos alométricos para especies andinas.
- **Factores ambientales:** humedad del suelo y temperatura registradas con sensores digitales calibrados (±0,5 % y ±0,1 °C).

## Estimación de biomasa y carbono

Se aplicaron ecuaciones alométricas validadas para bosques andinos (Russo, 2009) para calcular biomasa aérea. Posteriormente, se estimó el carbono como el 45 % de la biomasa seca, y el CO<sub>2</sub> equivalente mediante el factor de conversión 3,67 (IPCC, 2006).

## Muestreo y análisis de laboratorio

Se seleccionaron árboles plus (3-5 por parcela) para coleccionar muestras de hojas y ramas mediante podadora aérea. Las muestras se secaron en estufa a 80 °C durante 48 h, se pesaron en balanza analítica ( $\pm 0,01$  g) y se sometieron a calcinación a 550 °C para determinar cenizas. El contenido de carbono se calculó a partir de la pérdida de masa, siguiendo protocolos estandarizados (UPTC, 2022).

## Análisis estadístico

Se verificó normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene). Se compararon especies mediante ANOVA de una vía ( $\alpha = 0,05$ ) y se calcularon intervalos de confianza al 95 %. La relación entre DAP y altura se evaluó con correlación de Pearson y se reportaron coeficientes  $r$  y  $r^2$ . El análisis se realizó en R v4.3.1.

## RESULTADOS

### *Weinmannia fagaroides*

Como se puede observar en la Figura 1 la especie *Weinmannia fagaroides* es una especie nativa de regiones templadas de América del Sur, crece en bosques de tipo subpáramo entre los 2800 a 3600 msnm. Su polinización se da por anemofilia, la madera se utiliza para la construcción de cercas, muebles o leña, y sirve como refugio de varias especies de aves (Global Biodiversity Information Facility, 2023).

Figura 1. Especie *Weinmannia fagaroides*  
(Ruiz, 2024)



### *Alnus acuminata*

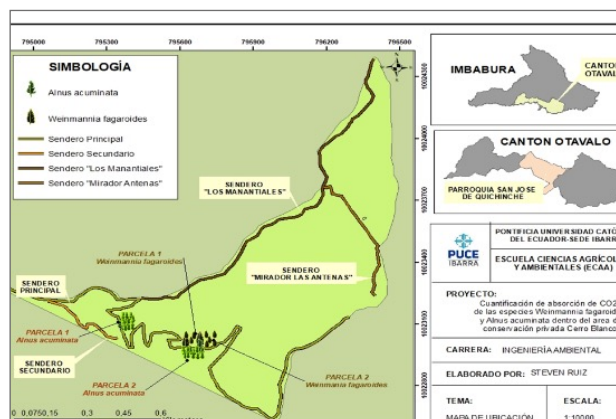
Como se puede observar en la Figura 2 esta especie es un árbol nativa de los Andes, de hasta 20 metros de altura que se puede encontrar en laderas montañosas, riberas de los ríos, pendientes húmedas, y en zonas con mucha neblina, se ubica en áreas con temperaturas entre 4° a 27° y con precipitaciones de 1000 a 3000 mm; tiene aplicaciones en la agroforestería ya que es de rápido crecimiento y aporta grandes cantidades de nitrógeno al suelo; también es una especie idónea para suelos degradados y para proyectos de reforestación ya que absorbe grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y óxido nitroso de la atmósfera (Guerrero et al., 2018).

Figura 2. Especie *Alnus acuminata*  
(Ruiz, 2024)

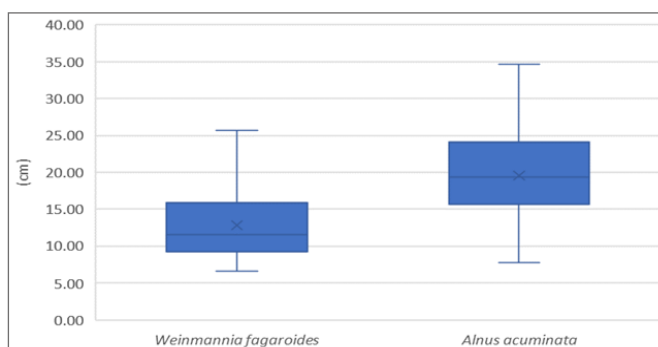


Los sitios de implementación de las 4 parcelas que sirvieron para la medición y colecta de las especies *Weinmannia fagaroides* y *Alnus acuminata* fueron georreferenciadas mediante el software ArcGIS en la Figura 3.

**Figura 3. Sitios de muestreo establecidos en el Área de Conservación Privada Cerro Blanco DAP (Ruiz, 2024)**



**Figura 4. Relación entre la especie y el DAP (Ruiz, 2024)**

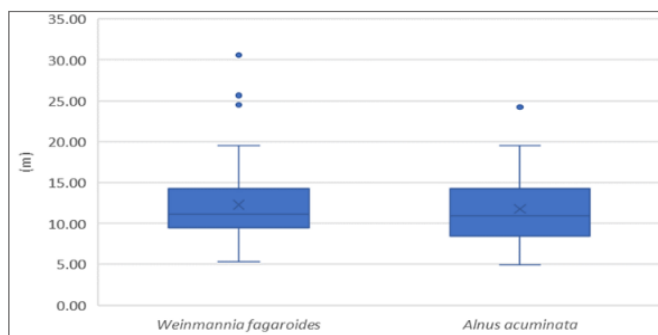


Las medias de DAP de cada especie muestran que la especie *Weinmannia fagaroides* centra su valor diamétrico alrededor de los 13 cm, en tanto la especie *Alnus acuminata* posee una media en su

concentración diamétrica no mayor a 20 cm, por lo que esta especie muestra un tronco de mayor diámetro.

### Altura

**Figura 5. Relación entre la especie y la altura (Ruiz, 2024)**

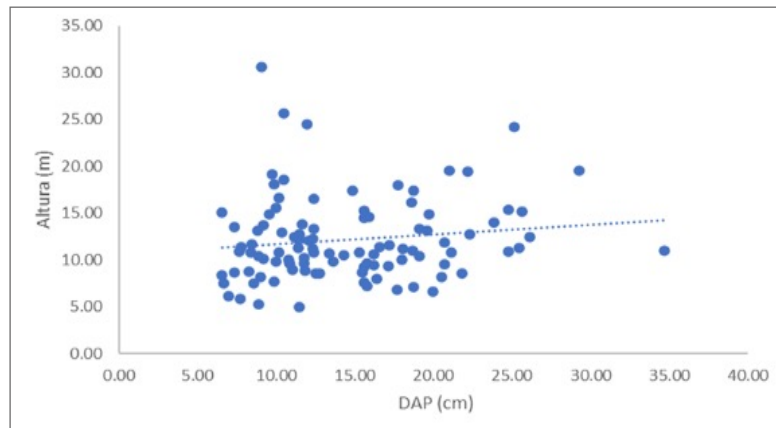


En la Figura 5 la altura de las 2 especies muestra una media similar, con valores cercanos a 14 m, aunque en la especie *Weinmannia fagaroides* se registraron

valores atípicos de altura, con datos de hasta 30 m, mientras que en la especie *Alnus acuminata* se identificó un valor atípico de casi 25 m de altura.

## Relación entre DAP y altura

**Figura 6. Relación entre DAP y altura** (Ruiz, 2024)



De acuerdo con el análisis de la Figura 6, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson y se determinó un valor de 0,07 para la especie *Weinmannia fagaroides*, y 0,45 para *Alnus acuminata*, dando

como resultado una correlación débil y moderada entre estas variables, por lo que el aumento del DAP no se relaciona de manera consistente con un aumento en la altura de los árboles.

## CO<sub>2</sub> ALMACENADO

**Tabla 1. Cantidad de CO<sub>2</sub> absorbido por la especie *Weinmannia fagaroides***

N° parcela	Cantidad de secuestrado (t)
Parcela 1	5,253
Parcela 2	2,872
<b>Total</b>	<b>8,125</b>

Fuente (Ruiz, 2024).

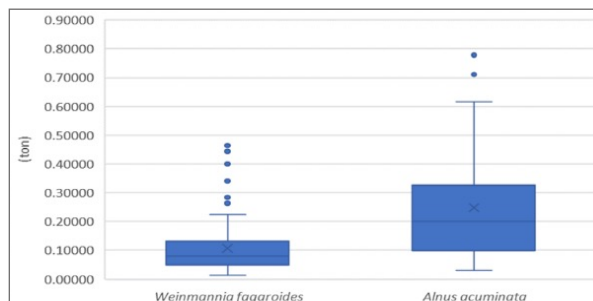
**Tabla 2. Cantidad de CO<sub>2</sub> absorbido por la especie *Alnus acuminata***

N° parcela	Cantidad de secuestrado (t)
Parcela 1	3,314
Parcela 2	3,142
<b>Total</b>	<b>6,456</b>

Fuente (Ruiz, 2024).

## REPRESENTACIÓN GRÁFICA

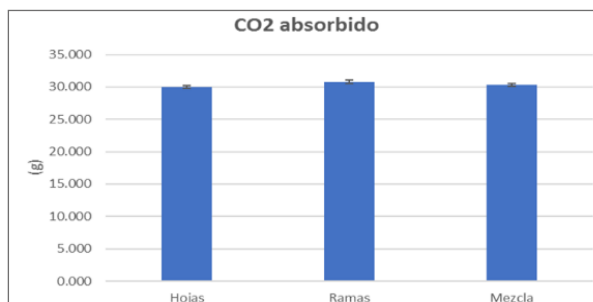
**Figura 7. Relación entre la especie y la cantidad de CO<sub>2</sub> capturado** (Ruiz, 2024)



En la Figura 7 y Tablas 1, 2 se indica que cada individuo de la especie *Weinmannia fagaroides* absorbe una media de 0,10 toneladas de CO<sub>2</sub> en su estruc-

tura; mientras que *Alnus acuminata* registra un valor promedio de 0,20 toneladas de CO<sub>2</sub> absorbidas por cada individuo.

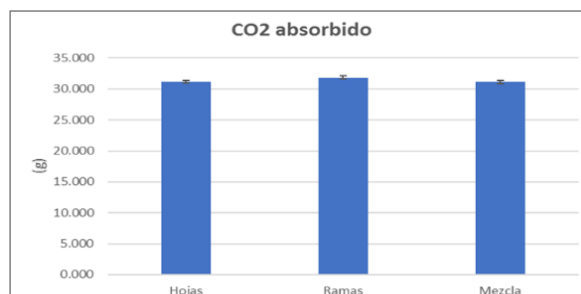
**Figura 8. Cantidad de CO<sub>2</sub> absorbido por partes del árbol *Weinmannia fagaroides*** (Ruiz, 2024)



De acuerdo con la Figura 8, no se observaron diferencias significativas en los valores de CO<sub>2</sub> absorbido por las diferentes partes del árbol de la

especie *Weinmannia fagaroides*, como se evidencia en la desviación estándar de 0,39.

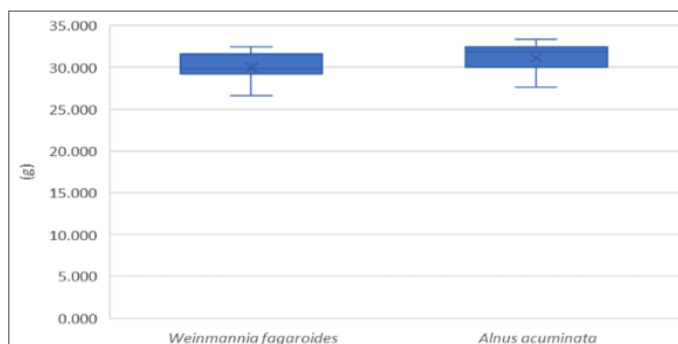
**Figura 9. Cantidad de CO<sub>2</sub> absorbido por partes del árbol *Alnus acuminata*** (Ruiz, 2024)



Según el análisis de la Figura 9, los valores de absorción de CO<sub>2</sub> a nivel de hojas, ramas y una mezcla de ambos se sitúan dentro del mismo

rango, como indica una desviación estándar de 0,42.

**Figura 10. Relación entre la especie y la cantidad de CO<sub>2</sub> absorbido** (Ruiz, 2024)

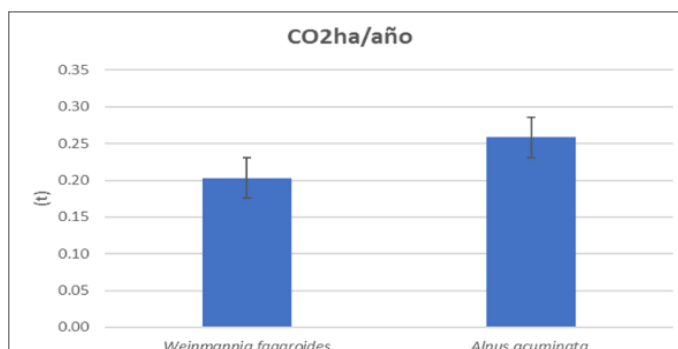


De acuerdo con el análisis de la Figura 10, la especie *Alnus acuminata* presenta una mayor absorción de CO<sub>2</sub>, con valores medios de 31 g por árbol, en comparación con *Weinmannia fagaroides*, que

registra una media de 30 g. Sin embargo, cabe destacar que luego de un análisis estadístico, estas diferencias no resultaron significativas.

### CO<sub>2</sub> ABSORBIDO POR HECTÁREA POR AÑO.

**Figura 11. Cantidad de CO<sub>2</sub> absorbido por hectárea por año** (Ruiz, 2024)



Según la Figura 11, la especie *Weinmannia fagaroides* posee un menor valor de almacenamiento de CO<sub>2</sub> por hectárea por año con casi 0,20 ton, mientras que *Alnus acuminata* registra un valor aproximado de 0,25 ton.

### DISCUSIÓN

Los valores de carbono almacenado en la biomasa de las especies *Weinmannia fagaroides* y *Alnus acuminata* resultaron superiores a los resultados de la investigación hecha por Guerrero (2018), los cuales en su estudio denominado “*Alnus acuminata kunth*: una alternativa de reforestación y fijación de dióxido de carbono” reportaron valores de 2,05 toneladas de CO<sub>2</sub> alma-

cenado en la estructura de 40 árboles de la especie *Alnus acuminata*, esto debido a que el sector corresponde a un bosque en zona de transición, en el que sus alrededores han sido deforestados para el cultivo de pastos. Así mismo, los valores obtenidos resultaron menores a los presentados por Arévalo (2015) en un bosque siempreverde montano y siempreverde montano bajo, en los que se registraron valores de 151 t/ha, mientras que Quinceno (2016) reportó resultados de 174,7 toneladas de CO<sub>2</sub> fijado por las especies en un bosque muy húmedo tropical, debido a que consideraron la biomasa en otros compartimentos de almacenamiento como la hojarasca. Según Quinceno (2016) existen factores que intervienen positiva o negativamente en la estimación de fijación de CO<sub>2</sub> en la biomasa, como el tipo

de población a muestrear, y al realizar el estudio en un bosque primario se desconoce parámetros importantes como la edad de los árboles, ya que un árbol maduro almacena más carbono que uno en desarrollo; así mismo un bosque primario puede poseer una mayor densidad de árboles por superficie, en comparación a un bosque secundario o una plantación.

## CONCLUSIÓN

La especie *Alnus acuminata* mostró una mayor absorción de CO<sub>2</sub> en su estructura fisiológica por individuo en comparación con *Weinmannia fagaroides*, aunque no se encontraron diferencias significativas entre ambas especies ( $p > 0.05$ ). Los valores medios de absorción fueron de 31 g por árbol para *Alnus acuminata* y 30 g por árbol para *Weinmannia fagaroides*, mostrando una proporción similar de captura a nivel de hojas y ramas en ambas especies.

Existe una mayor absorción de carbono por árbol en la especie *Alnus acuminata* con un dato medio de 0,22 toneladas, y de 0,10 toneladas en *Weinmannia fagaroides*, aunque los cálculos de almacenamiento de carbono por hectárea revelaron un valor promedio de aproximadamente 16 ton para *Weinmannia fagaroides*, mientras que para *Alnus acuminata* fue de cerca de 13 ton.

La correlación entre el DAP y la altura de los árboles fue débil y moderada para *Weinmannia fagaroides* ( $r = 0.07$ ) y *Alnus acuminata* ( $r = 0.45$ ), respectivamente, sugiriendo que el aumento en el DAP no se relaciona consistentemente con un aumento en la altura de los árboles, y en otras variables como el volumen, área basal, y cantidad de biomasa.

Se recomienda a la empresa UNACEM realizar estudios adicionales sobre el análisis de las tasas de absorción de carbono por parte de las especies vegetales en el Área de Conservación Privada Cerro Blanco, para su comparación con las emisiones de carbono generadas en el proceso productivo de fabricación de cemento, estimando la eficacia de las prácticas de gestión forestal para capturar y almacenar carbono.

## AGRADECIMIENTO

A la empresa UNACEM por los recursos brindados y la apertura al Área de Conservación Privada Cerro Blanco.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Amay, I., Velásquez, O., Vera, K., & Villalva, S. (2021). *Diagnóstico estratégico de Imbabura*. <https://storymaps.arcgis.com/stories/be2b7b219aa74d1db030677feec-63c8a>
- Antos, J. (2004). *Understory plants in temperate forests*. Encyclopedia of Life Support Systems. <http://www.eolss.net/sample-chapters/c10/e5-03-01-08.pdf>
- Arévalo, C. (2015). *Medición de carbono del estrato arbóreo en un área del Bosque Natural Tinajillas-Limón Indanza* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8427/1/UPS-CT004932.pdf>
- Banqué, M. (2017). *Carbono y cambio climático*. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales. [https://www.creaf.cat/sites/default/files/creaf\\_carbono\\_esp.pdf](https://www.creaf.cat/sites/default/files/creaf_carbono_esp.pdf)
- Benavides, H., & León, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Bertzky, M., Ravilious, C., Kapos, V., Araujo, A., & Dickson, B. (2011). *Carbono, biodiversidad y servicios ecosistémicos: Explorando los beneficios múltiples*. UNEP World Conservation Monitoring Centre. <https://www.un-redd.org/document-library>
- Cancino, J. (2012). *Dendrometría básica*. Universidad de Concepción. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/407>
- Castells, X. (2012). *Biomasa y bioenergía*. Ediciones Díaz de Santos.
- Catalán, R. (2021). *Análisis proximales en alimentos*. <https://tecnosolucionescr.net/blog/278-analisis-proximales-en-alimentos>
- Crespo, C. (2022). *Rumbo a la neutralidad climática en 2050: ¿Qué es la huella cero de carbono?* National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente>
- Deutsche Welle. (2022). *Cinco países acaparan casi dos tercios de las emisiones*. <https://www.dw.com>
- Environmental Protection Agency. (2022). *Emisiones de dióxido de carbono*. <https://espanol.epa.gov>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2004). *Inventario forestal nacional: Manual de campo*. FAO. <https://www.fao.org/3/ae578s/ae578s.pdf>

- Gallardo, J., & Merino, A. (2007). *El ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales*. Fundación Gas Natural. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/35792/1/Elpapel200743.pdf>
- García, R. (2017). *Almacén de carbono en plantaciones de Pinus patula y Pinus ayacahuite en el Estado de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Global Biodiversity Information Facility. (2023). *GBIF backbone taxonomy*. <https://www.gbif.org>
- Green Wise. (2022). *Aplicación al Programa Ecuador Carbono Cero (PECC)*. <https://programajuntos.pactoglobal-ecuador.org>
- Greenpeace. (2018). *Así nos afecta el cambio climático*. <https://es.greenpeace.org>
- Guerrero, E., Jiménez, L., Palacios, J., & Capa, D. (2018). *Alnus acuminata Kunth: Una alternativa de reforestación y fijación de dióxido de carbono*. Bosques Latitud Cero. <https://revistas.unl.edu.ec>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2005). *Guía de buenas prácticas del uso de la tierra*. IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Glosario*. IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *Causas y efectos del cambio climático*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/climatechange>
- Ipinza, R. (1998). *Métodos de selección de árboles plus*. Universidad Austral de Chile.
- Juárez, F. (2014). *Dasometría: Guía de actividades prácticas*.
- Kuebler, M. (2022). *Bioenergía con captura de CO<sub>2</sub>: ¿Frenará el cambio climático?* Deutsche Welle.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2020). *Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación del Ecuador*. <https://redd.unfccc.int>
- Martínez, J., & Fernández, A. (2004). *Cambio climático: Una visión desde México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- National Geographic. (2022). *Cambio climático: Qué es, cuáles son sus causas y qué puedes hacer*.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París*. <https://unfccc.int>
- Ordóñez, J., Naranjo, A., Venegas, N., & Hernández, T. (2015). *Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación*. Madera y Bosques.
- Pardos, J. (2016). *El carbono, los ecosistemas forestales y el cambio climático*. Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Phillips, O., Baker, T., Feldpausch, T., & Brienen, R. (2016). *Manual de campo para el establecimiento y remediación de parcelas*. RAINFOR.
- Puetate, G. (2017). *Translocación de plántulas en un área degradada del Carchi* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica del Norte].
- Quinceno, N., Tangarife, M., & Álvarez, R. (2016). *Estimación de biomasa y fijación de carbono en bosque primario*. Luna Azul.
- Robert, M. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. FAO.
- Rodgers, L. (2018). *La enorme fuente de emisiones de CO<sub>2</sub> que está por todas partes*. BBC Mundo.
- Rubio, A., & Calama, R. (2023). *El papel de los bosques como sumideros de carbono*. National Geographic.
- Russo, R. (2009). *Guía práctica para la medición de la captura de carbono en la biomasa forestal*. Universidad Earth.
- UNACEM. (2020). *Reporte de sostenibilidad*. <https://unacem.com.ec>
- Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (2022). *Protocolo herbario UPTC*.
- World Wide Fund for Nature. (1998). *Protocolo de Kyoto*. WWF.
- World Wide Fund for Nature UK. (2021). *Sintiendo el calor: El destino de la naturaleza más allá de los 1,5 °C*. WWF

## Curiosidades de la Química

### REIMAGINEMOS EL CO<sub>2</sub>: NO COMO UN PROBLEMA, SINO COMO LA BASE DE SU PROPIA SOLUCIÓN

Abigail Guerrero

Durante décadas, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ha sido presentado casi exclusivamente como el residuo final de los sistemas productivos modernos, en otras palabras, un subproducto inevitable, acumulativo y ambientalmente perjudicial. Esta visión, aunque correcta desde una perspectiva climática, resulta incompleta desde el punto de vista químico. El CO<sub>2</sub> no es un compuesto inerte ni un callejón sin salida, más bien es carbono en su estado más oxidado y, por tanto, una molécula con potencial para ser transformada. Lo que realmente importa no es únicamente cuánto CO<sub>2</sub> emitimos, sino cómo decidimos interactuar con él una vez liberado.

La química contemporánea ha comenzado a replantear este enfoque, desplazando la atención desde la simple captura hacia la utilización del CO<sub>2</sub> como materia prima. Sin embargo, esta transición no es trivial. Convertir CO<sub>2</sub> requiere energía, control de selectividad y diseños que eviten balances energéticos negativos. En este escenario, las tecnologías electroquímicas emergen como una alternativa sólida, ya que permiten acoplar fuentes

eléctricas renovables con reacciones redox controladas. Según Leonzio (2024), la electroreducción de CO<sub>2</sub> representa una de las estrategias más prometedoras para cerrar el ciclo del carbono, siempre que se logre integrar de forma eficiente con sistemas energéticos sostenibles.

Dentro de este marco, las tecnologías bioelectroquímicas ofrecen una aproximación particularmente interesante. Las celdas de combustible microbianas (MFC) demuestran que ciertos microorganismos pueden oxidar sustratos orgánicos y transferir electrones directamente a un ánodo, generando electricidad de manera simultánea al tratamiento de residuos. De acuerdo con Logan et al. (2006), este proceso se basa en microorganismos exoelectrogénicos capaces de establecer un flujo electrónico estable bajo condiciones anaerobias. Más allá de su valor energético, estas celdas obligan a repensar la separación tradicional entre remediación ambiental y producción de energía, integrándolas en un solo sistema funcional.

El interés por estas tecnologías no reside únicamente en su principio de funcionamiento, sino en su potencial de adaptación a contextos reales. Según Bahamonde (2022), uno de los principales desafíos para la implementación práctica de las MFC no es la bioquímica microbiana, sino el desempeño de componentes clave como las membranas. Factores como el costo, la resistencia iónica y la susceptibilidad al biofouling condicionan directamente la eficiencia global del sistema. En este sentido, la modificación bioinspirada de membranas de bajo costo con óxidos metálicos como  $\text{TiO}_2$  y  $\text{ZnO}$  ha mostrado mejoras significativas en estabilidad y rendimiento electroquímico, evidenciando que el diseño de materiales es tan determinante como la biología involucrada.

Paralelamente, la conversión del  $\text{CO}_2$  hacia moléculas de un solo carbono aparece como una de las rutas más realistas desde el punto de vista energético. El formiato y el ácido fórmico, en particular, han ganado atención debido a su relativa facilidad de producción y a su versatilidad como intermediarios químicos. Según Fan et al. (2020), la electroreducción de  $\text{CO}_2$  a ácido fórmico presenta ventajas termodinámicas frente a otros productos más reducidos, además de facilitar su integración en procesos posteriores. Esta característica convierte al formiato en un vector atractivo tanto para almacenamiento químico como para aplicaciones bioquímicas.

En este punto, la biocatálisis adquiere un rol central. La enzima *formate dehydrogenase* (FDH) es capaz de catalizar la interconversión entre  $\text{CO}_2$  y formiato bajo condiciones suaves, lo que la posiciona como un puente natural entre la electroquímica y los sistemas biológicos. Según Calzadiaz-Ramírez. (2022), la integración de FDH en sistemas electroquímicos permite alcanzar altos niveles de selectividad y eficiencia, reduciendo la necesidad de condiciones extremas típicas de la catálisis térmica convencional. Este tipo de enfoques refuerza la idea de que la utilización del  $\text{CO}_2$  no debe abordarse desde una única disciplina, sino desde la convergencia entre química, biología y ciencia de materiales.

Es importante reconocer que estas tecnologías no constituyen soluciones inmediatas ni universales frente a la crisis climática. La conversión de  $\text{CO}_2$  solo resulta relevante si se sostiene sobre balances energéticos favorables, materiales dura-

bles y esquemas escalables. No se debe tomar a la ligera la complejidad que implica trasladar estos sistemas del laboratorio a aplicaciones industriales o ambientales. Sin embargo, como plantea Bahamonde (2022), su verdadero valor reside en la integración de procesos que históricamente se han tratado de forma aislada como la generación de energía, tratamiento de residuos y transformación química del carbono.

Reimaginar el  $\text{CO}_2$  como reactivo no significa negar su impacto ambiental, sino enfrentarlo desde una perspectiva más activa y técnica. Implica aceptar que la solución no pasa únicamente por capturar y almacenar, sino por diseñar sistemas capaces de transformar un pasivo ambiental en una oportunidad tecnológica. En este sentido, las tecnologías bioelectroquímicas no prometen respuestas simples, pero sí abren un espacio donde la química deja de ser espectadora del problema y se convierte en una herramienta concreta para replantear el ciclo del carbono.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bahamonde Soria, R., Chinchin, B. D., Arboleda, D., Zhao, Y., & Bonilla, P. (2022). Effect of the bio-inspired modification of low-cost membranes with  $\text{TiO}_2$ : $\text{ZnO}$  as microbial fuel cell membranes. *Chemosphere*, 291(Part 1), 132840. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132840>.
- Calzadiaz-Ramírez., Meyer., (2022). Formate dehydrogenases for  $\text{CO}_2$  utilization. *Biotechnology Advances*.
- Fan, L., Xia, C., Zhu, P., Lu, Y., & Wang, H. (2020). Electrochemical  $\text{CO}_2$  reduction to high-concentration pure formic acid solutions. *Nature Communications*, 11(1), 3633.
- Leonzio, G. (2024). Electrochemical reduction of  $\text{CO}_2$ : A state-of-the-art review of catalysts, processes and applications. *Chemical Engineering and Processing*.
- Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schröder, U., Keller, J., Freguia, S., Aelterman, P., Verstraete, W., & Rabaey, K. (2006). Microbial fuel cells: Methodology and technology. *Environmental Science & Technology*, 40(17), 5181–5192. <https://doi.org/10.1021/es0605016>