Metabolitos y actividad antimicrobiana en plantas medicinales del cantón Arajuno, Pastaza, Ecuador

Metabolites and antimicrobial activity in medicinal plants from Arajuno canton, Pastaza, Ecuador

Jefferson V. Pastuña F.[1,2]; Noroska Gabriela Salazar Mogollón[2,3]; Gabriela Sosa Pozo[2]; Nina Espinosa de los Monteros-Silva[4]; Zulay M. Niño-Ruiz[5]

[1] Department of Nutritional Sciences, College of Natural Sciences, The University of Texas at Austin, Austin, TX 78712, USA. ROR: https://ror.org/00hj54h04
[2] *Biomolecules Discovery Group, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Av. Muyuna Km 7, Tena, Ecuador.* ROR: https://ror.org/005cgg117
[3] *Laboratorio de Productos Naturales Ikiam, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Av. Muyuna Km 7, Tena, Ecuador.* ROR: https://ror.org/005cgg117
[4] *Laboratorio de Biología Molecular y Bioquímica Ikiam, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Av. Muyuna Km 7, Tena, Ecuador.* ROR: https://ror.org/005cgg117
[5] *Biomass to Resources Group, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Av Muyuna Km 7, Tena - Ecuador*. ROR: https://ror.org/005cgg117

✉ jefferson.pastuna@ikiam.edu.ec | ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7286-2029
✉ gabriela.salazar@ikiam.edu.ec | ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0756-6184
✉ gabriela.sosa@ikiam.edu.ec | ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0946-7095
✉ nina.espinosadelosmonteros@ikiam.edu.ec | ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7503-1165
✉ zulay.nino@ikiam.edu.ec | ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2512-7548
E-mail de correspondencia: gabriela.salazar@ikiam.edu.ec

Serie Monográfica Glebe e-ISSN: 3103-1234
Vol. 2(3) septiembre - diciembre 2026

Obra colectiva
Chakra 4.0 y bioeconomía: Las bases del desarrollo sostenible en la Amazonía Ecuatoriana
ISBN de la obra completa: 978-9907-9552-7-9
DOI de la obra
https://doi.org/10.63804/gb.v2i3

Editores académicos del volumen
Wilfredo Franco; Zulay Niño Ruiz.
Universidad Regional Amazónica Ikiam, Ecuador.

Proceso de evaluación
Este capítulo forma parte de una obra colectiva sometida en su totalidad a revisión por pares doble ciego por dos revisores externos e independientes.

Como citar este capítulo
Pastuña F, J.V.; Salazar Mogollón, N.G.; Sosa Pozo, G.; Espinosa de los Monteros-Silva, N.; Niño-Ruiz, Z.M. (2026). Metabolitos y actividad antimicrobiana en plantas medicinales del cantón Arajuno, Pastaza, Ecuador. En W. Franco & Z. Niño Ruiz (Eds.), *Chakra 4.0 y bioeconomía: Las bases del desarrollo sostenible en la Amazonía ecuatoriana* (Glebe, Vol. 2, Núm. 3, Cap. III, e3). Editorial Unión Científica.
https://doi.org/10.63804/gb.v2i3.e3

Copyright
© **2026 Los autores**. Este capítulo forma parte de un libro publicado en acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0), que permite su uso, distribución y adaptación con fines no comerciales, siempre que se otorgue la debida atribución, se indique cualquier modificación realizada y las obras derivadas se distribuyan bajo la misma licencia.

Recibido: 11 de marzo de 2026
Revisado: 20 de julio de 2026

Resumen

Las plantas medicinales constituyen una fuente esencial de atención para numerosas comunidades amazónicas. Durante la pandemia de COVID-19, estas poblaciones enfrentaron una amenaza considerable debido a su vulnerabilidad estructural y al limitado acceso a servicios de salud. En Arajuno, la baja mortalidad registrada fue atribuida localmente al consumo de jarabes artesanales elaborados con especies vegetales. Este estudio analizó la composición química de extractos provenientes de cuatro plantas utilizadas en estos preparados por tres comunidades kichwas del cantón. El trabajo de campo permitió documentar 13 especies empleadas en jarabes denominados anti-COVID-19. Para los análisis se seleccionaron las cuatro de uso más frecuente: *Aspidosperma rigidum*, *Couroupita guianensis*, *Monteverdia laevis* y *Protium sagotianum*, principalmente mediante el aprovechamiento de la corteza del tallo. El estudio fitoquímico detectó alcaloides, flavonoides, polifenoles y terpenoides en *A. rigidum*; flavonoides, polifenoles y terpenoides en *M. laevis*; y flavonoides y polifenoles en *C. guianensis* y *P. sagotianum*. Mediante UPLC-MS/MS se identificaron 13 compuestos conocidos. Además, *C. guianensis*, *M. laevis* y *P. sagotianum* mostraron actividad antimicrobiana. Entre los metabolitos identificados se encuentra el ácido gálico y otras moléculas descritas por sus propiedades antimicrobianas y posible actividad antiviral. Estos hallazgos aportan bases para nuevas investigaciones sobre el valor farmacológico de las plantas amazónicas, aunque no demuestran eficacia clínica frente al SARS-CoV-2.

Palabras clave: corteza de tallo; espectrometría de masas; extractos acuosos; metabolómica; plantas amazónicas.

Aceptado: 25 de julio de 2026
Publicado: 18 de noviembre de 2026
Responsable editorial
Editorial Unión Científica.
Ambato, Ecuador
https://libros.editorialunioncientifica.com/

Abstract

Medicinal plants constitute an essential component of healthcare for many Amazonian communities. During the COVID-19 pandemic, these populations faced a substantial threat because of structural vulnerability and limited access to healthcare services. In Arajuno, the relatively low recorded mortality was locally attributed to the consumption of artisanal syrups prepared from medicinal plant species. This study analyzed the chemical composition of extracts obtained from four plant species used in these preparations by three Kichwa communities in the canton. Fieldwork documented 13 species used in locally designated anti-COVID-19 syrups. The four most frequently used species were selected for analysis: *Aspidosperma rigidum*, *Couroupita guianensis*, *Monteverdia laevis*, and *Protium sagotianum*, with stem bark being the plant material most commonly harvested. Phytochemical screening detected alkaloids, flavonoids, polyphenols, and terpenoids in *A. rigidum*; flavonoids, polyphenols, and terpenoids in *M. laevis*; and flavonoids and polyphenols in *C. guianensis* and *P. sagotianum*. Ultra-performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry identified 13 known compounds. In addition, *C. guianensis*, *M. laevis*, and *P. sagotianum* exhibited antimicrobial activity. The identified metabolites included gallic acid and other compounds previously reported to possess antimicrobial properties and potential antiviral activity. These findings provide a foundation for further research into the pharmacological value of Amazonian plants; however, they do not demonstrate clinical efficacy against SARS-CoV-2.

Keywords: Amazonian plants; aqueous extracts; mass spectrometry; metabolomics; stem bark.

Introducción

El término diversidad biológica se refiere a la variedad de organismos vivos que caracterizan a una región y, más recientemente se ha acuñado el término biodiversidad como una contracción moderna del término diversidad biológica, desplazando el foco hacia la riqueza de especies y la función de los ecosistemas [1], [2]. Por otra parte, el concepto de megadiversidad es usado para referirse a un país o región que contiene un alto nivel de biodiversidad, incluyendo un porcentaje significativo de especies endémicas [3]. Según informes recientes, el 70% de las especies de plantas y animales a nivel mundial se distribuye en 17 países, lo que constituye menos del 10% del área total del planeta [4].

Con relación a la diversidad vegetal, esta constituye uno de los recursos más valiosos de la agricultura, la industria, la medicina y la biotecnología. Esta diversidad no solo sirve de alimento para el 90% de la población mundial que utiliza principalmente 15 especies de plantas, sino también, muchas plantas nativas cultivadas y las especies silvestres son usadas como fuente genética para la obtención de plantas resistentes a diversas enfermedades y plagas, y con amplia adaptación y, finalmente muchas especies de plantas silvestres son valoradas por su aplicación en la industria farmacéutica, en la cual casi el 30 % de los fármacos son obtenidos de estas [5].

Así, el uso y preservación de la biodiversidad es un punto crucial para salvaguardar la seguridad alimentaria y la salud humana, puesto que la biodiversidad sirve de apoyo a la producción agrícola, contribuye con la mitigación de los efectos de la contaminación, genera resiliencia ante posibles riesgos ambientales y es fuente principal para futuras modificaciones genéticas [6]. En este sentido, muchas especies de plantas desempeñan un papel importante en el desarrollo de las culturas humanas en todo el mundo, principalmente en las comunidades indígenas, las cuales poseen un profundo conocimiento de las plantas y sus usos medicinales, en sus costumbres y rituales tradicionales, y han utilizado y conservado de forma sostenible una vasta diversidad de plantas [7].

Ecuador se divide geográficamente en cuatro regiones: Amazonía, Sierra, Costa y Galápagos que, en conjunto, abarca menos del 0,2 % de la superficie terrestre

mundial, sin embargo, alberga aproximadamente el 7 % de plantas vasculares descritas que representan unas 17 058 especies, que incluyen unas 4500 especies endémicas que representan cerca del 26 % de la flora nativa, lo que lo ubica entre los países megadiversos del planeta [8], [9], [10]. La Región Amazónica comprende el 42% del territorio ecuatoriano y es una de las regiones más importantes debido a la alta biodiversidad de plantas que se encuentra en la zona [11], [12]. En este extenso ecosistema, numerosas especies vegetales desempeñan un papel fundamental como fuentes primordiales de medicina, sustentando las prácticas curativas de decenas de miles de habitantes que dependen de los recursos naturales de los bosques [13], [14].

En su totalidad, la región del Amazonas alberga una gran variedad de especies vegetales, muchas de las cuales han sido, hasta ahora, poco exploradas, a pesar de su gran potencial para generar recursos en el área farmacéutica y médica [15]. El potencial del uso de plantas medicinales para el tratamiento de enfermedades, denominado fitoterapia, es una práctica de la medicina tradicional que se ha utilizado desde la aparición de la especie humana y, actualmente más del 75 % de las personas en todo el mundo dependen de plantas medicinales para sus principales necesidades de atención médica debido a sus interesantes propiedades fisicoquímicas y medicinales [16].

La riqueza de la biodiversidad presente en la región amazónica del Ecuador tiene un alto valor como un reservorio invaluable de conocimiento ancestral y potencial terapéutico profundamente arraigada en las culturas indígenas que han llamado a esta región su hogar durante siglos [12], [17]. Investigaciones realizadas en la región del Alto Napo de la Amazonía ecuatoriana han revelado un impresionante repertorio de 101 especies de plantas medicinales, cuyas propiedades terapéuticas se han atribuido a través de similitudes en la composición de grupos de metabolitos presentes en otras plantas de la misma familia, de las cuales las más utilizadas pertenecen a las familias Urticaceae, Arecaceae, Lecythidaceae, Malpighiaceae, Bignoniaceae, Commelinaceae, Solanaceae, Cyclanthaceae y Asteraceae [17]. Así mismo, en la provincia de Pastaza, se ha registrado que, de un total de 540 especies de plantas, casi el 80% de estas son aprovechadas como materiales, alimentos y en la medicina tradicional, evidenciando la rica tradición etnomedicinal de la región [12].

En este contexto, el cantón Arajuno, hogar principalmente de las nacionalidades Kichwa, Waorani y Shuar, ha emergido como una entidad que representa la relación entre la etnomedicina y la epidemiología. Las poblaciones indígenas, como los Kichwa de Arajuno, han demostrado un aumento en el uso y experimentación con plantas medicinales, entre las cuales las más utilizadas son *Chamaemelum nobile*, *Piper aduncum*, *Maytenus laevis*, *Kalanchoe pinnata*, *Solanum dulcamara* y *Aloysia triphylla* [18]. Estos hallazgos resaltan la importancia del conocimiento ancestral en la medicina tradicional y su papel en la salud comunitaria en respuesta a eventos epidemiológicos [19] y, más recientemente, ante la epidemia del COVID-19 [20], [21]. Este último, como un episodio epidemiológico contemporáneo, representó una seria amenaza a la salud de las poblaciones amazónicas debido a factores como la falta de infraestructuras de salud, el difícil acceso a servicios médicos y la susceptibilidad inmunológica [22].

En contraposición a esta vulnerabilidad, comunidades amazónicas, incluidas las comunidades del cantón Arajuno, buscaron alternativas naturales frente al COVID-19, como el uso de preparados medicinales a base de plantas que incluía corteza de *challua caspi*, *curi*, *llushtunda*, *musuwaska*, *ayahuasca*, *chuchuguaza*, sacha ajo y jenjibre [23]. A pesar de la falta de evidencia científica sólida, la comunidad pudo protegerse de manera efectiva y, hasta la fecha, no se ha registrado ninguna fatalidad atribuible al virus en Arajuno [24]. En concordancia con esto, algunas investigaciones científicas han sugerido que ciertos grupos de metabolitos presentes en plantas pueden tener propiedades antagonistas frente a estructuras virales de la familia de los coronavirus [25], [26].

A partir de estos antecedentes, el estudio aborda el interrogante epidemiológico y etnofarmacológico relacionado con las plantas medicinales utilizadas por las comunidades del cantón Arajuno durante la COVID-19. Su objetivo es caracterizar químicamente los extractos empleados en la medicina tradicional local y aportar evidencia científica sobre sus posibles propiedades biológicas. El estudio de estas especies puede abrir nuevas líneas de investigación para desarrollar alternativas basadas en recursos naturales y contribuir, a largo plazo, al bienestar de las comunidades amazónicas.

Metodología

Etnofarmacología

Se realizó una recopilación de información sobre las especies de plantas usadas para el tratamiento del COVID-19 mediante un muestreo no probabilístico que incluyó a shamanes, curanderos y sanadores de tres comunidades del cantón Arajuno. Para ello, se aplicaron entrevistas estructuradas a los shamanes Edgar Vargas (comunidad de Chuyayaku), Jorge Alvarado, Remigio Andi y Marcia Calapucha (comunidad Shiwa Kucha) y a Héctor López (comunidad Nushinu Ishpinkuse) (Tabla 1).

Tabla 1. Información de los shamanes de nacionalidad Kichwa entrevistados en las diferentes comunidades.

Fecha	Nombre del shamán	Comunidad	Coordenadas geográficas
21-09-2021	Edgar Vargas	Chuyayaku	1° 28' 4.24" S; 77° 39' 24.69" W
22-09-2021	Jorge Alvarado	Shiwa Kucha	1° 8' 22.89" S; 77° 38' 17.03" W
22-09-2021	Remigio Andi	Shiwa Kucha	1° 8' 22.89" S; 77° 38' 17.08" W
22-09-2021	Marcia Calapucha	Shiwa Kucha	1° 8' 22.89" S; 77° 38' 18.02" W
22-09-2021	Héctor López	Nushinu Ishpinku	1° 12' 35.61" S; 77° 34' 2.41" W

La información obtenida en las entrevistas fue organizada y sistematizada para su posterior análisis. Se empleó el Índice de Importancia Cultural (IIC) para identificar las plantas que presentaban un mayor valor terapéutico en el contexto de la etnofarmacología [27]. Este índice permite estimar la importancia relativa de distintas especies de planta de acuerdo a su uso medicinal y puede tomar un valor máximo de 1, que indica un total consenso de los entrevistados acerca de las especies utilizadas para una determinada categoría de uso medicinal particular [28].

Una vez calculados los IIC, se seleccionaron las especies con los valores más altos para evaluar su composición química y actividad biológica. Dado que el estudio se centró en plantas empleadas en preparados medicinales frente a la COVID-19, esta enfermedad no se incluyó como categoría independiente en el cálculo. En cambio, se consideraron categorías de uso vinculadas con sus síntomas, de acuerdo con la definición de la Organización Mundial de la Salud [29].

Recolección de muestras vegetales

En cada comunidad, las muestras vegetales fueron recolectadas y analizadas con autorización con código MAAE-ARSFC-2021-1144 emitida por el Ministerio del

Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), con fecha 15 de abril de 2021. Las muestras fueron recolectadas siguiendo métodos tradicionales de las comunidades.

La corteza del tallo fue la parte de la planta más utilizada en los preparados medicinales. Las muestras de corteza se obtuvieron utilizando un machete con el que se hicieron cuatro cortes formando un cuadrado a aproximadamente a 1 m de altura sobre el suelo. En algunos casos, se necesitó un formón para separar la corteza del tallo. Las muestras vegetales fueron colocadas en bolsas de papel Kraft (15 x 27 cm) etiquetadas con el nombre común de la planta, la comunidad y la fecha de recolección. Las cortezas de los tallos fueron previamente secadas a la sombra durante una semana como se observa en la figura 1.



Figura 1. Secado bajo sombra de las cortezas de plantas usadas en la preparación de infusiones medicinales para el tratamiento del COVID-19.

Preparación de extractos vegetales

Los extractos acuosos fueron obtenidos por maceración, usando 25 g del material vegetal disueltos en cinco partes de agua (relación 1:5; m:v), siguiendo los métodos descritos en estudios previos [30], [31]. La maceración duró 15 días con agitación a diario por tiempos determinados. Una vez transcurrido los 15 días, el extracto fue filtrado y liofilizado. El producto final se almacenó a -16 °C para su posterior uso.

Ensayos químicos cualitativos

Para la determinación de la presencia de familias de compuestos específicos (flavonoides, polifenoles, alcaloides y terpenoides) en los extractos vegetales

liofilizados se realizaron pruebas químicas cualitativas adaptadas a cada tipo de compuesto químico, tal como se describe a continuación:

Flavonoides

La presencia de flavonoides fue determinada por dos métodos diferentes, el método del hidróxido de sodio y el ensayo de Shinoda.

Método de hidróxido de sodio: 5 mg del extracto fueron disueltos en 2 mL de hidróxido de sodio (NaOH) al 4 % (masa/volumen). Se utilizó agua como blanco control y quercetina como control positivo. Posteriormente, se añadieron cinco gotas de ácido clorhídrico concentrado (HCl) a cada una de las muestras y el cambio de coloración de amarillo a incolora indicó la presencia de flavonoides [32].

Ensayo Shinoda: se disolvieron 2,5 mg del extracto en 1 mL de HCl concentrado con una pequeña cantidad de magnesio metálico (Mg). Se utilizó agua como blanco control y quercetina como control positivo. La mezcla fue dejada en reposo durante 5 min, se añadió 1 mL alcohol isoamílico, se homogeneizó mediante vórtex y se dejó en reposo por una noche para la separación de fases. La presencia de flavonoides fue verificada cuando el alcohol isoamílico tomó coloraciones amarillentas, naranja o rojo intenso [33].

Polifenoles

La determinación de polifenoles se hizo mediante el método del cloruro férrico ($FeCl_3$), para lo cual, fueron disueltos 5 mg del extracto en 1 mL de agua destilada. Se utilizó agua como blanco control y quercetina como control positivo. Se agregaron unas gotas de solución de $FeCl_3$ al 1 % (m/v) y la aparición de una coloración intensa desde verde, púrpura, azul hasta negro demostró la presencia de polifenoles [34].

Alcaloides

Para la determinación de la presencia de alcaloides se usaron los métodos de Dragendorff y Wagner. Para ello, se disolvieron 12 mg del extracto con 2 mL de HCl al 10 % (v/v). Se utilizó agua como blanco control y atropina como control positivo. Los extractos ácidos fueron centrifugados a 2000 rpm durante 5 min. El sobrenadante fue recuperado y se ajustó a pH 6 con una solución de amoniaco diluido (NH_3). Finalmente, se agregaron gotas de los reactivos de Dragendorff o Wagner y la formación de un precipitado de coloración marrón rojiza en ambos casos indicó la presencia de alcaloides [32], [35].

Terpenoides

Ensayo Salkowski: 5 mg del extracto fue disuelto en 1 mL de metanol, la mezcla se homogeneizó mediante el uso de un vórtex, se dejó en reposo por alrededor de 1 hora y se recuperó el sobrenadante. Este fue mezclado con 1 mL de cloroformo y homogeneizado usando un vórtex, para luego añadir ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Se usó agua como blanco control y alcanfor (Walrus Brand) como control positivo. Una coloración marrón rojiza en la interfase mostró la presencia de terpenoides [36], [37].

Ensayos químicos cuantitativos

El análisis químico se refiere al conjunto de técnicas y procedimientos empleados para identificar y cuantificar la composición química de una sustancia. En este sentido, se realizó la cuantificación de las familias de compuestos específicos en los extractos vegetales liofilizados mediante análisis ensayos químicos cuantitativos que se describen a continuación.

Los análisis de compuestos bioactivos se realizaron en el Laboratorio de Química 1 de la Universidad Regional Amazónica Ikiam, siguiendo metodologías estandarizadas con base en literatura científica previa [38], [39], [40], [41]. Se evaluaron tres grupos de metabolitos secundarios: flavonoides, polifenoles y alcaloides totales. Para cada ensayo, los extractos acuosos liofilizados se prepararon por triplicado, y los resultados se expresaron en microgramos del equivalente del estándar correspondiente por miligramo de extracto acuoso liofilizado (EAL).

Cuantificación de flavonoides totales

La cuantificación de flavonoides totales se realizó mediante el método colorimétrico basado en cloruro de aluminio. Se empleó quercetina como patrón para construir la curva de calibración, con nueve concentraciones: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 13 y 16 µg/mL. Para cada muestra, se mezcló 1 mL del extracto con cloruro de aluminio ($AlCl_3$) al 2 % (p/v) y se incubó en oscuridad durante 10 min. La absorbancia se registró a 438 nm mediante un espectrofotómetro UV-Vis SHIMADZU UV-1280. En paralelo, se preparó un blanco sustituyendo el $AlCl_3$ por metanol. La absorbancia neta se calculó como la diferencia entre ambas lecturas. Los resultados se expresaron en microgramos de flavonoides totales equivalentes de quercetina (FTQ) por miligramo de EAL.

Cuantificación de polifenoles totales

La determinación de polifenoles totales se llevó a cabo mediante el método de Folin-Ciocalteu. Se utilizó ácido gálico como estándar y agua destilada como blanco. La curva de calibración incluyó seis niveles de concentración: 25, 50, 100, 200, 400 y 500

µg/mL. Para cada reacción, se mezclaron 100 µl de muestra con 860 µl de agua destilada y 40 µl de reactivo de Folin-Ciocalteu (Supelco®). Después de 5 minutos, se incorporaron 100 µl de agua destilada y 100 µl de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7 % (p/v). La mezcla permaneció a temperatura ambiente durante 60 minutos. Finalmente, la absorbancia se registró a 750 nm mediante un espectrofotómetro UV-Vis. Los resultados se expresaron en microgramos de polifenoles totales equivalentes de ácido gálico (PTAG) por miligramo de EAL.

Cuantificación de alcaloides totales

La cuantificación de alcaloides totales se basó en la formación de un complejo de coloración con verde de bromocresol y posterior extracción con cloroformo. Se utilizó atropina como estándar de referencia. En cada análisis, se mezcló 1 mL del extracto con 2,5 mL de tampón fosfato (K_2HPO_4 al 3,5 % p/v, pH 4,7 ajustado con ácido cítrico) y 2,5 mL de una solución de verde de bromocresol al 3,5 % (p/v). A esta mezcla se añadieron 5 mL de cloroformo, se homogenizó mediante agitación en vórtex durante 1 min y se centrifugó a 2000 rpm por 5 min. Una vez separada las fases, el sobrenadante acuoso fue descartado, mientras que la fase orgánica fue usada para medir la absorbancia (< 415 nm) usando un espectrofotómetro. Los resultados se expresaron como microgramos de alcaloides totales equivalentes de atropina (ATA) por miligramo de EAL.

Ensayos antimicrobianos

Dilución del extracto y controles positivos

La preparación de las muestras, así como los controles positivos (antibióticos y anti fúngico) fue hecha siguiendo la metodología de Manandhar et al. [42].

Preparación de cepas microbianas

El método de preparación de las cepas microbianas fue realizado en el Laboratorio de Biología Molecular y Bioquímica de la Universidad Regional Amazónica Ikiam, siguiendo la metodología descrita por Morán-Marcillo et al. [43]. Para ello, se utilizaron las siguientes cepas de microorganismos: *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Candida albicans* ATCC 10231, *Klebsiella pneumoniae* (resistente a ampicilina) y *Pseudomonas aeruginosa* (resistente a ampicilina).

Siembra y actividad antimicrobiana

Cada uno de los inóculos bacterianos fue diluido hasta alcanzar una concentración de 10^6 unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/mL). La siembra se realizó por extensión en placas Petri con medio Agar Mueller-Hinton, utilizando hisopos estériles. Posteriormente, las placas se dejaron secar durante 15 min en una campana

de bioseguridad. Cada placa fue dividida en secciones para la aplicación de los tratamientos: extractos vegetales, control positivo (antibiótico) y control con dimetilsulfóxido (DMSO).

Las placas fueron incubadas a 37 °C durante 18 horas. Al final del período de incubación, se evaluó la actividad antimicrobiana midiendo el diámetro de los halos de inhibición en milímetros (mm) mediante el programa ImageJ (https://imagej.nih.gov/ij/download.html). Los resultados fueron interpretados según el diámetro promedio del halo de inhibición producido por cada tratamiento [38], [44].

Identificación de metabolitos presentes en los extractos vegetales

La caracterización de los compuestos presentes en los extractos vegetales se realizó mediante un análisis de metabolómica no dirigida de datos MS^E, utilizando cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (UPLC-MS/MS). La preparación de las muestras incluyó una etapa de purificación mediante extracción en fase sólida (SPE), para lo cual se disolvieron 5 mg del extracto en agua acidificada y se aplicaron a columnas SPE con fase estacionaria de sílice gel, siguiendo el protocolo descrito por Pastuña [38].

Para la calibración y ajuste de parámetros del equipo, se utilizaron soluciones estándar de compuestos fenólicos representativos: ácido gálico, catequina y quercetina. El análisis cromatográfico se efectuó bajo condiciones específicas de fase móvil, flujo y modo de ionización previamente optimizadas para análisis en modo negativo [ESI(-)]. Los datos obtenidos mediante el sistema UPLC-MS/MS fueron procesados en el software MS-DIAL versión 4.90 (http://prime.psc.riken.jp/compms/index.html), diseñado para análisis de metabolómica no dirigida con datos MSE [38]. La identificación de los metabolitos se realizó utilizando la biblioteca integrada en MS-DIAL, que contiene múltiples bases de datos espectrales como MassBank, ReSpect y RIKEN, entre otras. Esta base de datos incluye espectros auténticos de compuestos analizados mediante cromatografía líquida en modo MS/MS negativo (actualización del 16 de julio de 2022).

Los metabolitos se identificaron conforme a los niveles de confianza propuestos por [38]:

- Para identificación de nivel 2, fueron considerados aquellos compuestos con una similitud espectral ≥70 % y un error de masa inferior a 10 partes por millón (ppm) [38], [45].

Para identificación de nivel 1, se requirió adicionalmente la coincidencia del tiempo de retención (TR) entre la muestra y el estándar de referencia analizado bajo las mismas condiciones cromatográficas.

Resultados y discusión

Etnofarmacología del cantón Arajuno

En este estudio se documentó un total de 6 especies plantas utilizadas en preparados medicinales para tratar el COVID-19 para el tratamiento de síntomas que van desde el dolor de cabeza, diarrea, problemas respiratorios, fiebre y dolor del cuerpo (Tabla 2). Las plantas anís de monte e intiangu fueron excluidas del análisis debido a que fueron determinadas hasta el nivel de especie. Así mismo, tanto la hierbaluisa (*Cymbopogon citratus*) como el ishpingo (*Ocotea quixos*) no fueron consideradas debido a que son usadas como ingredientes aromatizantes en los preparados medicinales.

Tabla 2. Índice de Importancia Cultural (IIC) de las plantas usadas en preparados medicinales para el tratamiento del COVID-19.

Especie (nombre común)	Familia botánica	IIC	Uso relacionado con síntomas de COVID-19*
Couroupita guianensis (Llustunda)	Lecythidaceae	1,00	Dolor de cabeza
Aspidosperma rigidum (Challua caspi) *Monteverdia laevis* (Chuchuguaza)	Apocynaceae Celastraceae	0,80	Diarrea
Myroxylon balsamum (Bálsamo) *Piper* sp. (matico)	Fabaceae Piperaceae	0,75	Problemas respiratorios$^{\Omega}$
Myroxylon balsamum (Bálsamo) *Piper* sp. (matico)	Fabaceae Piperaceae	0,67	Fiebre
Aspidosperma rigidum (Challua caspi) *Couroupita guianensis* (Llustunda) *Myroxylon balsamum* (Bálsamo) *Monteverdia laevis* (Chuchuguaza) *Protium sagotianum* (Animi)	Apocynaceae Lecythidaceae Fabaceae Celastraceae Burseraceae	0,60	Dolor del cuerpo

*De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS). $^{\Omega}$Categoría de uso que comprende, dolor de garganta, congestión nasal, tos y gripe.

Con relación al Índice de Importancia Cultural (IIC), las especies con mayores valores fueron la llustunda (*Couroupita guianensis*) (IIC= 1,0) usada en el tratamiento del dolor de cabeza, seguida de la planta challua caspi (*Aspidosperma rigidum*) y chuchuguaza (*Monteverdia laevis*) (ambas con un IIC = 0,8), las cuales son usadas para el tratamiento de la diarrea. Asimismo, el bálsamo (*M. balsamum*) y matico (*Piper* sp.) obtuvieron un IIC de 0,75 por su uso contra problemas respiratorios, mientras que, por su uso contra la fiebre, el IIC fue de 0,67. Finalmente, las plantas challua caspi (*A.*

rigidum), llustunda (*C. guianensis*), bálsamo (*M. balsamum*), chuchuguaza (*M. laevis*) y animi (*P. sagotianum*) obtuvieron un IIC de 0,60 por su uso para el tratamiento del dolor corporal, respectivamente.

Ensayos químicos cualitativos

Con base en los resultados de la tabla 2, las especies: *Aspidosperma rigidum* (challua caspi), *C. guianensis* (llustunda), *M. laevis* (chuchuguaza) y *P. sagotianum* (animi) fueron consideradas para la caracterización química y ensayos antimicrobianos. De acuerdo con los análisis cualitativos, fueron detectados tanto polifenoles como flavonoides en todos los extractos de corteza de tallo de las plantas estudiadas. Además, *A. rigidum* y *M. laevis* demostraron la presencia de terpenoides, mientras que los alcaloides solo fueron detectados en el extracto de la planta *A. rigidum* (Tabla 3).

Tabla 3. Contenido de flavonoides, polifenoles, alcaloides y terpenoides en el extracto acuoso liofilizado de corteza de tallo de las plantas del cantón Arajuno usadas en preparados medicinales para el tratamiento de COVID-19.

	Especie de planta			
	A. rigidum	***P. sagotianum***	***M. laevis***	***C. guianensis***
Flavonoides				
NaOH/HCl	-	+	+	++
Shinoda	+	+	++	+++
Polifenoles				
Cloruro férrico	+	+	++	+++
Alcaloides				
Dragendorff	-	-	-	-
Wagner	++	-	-	-
Terpenoides				
Salkowski	+++	-	+++	-

+++: Abundante, ++: Moderado, +: Escaso y -: Ausente.

Ensayos químicos cuantitativos

El mayor contenido de flavonoides fue detectado en corteza de *C. guianensis* (5,5 µg de flavonoides totales con base en quercetina/mg de extracto acuoso liofilizado), el cual es 3,7 veces mayor que en *M. laevis*; 6,7 y 7,0 veces mayor en *P. sagotianum* y *A. rigidum*, respectivamente. Con relación al contenido de polifenoles, nuevamente *C. guianensis* mostró el mayor valor (213,0 µg de polifenoles totales con base en ácido gálico/mg de extracto acuoso liofilizado), siendo 1.6 veces mayor que en *M. laevis*, 3,6 veces mayor que en *P. sagotianum* y 5,5 veces mayor que en *A. rigidum.*

Contrariamente, solo la corteza de *A. rigidum* contenía alcaloides con un promedio de 18,54 µg de alcaloides totales con base en atropina/mg de extracto acuoso liofilizado (Tabla 4).

Tabla 4. Contenido de flavonoides, polifenoles y alcaloides totales presentes en extracto acuoso liofilizado de corteza de tallo de las plantas del cantón Arajuno usadas en preparados medicinales para el tratamiento de COVID-19.

Familia de metabolito secundario	Especie de planta			
	A. rigidum	***C. guianensis***	***M. laevis***	***P. sagotianum***
Flavonoides [1]	0,79 ± 0,01	5,5 ± 0,10	1,5 ± 0,10	0,82 ± 0,04
Polifenoles [2]	38,40 ± 0,60	213,0 ± 7,00	135,0 ± 4,00	56,0 ± 2,00
Alcaloides [3]	18,54 ± 0,07	-	-	-

[1] Contenido de flavonoides expresados en µg de flavonoides totales con base en quercetina (FTQ) por mg de extracto acuoso liofilizado (EAL). [2] Contenido de polifenoles expresado en µg de polifenoles totales con base en ácido gálico (PTAG) por mg de extracto acuoso liofilizado (EAL). [3] Contenido de alcaloides expresado en µg de alcaloides totales con base en atropina (ATA) por mg de extracto acuoso liofilizado (EAL). Valores obtenidos a partir de tres repeticiones.

Ensayo antimicrobiano

La actividad antimicrobiana de los extractos acuosos liofilizados de corteza de tallo de *A. rigidum, C. guianensis, M. laevis* y *P. sagotianum* fue evaluada frente a cinco microorganismos patógenos clínicamente relevantes: *Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Candida albicans, Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa*. Los resultados se expresaron como el diámetro promedio del halo de inhibición (± DE), medido en milímetros (mm) (Tabla 5).

Tabla 5. Actividad antimicrobiana de extracto acuoso liofilizado de corteza de tallo de las plantas del cantón Arajuno usadas en preparados medicinales para el tratamiento de COVID-19.

	mm de inhibición [1]				
	E. coli	***S. aureus***	***C. albicans***	***K. pneumoniae*** [2]	***P. aeruginosa*** [2]
A. rigidum	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
C. guianensis	4,1 ± 0,6	9,0 ± 0,5	8,2 ± 0,8	8,8 ± 0,7	4,9 ± 0,3
M. laevis	4,9 ± 0,5	6,1 ± 0,7	4,4 ± 0,9	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
P. sagotianum	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	1,4 ± 0,5	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
Ampicilina	21,0 ± 1,0	15,0 ± 2,0	-	-	-
Fluconazol	-	-	17,0 ± 3,0	-	-
Gentamicina	-	-	-	15,0 ± 1,0	19,0 ± 3,0
DMSO	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0

[1] Diámetro en milímetro (mm) del halo de inhibición expresado como el promedio de tres repeticiones y desviación estándar. (-) muestra o antibiótico no testeado. [2] Microorganismos resistentes a ampicilina. El extracto acuoso liofilizado de corteza de tallo de la planta *C. guianensis* fue disuelta en

dimetilsulfóxido (DMSO) a concentración de 40 mg/mL y las otras plantas (*A. rigidum*, *P. sagotianum* y *M. laevis*) a 80 mg/mL. Los fármacos Ampicilina, Fluconazol y Gentamicina fueron disueltos en agua ultrapura a 1 mg/mL de concentración. Se usó DMSO al 100 % como blanco control.

El extracto de *C. guianensis* presentó la mayor amplitud antimicrobiana, con halos de inhibición frente a las cinco cepas evaluadas: *S. aureus* (9,0 ± 0,5 mm), *C. albicans* (8,2 ± 0,8 mm), *K. pneumoniae* (8,8 ± 0,7 mm), *P. aeruginosa* (4,9 ± 0,3 mm) y *E. coli* (4,1 ± 0,6 mm). Este comportamiento indica un espectro de acción relativamente amplio, con mayor efecto sobre bacterias Gram positivas y levaduras. Aunque los halos fueron menores que los obtenidos con los antibióticos de referencia, la respuesta resulta relevante, considerando que se emplearon extractos crudos, sin fraccionamiento ni concentración.

El extracto de *M. laevis* también presentó efectos inhibitorios, aunque de forma más selectiva, puesto que se observó inhibición frente a *E. coli* (4,9 ± 0,5 mm), *S. aureus* (6,1 ± 0,7 mm) y *C. albicans* (4,4 ± 0,9 mm), mientras que no se evidenció actividad frente a *K. pneumoniae* ni *P. aeruginosa*, lo que sugiere un potencial antimicrobiano específico frente a cepas oportunistas o de menor resistencia intrínseca, como las Gram positivas.

En el caso de *P. sagotianum*, se registró una inhibición discreta únicamente frente a *C. albicans* (1,4 ± 0,5 mm), sin efecto detectable sobre las otras bacterias evaluadas, posiblemente debido a una menor concentración de los compuestos fenólicos específicos en la matriz acuosa evaluada.

Por su parte, *A. rigidum* no mostró actividad antimicrobiana frente a ninguno de los microorganismos evaluados, con halos de inhibición iguales a cero en todos los casos. Este hallazgo es particularmente relevante, ya que a pesar de presentar el contenido más alto de alcaloides totales (18,54 ± 0,07 µg ATA/mg EAL), dichos compuestos no evidenciaron efecto inhibitorio en el sistema de ensayo utilizado, lo que sugiere ausencia de actividad en extracto acuoso o baja solubilidad y biodisponibilidad en las condiciones experimentales empleadas.

Los controles positivos utilizados (ampicilina, fluconazol y gentamicina) mostraron halos de inhibición mayores en las cepas correspondientes, confirmando la sensibilidad del método. Asimismo, el control negativo (DMSO) no produjo inhibición

alguna, lo que valida que la actividad observada se debió exclusivamente a los compuestos presentes en los extractos vegetales.

Moléculas identificadas en los extractos de plantas

En total, se identificaron 13 compuestos en los extractos acuosos liofilizados de corteza de tallo de las especies vegetales del cantón Arajuno, tradicionalmente utilizadas en preparados medicinales para el tratamiento de síntomas asociados a infecciones respiratorias y COVID-19 (Tabla 6).

Tabla 6. Metabolitos identificados en extractos acuosos liofilizados de corteza de tallo de las plantas del cantón Arajuno usadas en preparados medicinales para el tratamiento de COVID-19.

Id	Metabolito	TR	Puntaje	$[M-H]^-$	ppm
1	Ácido D-pirroglutámico/5-oxo-D-prolina	1.227	731	128.0347	-5
2	Ácido adípico	5.319	800	145.0498	-6
3	Umbeliferona	11.804	817	161.0236	-5
4	Ácido gálico	1.973	854	169.0135	-4
5	N-Metil-L-fenilalanina / N-Metilfenilalanina	11.879	745	178.0874	0
6	Plumbagina	10.027	843	187.0394	-4
7	Butilparabeno	13.269	897	193.0864	-3
8	Ácido elágico	7.248	825	300.9992	1
9	Triptofenólido	28.270	716	311.1634	-6
10	Ácido 16,17-dihidroxi-kauranoico	17.825	770	335.2217	-3
11	NCGC00347834-02	22.712	796	349.2014	-2
12	Ácido piogénico A b / 3-epicorosólico	28.477	722	471.3475	-1
13	Ácido asiático	29.196	732	487.3422	-1

Id, identificador del metabolito; TR, tiempo de retención; Puntaje, similaridad espectral de MS-DIAL calculada mediante producto punto; $[M-H]^-$, masa experimental o medida; ppm, error de medición del espectrómetro de masas en parte por millón (ppm).

Entre los metabolitos identificados figuran el ácido fenólico gálico (ID 4), el ácido adípico (ID 2), la cumarina umbeliferona (ID 3), los terpenoides pentacíclicos ácido asiático (ID 13) y ácido epicorosólico (ID 12), y la naftoquinona plumbagina (ID 6). También se detectaron compuestos triterpénicos y policíclicos, como triptophenolide (ID 9) y ácido 16,17-dihidroxi-kauranoico (ID 10), además del metabolito nitrogenado N-metil-L-fenilalanina (ID 5) y el derivado aromático butilparabeno (ID 7).

Los compuestos de mayor abundancia relativa fueron el ácido elágico (ID 8) y triptophenolide (ID 9), con predominancia en los extractos de *Carapa guianensis*. Estos metabolitos son reconocidos por sus propiedades antioxidantes, antivirales y antimicrobianas, lo que podría explicar en parte la actividad biológica observada para esta especie en los ensayos previos. Por otro lado, los metabolitos con menor

intensidad espectral y, por tanto, presumiblemente en menor concentración relativa, fueron: D-piroglutámico (ID 1), umbeliferona (ID 3), plumbagina (ID 6) y el compuesto identificado como NCGC00347834-02 (ID 11), un derivado triterpénico registrado en bibliotecas de compuestos bioactivos.

La diversidad estructural de los metabolitos identificados sugiere la presencia de múltiples rutas biosintéticas activas en estas especies amazónicas [46], [47], [48]. La detección de compuestos con estructuras polifenólicas, triterpénicas y fenólicas complejas respalda su uso ancestral en aplicaciones medicinales [49], [50]. Además, la identificación de compuestos como el ácido asiático (ID 13), conocido por sus propiedades inmunomoduladoras y otras funciones en la salud humana (Figura 2) [50], y el ácido elágico (ID 8), con efectos antivirales reportados, refuerza el interés científico en la caracterización bioactiva de estas especies nativas [51].

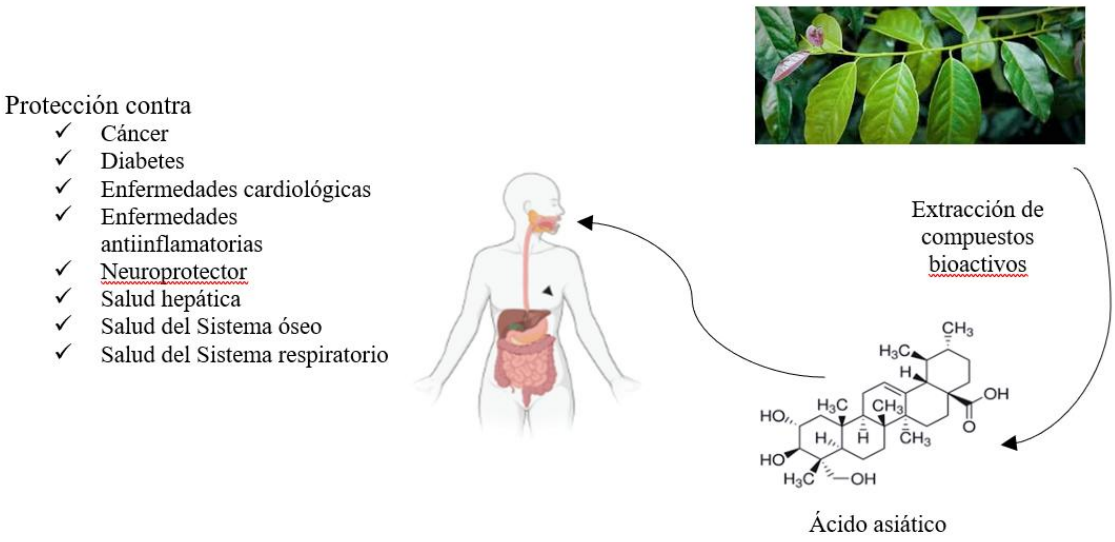

Figura 2. Planta como fuente de compuestos bioactivos, estructura química del ácido asiático y los beneficios para la salud.

Se identificaron varias moléculas de terpenoides, algunos ácidos fenólicos, cumarinas, taninos y entre otras (Figura 3). Entre los metabolitos identificados de mayor abundancia se tienen a ácido elágico (8) y Triptofenólido (9), los cuales predominaron en la especie *C. guianensis*. Los metabolitos identificados de menor abundancia fueron el ácido D-pirroglutámico/5-oxo-D-prolina, umbeliferona, plumbagina y el ácido 16,17-dihidroxi-kauranoico.

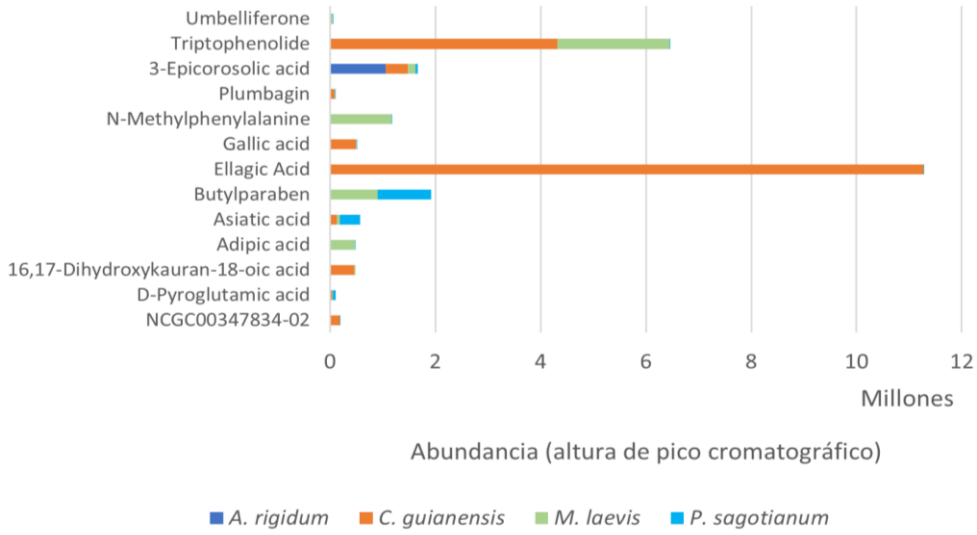

Figura 3. Abundancia relativa (con base en altura de pico cromatográfico) de los metabolitos presentes en extracto acuoso liofilizado de corteza de tallo de plantas usadas en preparados medicinales para el tratamiento de COVID-19.

El análisis de las plantas challua caspi (*A. rigidum*), llustunda (*C. guianensis*), chuchuguaza (*M. laevis*), bálsamo (*M. balsamum*), matico (*Piper* sp.) y animi (*P. sagotianum*), las cuales son usadas para el tratamiento de los síntomas asociados con el COVID-19 (dolor de cabeza, diarrea, problemas respiratorios, fiebre y dolor del cuerpo) en las comunidades del cantón Arajuno reveló la presencia de grupos de metabolitos conocidos en la literatura por su capacidad para combatir el SARS-CoV-2. Un primer acercamiento al análisis de metabolitos indicó la presencia de polifenoles, alcaloides, flavonoides y terpenoides en estas plantas. Posteriormente, el análisis por métodos espectrofotométricos reveló los mayores contenidos de flavonoides, polifenoles y alcaloides en *A. rigidum, C. guianensis, M. laevis* y *P. sagotianum*, en las cuales fueron identificados un total de 13 metabolitos presentes en todas las plantas, aunque en concentraciones diferentes.

Las plantas medicinales son un componente fundamental de la biodiversidad y la medicina tradicional de la Amazonía [15], [52]. En el caso de plantas del género *Aspidosperma*, se han aislado alrededor de 250 tipos de alcaloides indólicos monoterpénicos, los cuales muestran una considerable diversidad estructural entre las diferentes especies de este grupo de plantas, los cuales confieren importantes actividades farmacológicas en el tratamiento de enfermedades malaria, fiebre,

diabetes y reumatismo [53]. Además, estudios previos han demostrado que la corteza de *A. ramiflorum* presenta actividad antibacteriana contra *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus*, y que las partes aéreas presentan actividad antiviral [54]. Estos resultados se contraponen a lo observado en este estudio, donde una especie relacionada, *A. rigidum*, no mostró ningún tipo de actividad microbiana.

Con relación a la llustunda (*Couroupita guianensis*), su uso incluye aplicaciones como inmunoestimulante, antifúngico, antibacteriano, tratamiento para infecciones cutáneas, hipertensión, tumores, malaria y más recientemente en el tratamiento de COVID-19. Diversos estudios han demostrado que los extractos de diferentes partes de *C. guianensis* presentan una considerable actividad antioxidante, debido a sus propiedades en la neutralización de radicales libres como DPPH, peróxido de hidrógeno, óxido nítrico y radical hidroxilo [55]. De acuerdo con Kumar et al. [56], el amplio uso de la llustunda (*C. guianensis*) se debe al contenido de aceites volátiles, cetoesteroides, glucósidos, couroupitona, indirubcina, isatina y sustancias fenólicas en varias partes del árbol, los cuales le confieren una serie de propiedades medicinales.

Por otra parte, se observó que, además de ser empleadas para tratar el COVID-19, estas plantas son usadas para el tratamiento de otro tipo de enfermedades y dolencias. En este sentido, los residentes de las diferentes comunidades en el cantón Arajuno tradicionalmente utilizan la planta de challua caspi (*Aspidosperma rigidum*) para el tratamiento de problemas como la diarrea, diabetes, gastritis, malaria y dolores corporales, los cuales se corresponden con los usos reportados en la literatura para especies del género *Aspidosperma* [53], [57]. De manera similar, la literatura respalda los usos medicinales de *C. guianensis* en el tratamiento de la inflamación, cicatrización, hipertensión, dolores de cabeza, corporales y de huesos [58]. Asimismo, la literatura señala que entre los usos más comunes de la chuchuguaza (*M. laevis*) se incluyen las aplicaciones medicinales para el tratamiento de la diarrea, cólicos, dolor abdominal y corporal e incluso para la purificación de la sangre [59]. Por otro lado, respecto a la especie *P. sagotianum*, solo se ha mencionado como una planta utilizada en la medicina tradicional sin detallar usos específicos [60].

Por lo tanto, este informe constituye la primera ocasión en que se documenta el uso de esta planta en el tratamiento del dolor corporal y abdominal. Posiblemente su uso medicinal sea debido a la diversidad de compuestos orgánicos volátiles (COV) que les atribuyen a los aceites esenciales propiedades biológicas como antioxidante, antibacteriano, antiparasitario, antifúngico, antihelmíntico, antiséptico y antiespasmódico [61]. Estos compuestos orgánicos volátiles pueden prevenir o minimizar los problemas de salud causados por radicales libres y enfermedades infecciosas, por lo que podrían constituir una alternativa a los antimicrobianos sintéticos [61].

Los usos tradicionales atribuidos a las especies estudiadas están relacionados con la presencia de una amplia diversidad de compuestos bioactivos. *Aspidosperma rigidum* se destacó por la presencia de metabolitos, tales como polifenoles, alcaloides, flavonoides y terpenoides, los cuales la ubican como una de las alternativas más promisorias para ser usadas en la medicina tradicional en la Amazonía [38], [62], [63], [64]. De manera similar, las investigaciones previas destacaron la importancia etnobotánica en terapias para el tratamiento de diferentes tipos de dolencias de *C. guianensis* [65], [66], [67], [68], [69], [70] y *M. laevis* [71], [72], [73]. Por otro lado, la falta de información disponible convirtió este estudio en el primer informe cualitativo y cuantitativo de la composición química de la especie *P. sagotianum*.

Numerosos estudios han demostrado que diversas especies de plantas muestran una actividad antiviral significativa, algunas incluso con efectos específicos contra coronavirus entéricos. Desde mediados del siglo XX, se han realizado programas de cribado global que revelaron la eficacia de extractos de especies frente a virus respiratorios y algunas de ellas mostraron inhibición completa de virus como el RSV, rotavirus e influenza A e incluso se ha evidenciado que ciertos extractos actúan principalmente sobre virus de ARN, como el coronavirus [25], [74]. Estos hallazgos respaldan el potencial de la fitoterapia como fuente de antivirales naturales frente a infecciones virales emergentes. En este contexto, es posible sugerir la idea de que las tres plantas examinadas en este estudio podrían contener compuesto bioactivos con potencial antiviral, entre las que desataca *C. guianensis* como la más prometedora al exhibir la mayor concentración de flavonoides totales. Además, ciertos compuestos

polifenólicos han demostrado que pueden provocar alteraciones de la estructura viral del SARS-CoV-2 o interactuar con enzimas esenciales del virus disminuyendo su replicación [74].

Por otra parte, otro grupo de metabolitos conocido como terpenoides, también han mostrado la capacidad de interferir con el SARS-CoV-2 al bloquear su entrada en las células humanas [74]. Con base en estos resultados sobre el contenido de terpenoides encontrado en *A. rigidum* y *M. laevis* se podría inferir que estas plantas podrían tener un mecanismo de acción similar contra el SARS-CoV-2. Por último, de acuerdo con la literatura, los alcaloides tienen una acción antiviral debido a que son capaces de detener la replicación viral [75], por lo que su presencia en *A. rigidum* indicaría que esta planta podría ser una fuente de posibles alcaloides antivirales.

Los análisis fitoquímicos cualitativos y cuantitativos obtenidos en el presente estudio sugieren de manera preliminar que las plantas tradicionalmente utilizadas para el tratamiento el COVID-19 en el cantón Arajuno podrían ser fuentes de moléculas antivirales con mecanismos de acción similares a los informados en estudios previos. Sin embargo, se requiere realizar estudios más detallados sobre su uso individual y combinado, puesto que, en las comunidades locales, es frecuente que las preparaciones medicinales sean tomadas en combinaciones de varias especies plantas, incluyendo al menos una de las plantas examinadas en este estudio (*A. rigidum, C. guianensis*, *M. laevis* y *P. sagotianum*). Esta combinación de varias especies de plantas resulta en una mezcla de moléculas bioactivas que, ya sea en sinergia o de manera independiente, estarían influenciando diferentes puntos clave de la replicación viral [38].

Los ensayos fitoquímicos, tanto cualitativos como cuantitativos, proporcionaron una visión general de los metabolitos presentes en las plantas estudiadas. Así, entre los principales metabolitos identificados mediante Cromatografía Líquida Acoplada a Espectrometría de Masas en Tándem, el ácido gálico (4) se identificó con alta certeza (nivel 1 de identificación) en las plantas empleadas para tratar el COVID-19. De acuerdo con [38], el ácido gálico tiene la capacidad de inhibir la replicación de coronavirus humanos, como el NL63, sugiriendo un posible mecanismo antiviral similar contra el COVID-19, el cual pertenece a la misma familia de virus. Esto

explicaría porqué la planta *C. guianensis* es comúnmente usada en las preparaciones medicinales debido a la alta concentración de este metabolito. Adicionalmente, otro de los metabolitos identificados en el presente estudio, la plumbagina (6), ha mostrado actividad antiviral frente a virus como la influenza A (H1N1), el sarampión y el virus de la hepatitis C (HCV) [77], [78], lo cual permite sugerir que esta molécula podría ser otro posible compuesto activo contra el SARS-CoV-2 presente en *C. guianensis*.

Por último, la actividad antimicrobiana observada por efecto de los extractos de *C. guianensis, M. laevis* y *P. sagotianum* podría estar relacionada con la interacción entre ciertos compuestos presentes en las plantas y las estructuras proteicas específicas, como enzimas, presentes en bacterias, hongos y virus [79], [80]. En el caso del SARS-CoV-2, por ejemplo, se ha identificado la proteína Spike como un blanco clave, dado que esta proteína al unirse a los receptores celulares puede inducir procesos inflamatorios y a la fisiopatología del síndrome de COVID-19 persistente o de las secuelas postagudas de la COVID-19 (PASC) [80]. En términos generales, *Carapa guianensis* mostró una mayor actividad antimicrobiana frente a la mayoría de los patógenos evaluados puede atribuirse a su alto contenido de metabolitos bioactivos, mientras que, *Monteverdia laevis* presentó una eficacia superior contra *Escherichia coli*, lo cual coincide con estudios realizados por Pastuña [81]. Por lo contrario, la actividad antimicótica observada por efecto del extracto de *Protium sagotianum* constituye el primer reporte preliminar, por lo que se sugiere realizar estudios más detallados con esta especie.

Conclusiones

El análisis fitoquímico de las especies medicinales usadas tradicionalmente para el tratamiento del COVID-19 en las diferentes comunidades en el cantón Arajuno reveló la presencia de metabolitos secundarios con potencial antiviral, sin embargo, se observó variabilidad en la concentración de polifenoles, alcaloides, flavonoides y terpenoides entre *Aspidosperma rigidum*, *Carapa guianensis*, *Montanoa laevis* y *Protium sagotianum*, así como en la actividad antimicrobiana de los extractos de *C. guianensis*, *M. laevis* y *P. sagotianum*.

La correspondencia entre los usos tradicionales y los metabolitos identificados sugiere que los compuestos bioactivos presentes en *A. rigidum*, *C. guianensis* y *M. laevis* podrían estar directamente relacionados con sus propiedades terapéuticas. Asimismo, la ausencia de antecedentes científicos convierte a este estudio en el primer aporte a la caracterización química preliminar de *P. sagotianum*.

La composición de metabolitos, en especial flavonoides, polifenoles y terpenoides, respalda el potencial de las especies evaluadas como fuentes de moléculas con actividad antiviral. *C. guianensis* destacó por sus altas concentraciones, lo que sugiere que la combinación de estas plantas podría generar un efecto sinérgico útil en distintas fases del ciclo viral.

La detección de metabolitos como ácido gálico y plumbagina en *C. guianensis* permite sugerir su posible papel como compuestos activos contra el SARS-CoV-2, agente causal del COVID-19, puesto que, las investigaciones previas han demostrado la actividad antiviral de ambas moléculas, lo cual respalda el potencial terapéutico de esta especie frente a infecciones virales.

Contribución y autoría

N.G.S.M. y Z.M.N-R.: se encargaron de la conceptualización y revisión y edición del manuscrito final. **J.V.P.F.; G.S.P.** y **N.E.M-S.** de la curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, redacción del borrador original.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a las personas, comunidades e instituciones que contribuyeron al desarrollo del proyecto *Chakra Arajuno*, cuyos reconocimientos se detallan en el apartado general de agradecimientos de esta obra.

Financiamiento

La investigación presentada en este capítulo se desarrolló en el marco del proyecto *Chakra Arajuno*, financiado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y el Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana del Ecuador, a través del Fondo Alemán-Ecuatoriano, convocatoria 2020. El proyecto

fue registrado en la Universidad Regional Amazónica Ikiam con el código BTR-007-2020.

La publicación en acceso abierto de este capítulo, como parte de la presente obra, fue financiada por la Fundación Pachamama con recursos provenientes de la Iniciativa Internacional de Noruega sobre Clima y Bosques (NICFI), administrados por la Agencia Noruega de Cooperación para el Desarrollo (Norad).

Declaración ética

Este estudio no involucró experimentación directa ni intervención clínica con seres humanos ni con animales por parte del autor, por lo que no se requirió la aprobación específica de un comité de ética institucional para su ejecución.

Uso de inteligencia artificial

La concepción del estudio, el diseño experimental, el análisis e interpretación de los resultados, así como la redacción y revisión crítica del manuscrito, fueron realizados de manera autónoma por el autor, quien asume la responsabilidad plena por el contenido final del capítulo de libro.

Disponibilidad de datos

Los datos utilizados en esta investigación están disponibles a través del autor de correspondencia, previa solicitud razonable.

Conflicto de interés

El autor declara no tener ningún conflicto de interés de carácter financiero, académico o personal en relación con la realización, interpretación o publicación del presente trabajo de investigación.

Referencias

[1] I. R. Swingland, «Biodiversity, Definition of», *Encyclopedia of Biodiversity*. Academic Press, pp. 377-391, 2001. doi: 10.1016/b0-12-226865-2/00027-4.

[2] E. C. Nobles, «The ethical foundations of biodiversity metrics», *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 72, p. 101503, 2025, doi: 10.1016/j.cosust.2024.101503.

[3] G. Brehm, K. Fiedler, C. L. Häuser, y H. Dalitz, «Methodological challenges of a megadiverse ecosystem», en *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador. Ecological Studies*, Berlin: Springer-Verlag, 2008, pp. 41-47. doi: 10.1007/978-3-540-73526-7_5.

[4] A. Rashmi, «Biodiversity and megadiversity: know the differences». Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.embibe.com/exams/biodiversity-and-megadiversity-for-8-class/#Definition-of-Megadiversity

[5] E. Kaya, «Importance of plant biodiversity and long-term conservation of plant genetic resources via biotechnological strategies», *J. Biosci. Med. (Irvine).*, vol. 12, n.º 584-591, 2024, doi: 10.4236/jbm.2024.1211044.

[6] P. Dannenberg *et al.*, «Eight arguments why biodiversity is important to safeguard food security», *Plants People Planet*, vol. 6, pp. 604-610, 2024, doi: 10.1002/ppp3.10492.

[7] M. E. Dulloo, D. Hunter, y D. Leaman, «Plant diversity in addressing food, nutrition and medicinal needs», en *Novel Plant Bioresources: Applications in Food, Medicine and Cosmetics*, A. Gurib-Fakim, Ed., John Wiley & Sons, Ltd, 2014, 1, pp. 3-21.

[8] G. Loza, *Ecología y Biodiversidad*. Quito, Ecuador: Editorial ITI, 2024.

[9] P. Noriega, A. Guerrini, G. Sacchetti, A. Grandini, E. Ankuash, y S. Manfredini, «Chemical composition and biological activity of five essential oils from the Ecuadorian Amazon rain forest», *Molecules*, vol. 24, n.º 8, pp. 1-12, 2019, doi: 10.3390/molecules24081637.

[10] P. Lozano Carpio, «Plant biodiversity of Ecuador: a Neotropical megadiverse country», en *Global Biodiversity: Selected Countries in the Americas and Australia*, T. Pullaiah, Ed., Oakville, Canadá: Apple Academic Press, 2018, pp. 185-211. doi: 10.1201/9780429433634-8.

[11] L. G. Chávez Fonseca, J. A. Ortiz Miranda, E. P. Gavilanes González, y A. I. Tello Velastegui, «Creación de la enciclopedia digital de recursos turísticos de la región amazónica del Ecuador», *Health Leadership and Quality of Life*, vol. 3, p. 474, 2024, doi: 10.56294/hl2024.474.

[12] A. V. Gavilanes Montoya, D. D. Castillo Vizuete, C. B. Ricaurte Yepez, y M. V. Marcu, «Known and newly documented uses of rainforest plant species in the pastaza region, ecuador», *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, vol. 12, n.º 1, pp. 35-42, 2019, doi: 10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.3.

[13] S. Innerhofer y K. G. Bernhardt, «Ethnobotanic garden design in the Ecuadorian Amazon», *Biodivers. Conserv.*, vol. 20, n.º 2, pp. 429-439, 2011, doi: 10.1007/s10531-010-9984-9.

[14] P. Shanley, M. da Serra Silva, T. Melo, R. Carmenta, y R. Nasi, «From conflict of use to multiple use: Forest management innovations by small holders in Amazonian logging frontiers», *For. Ecol. Manage.*, vol. 268, pp. 70-80, 2012, doi: 10.1016/j.foreco.2011.05.041.

[15] J. G. Páscoa Jr. y C. L. L. de Souza, «Medicinal plants used in the Amazon region: a systematic review», *Research, Society and Development*, vol. 10, n.º 14, p. e163101419965, 2021, doi: 10.33448/rsd-v10i14.19965.

[16] M. S. Refaey, E. F. Abosalem, R. Yasser El-Basyouni, S. E. Elsheriri, S. H. Elbehary, y M. A. A. Fayed, «Exploring the therapeutic potential of medicinal plants and their active principles in dental care: a comprehensive review», *Heliyon*, vol. 10, p. e37641, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e37641.

[17] D. M. Robles Arias, D. Cevallos, O. G. Gaoue, M. G. Fadiman, y T. Hindle, «Non-random medicinal plants selection in the Kichwa community of the Ecuadorian Amazon», *J. Ethnopharmacol.*, vol. 246, p. 112220, 2020, doi: 10.1016/j.jep.2019.112220.

[18] L. Neri Espinosa, A. Bermúdez-del Sol, y D. V. Cuyachamín Freire, «Ethnobotany of medicinal plants in the canton of Arajuno, province of Pastaza, Ecuador», *Salud, Ciencia y Tecnologia - Serie de Conferencias*, vol. 2, p. 663, 2023, doi: 10.56294/sctconf2023663.

[19] E. W. Davis y J. A. Yost, «The ethnomedicine of the waorani of Amazonian Ecuador», *J. Ethnopharmacol.*, vol. 9, n.º 2-3, pp. 273-297, 1983, doi: 10.1016/0378-8741(83)90036-3.

[20] L. A. G. Cassaro *et al.*, «Review COVID-19 (SARS-COV-2) and medicinal plants – literature review», *Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR*, vol. 26, n.º 3, pp. 1376-1397, 2022, doi: 10.25110/arqsaude.v26i3.20229028.

[21] R. Caiza, «Caracterización de plantas medicinales usadas para calmar los síntomas del covid- 19, Isla Anaconda, Napo-Ecuador», Universidad Central del Ecuador, 2023.

[22] J. D. Ramírez *et al.*, «Sars-cov-2 in the amazon region: A harbinger of doom for amerindians», *PLoS Negl. Trop. Dis.*, vol. 14, n.º 10, pp. 1-10, 2020, doi: 10.1371/journal.pntd.0008686.

[23] EFE Verde, «El remedio de Arajuno, el saber ancestral indígena frente a la COVID-19». Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://efeverde.com/arajuno-ecuador-saber-ancestral/

[24] Ministerio de Salud Pública, «Comportamiento Covid-19 (PCR) Ecuador», Gobierno de La República Del Ecuador. [En línea]. Disponible en: https://www.coronavirusecuador.com/data/

[25] Z. Fu, L. Menéndez-Arias, X. Liu, y P. Zhan, «Advances in natural products-based antiviral agents», en *Chemistry of Biologically Potent Natural Products and Synthetic Compounds*, Shahid-ul-Islam y J. A. Banday, Eds., Scrivener Publishing LLC, 2021, pp. 21-42. doi: 10.1002/9781119640929.ch2.

[26] M. Marrelli, «Medicinal plants», *Plants*, vol. 10, p. 1355, 2021.

[27] M. Heinrich, S. Edwards, D. E. Moerman, y M. Leonti, «Ethnopharmacological field studies: A critical assessment of their conceptual basis and methods», *J. Ethnopharmacol.*, vol. 124, n.º 1, pp. 1-17, 2009, doi: 10.1016/j.jep.2009.03.043.

[28] J. Tardío y M. Pardo-de-Santayana, «Cultural importance indices: A comparative analysis based on the useful wild plants of southern Cantabria (northern Spain)», *Econ. Bot.*, vol. 62, n.º 1, pp. 24-39, 2008, doi: 10.1007/s12231-007-9004-5.

[29] Organización Mundial de la Salud, «Coronavirus - Síntomas», Temas de Salud. [En línea]. Disponible en: https://www.who.int/es/health-topics/coronavirus#tab=tab_3

[30] T. P. Aragão *et al.*, «Contribution of secondary metabolites to the gastroprotective effect of aqueous extract of Ximenia americana L. (Olacaceae) stem bark in rats», *Molecules*, vol. 23, p. 112, 2018, doi: 10.3390/molecules23010112.

[31] F. C. Stintzing, D. Kammerer, A. Schieber, H. Adama, O. G. Nacoulma, y R. Carle, «Betacyanins and Phenolic Compounds from Amaranthus spinosus L. and Boerhavia erecta L.», *Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences*, vol. 59, n.º 1-2, pp. 1-8, 2004, doi: 10.1515/znc-2004-1-201.

[32] A. Adedapo, T. Adewuyi, y M. Sofidiya, «Phytochemistry, anti-inflammatory and analgesic activities of the aqueous leaf extract of lagenaria breviflora (Cucurbitaceae) in laboratory animals», *Rev. Biol. Trop.*, vol. 61, n.º 1, pp. 281-290, 2013, doi: 10.15517/rbt.v61i1.11127.

[33] M. Gupta, S. Thakur, A. Sharma, y S. Gupta, «Qualitative and quantitative analysis of phytochemicals and pharmacological value of some dye yielding medicinal plants», *Oriental Journal of Chemistry*, vol. 29, n.º 2, pp. 475-481, 2013, doi: 10.13005/ojc/290211.

[34] J. B. Harborne, *Phytochemical Methods: A guide to modern techniques of plant analysis*, Segunda ed. Nueva York, EE. UU.: Chapman and Hall, 1984. doi: 10.1007/978-94-009-9150-7_11.

[35] E. K. Sabdoningrum, S. Hidanah, S. Chusniati, y Soeharsono, «Characterization and Phytochemical Screening of Meniran (Phyllanthus niruri Linn) Extract's Nanoparticles Used Ball Mill Method», *Pharmacognosy Journal*, vol. 13, n.º 6, pp. 1568-1572, 2021, doi: 10.5530/pj.2021.13.200.

[36] J. S. Eswari y M. Yadav, «New perspective of drug discovery from herbal medicinal plants: Andrographis paniculata and Bacopa monnieri (terpenoids) and novel target identification against Staphylococcus aureus», *South African Journal of Botany*, vol. 124, pp. 188-198, 2019, doi: 10.1016/j.sajb.2019.05.013.

[37] B. K. Das, M. M. Al-Amin, S. M. Russel, S. Kabir, R. Bhattacherjee, y J. M. A. Hannan, «Phytochemical screening and evaluation of analgesic activity of Oroxylum indicum», *Indian J. Pharm. Sci.*, vol. 76, n.º 6, pp. 571-575, 2014.

[38] J. Pastuña, «Caracterización química y actividad antimicrobiana de plantas usadas para combatir el COVID-19 en comunidades Kichwa de la Amazonía ecuatoriana», Tesis de Grado, Universidad Regional Amazónica, 2022.

[39] N. L. Lartey *et al.*, «Antidiabetic activity of aqueous stem bark extract of Annickia polycarpa in alloxan-induced diabetic mice», *J. Tradit. Complement. Med.*, vol. 11, pp. 109-116, 2021, doi: 10.1016/j.jtcme.2020.02.001.

[40] D. H. Truong, D. H. Nguyen, N. T. A. Ta, A. V. Bui, T. H. Do, y H. C. Nguyen, «Evaluation of the use of different solvents for phytochemical constituents, antioxidants, and in vitro anti-inflammatory activities of severinia buxifolia», *J. Food Qual.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/8178294.

[41] W. Wang, J. Li, H. Zhang, X. Wang, J. Fan, y X. Zhang, «Phenolic compounds and bioactivity evaluation of aqueous and methanol extracts of Allium mongolicum Regel», *Food Sci. Nutr.*, vol. 7, pp. 779-787, 2019, doi: 10.1002/fsn3.926.

[42] S. Manandhar, S. Luitel, y R. K. Dahal, «In vitro antimicrobial activity of some medicinal plants against human pathogenic bacteria», *J. Trop. Med.*, p. 1895340, 2019, doi: 10.1155/2019/1895340.

[43] G. Morán-Marcillo *et al.*, «Picturins and Pictuseptins, two novel antimicrobial peptide families from the skin secretions of the Chachi treefrog, Boana picturata», *J. Proteomics*, vol. 264, p. 104633, 2022.

[44] Z. Nikousefat, M. Hashemnia, y A. Karamyan, «Potential of the ImageJ software in the differentiation of various types of canine lymphadenopathies with fine needle aspiration cytology (FNAC)», *Comp. Clin. Path.*, vol. 27, pp. 643-648, 2018, doi: 10.1007/s00580-018-2641-5.

[45] S. Bajkacz, I. Baranowska, B. Buszewski, B. Kowalski, y M. Ligor, «Determination of flavonoids and phenolic acids in plant materials using SLE-

SPE-UHPLC-MS/MS method», *Food Anal. Methods*, vol. 11, pp. 3563-3575, 2018, doi: 10.1007/s12161-018-1332-9.

[46] Y. Wang *et al.*, «The biosynthetic pathway of coumarin and its genetic regulation in response to biotic and abiotic stresses», *Front. Plant Sci.*, vol. 16, p. 1599591, 2025, doi: 10.3389/fpls.2025.1599591.

[47] Sandrien Desmet, K. Morreel, y R. Dauwe, «Origin and function of structural diversity in the plant specialized metabolome», *Plants*, vol. 10, p. 2393, 2021.

[48] B. M. Abegaz y H. H. Kinfe, «Secondary metabolites, their structural diversity, bioactivity, and ecological functions: An overview», *Physical Sciences Reviews*, vol. 4, n.º 6, p. 20180100, 2019, doi: 10.1515/psr-2018-0100.

[49] P. Noriega, E. Moreno, A. Falcón, V. Quishpe, y P. del C. Noriega, «Guayusa (Ilex guayusa Loes.) Ancestral Plant of Ecuador: History, Traditional Uses, Chemistry, Biological Activity, and Potential Industrial Uses», *Molecules*, vol. 30, p. 2837, 2025, doi: 10.3390/molecules30132837.

[50] E. Plazas, L. Sierra-Marquez, y J. Olivero-Verbel, «Bioactive molecules from tropical american plants: Potential anti-inflammatory agents for cytokine storm management», *Molecules*, vol. 30, p. 1486, 2025, doi: 10.3390/molecules30071486.

[51] Y.-H. Wang *et al.*, «The improvement effect of ellagic acid and urolithins on metabolic diseases: Pharmacology and mechanism», *Food & Medicine Homology*, vol. 2, p. 9420058, 2025, doi: 10.26599/fmh.2025.9420058.

[52] J. C. Castro *et al.*, «Medicinal plants of the peruvian amazon: bioactive phytochemicals, mechanisms of action, and biosynthetic pathways», en *Pharmacognosy - Medicinal Plants*, S. Perveen y A. Al-Taweel, Eds., Rijeka, Croacia: In Tech, 2019, pp. 1-22. doi: 10.5772/intechopen.82461.

[53] V. L. de Almeida *et al.*, «Aspidosperma species: A review of their chemistry and biological activities», *J. Ethnopharmacol.*, vol. 231, pp. 125-140, 2019, doi: 10.1016/j.jep.2018.10.039.

[54] M. Reina, W. Ruiz-Mesia, L. Ruiz-Mesia, R. Martínez-Díaz, y A. González-Coloma, «Indole alkaloids from Aspidosperma rigidum and A. schultesii and their antiparasitic effects», *Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences*, vol. 66, n.º 5-6, pp. 225-234, 2011, doi: 10.1515/znc-2011-5-605.

[55] C. Maheswari *et al.*, «Medical applications of Couroupita guianensis Abul plant and Covid-19 best Safety measure by using Mathematical Nano topological spaces», *J. King Saud Univ. Sci.*, vol. 34, n.º 6, p. 102163, 2022, doi: 10.1016/j.jksus.2022.102163.

[56] C. S. Kumar, G. Naresh, V. Sudheer, N. Veldi, y A. Elumalai, «A short review on therapeutic uses of Couroupita guianensis Aubl.», *Int. J. Pharm. Sci. Res.*, vol. 1, n.º 1, pp. 105-108, 2011.

[57] R. C. De Paula, M. F. Dolabela, y A. B. De Oliveira, «Aspidosperma species as sources of antimalarials. Part III. A review of traditional use and antimalarial activity», *Planta Med.*, vol. 80, pp. 378-386, 2014, doi: 10.1055/s-0034-1368168.

[58] L. A. Sheba y V. Anuradha, «An updated review on Couroupita guianensis Aubl: A sacred plant of India with myriad medicinal properties», *Journal of HerbMed Pharmacology*, vol. 9, n.º 1, pp. 1-11, 2020, doi: 10.15171/JHP.2020.01.

[59] D. Salazar, «Desarrollo de un medicamento analgésico tópico de Maytenus laevis Reissek (Chuchuguaso)», Universidad Central del Ecuador, 2013.

[60] R. O. dos Santos *et al.*, «Influence of the soil on the spatial structure of forest species–preliminary results in a terra firme secondary forest plot, Amapá, Brazil», *South. For.*, vol. 82, n.º 2, pp. 179-195, 2020, doi: 10.2989/20702620.2020.1759294.

[61] W. C. de Sousa *et al.*, «Composition, antioxidant capacity and antimicrobial activity of volatile organic compounds of Protium ovatum Eng. from different regions in Brazilian savannah», *Quim. Nova*, vol. 48, n.º 2, pp. 1-7, 2025, doi: 10.21577/0100-4042.20250020.

[62] N. M. Alves *et al.*, «Pharmacognostic assessment and pre-clinical toxicity of ethanolic extract from Aspidosperma subincanum Mart. stem bark (Guatambu)», *Research, Society and Development*, vol. 10, n.º 9, p. e17510917547, 2021, doi: 10.33448/rsd-v10i9.17547.

[63] D. A. Sampietro, M. del H. S. Matías, M. A. Vattuone, y C. A. N. Catalán, «Aspidosperma quebracho-blanco Schltdl.», en *Medicinal and Aromatic Plants of the World*, vol. 2, Á. Máthé y A. Bandoni, Eds., Cham, Suiza: Springer Nature Switzerland AG, 2021, pp. 429-438. doi: 10.1007/978-3-030-62818-5_33.

[64] J. Salazar-Díaz, J. Guerrero-Marina, y Y. Rodríguez-Espejo, «Actividad antioxidante de Aspidosperma excelsum Benth, Dracontium loretense Krause y Pothemorphe peltata (L) Miq.», *Revista Agrotecnológica Amazónica*, vol. 1, n.º 2, pp. 27-39, 2021, doi: 10.51252/raa.v1i2.190.

[65] H. Phyo, K. Kyu, y A. Khaing, «Isolation and structure elucidation of terpene compound from the stem bark of Couroupita guianensis Aubl.(Amyauk-San-Bin)», *IEEE-SEM*, vol. 8, n.º 7, pp. 221-232, 2019.

[66] S. Manimegalai y G. Rakkimuthu, «Phytochemical screening of stem of Couroupita guianensis», *International Journal of Pharmaceutical Sciences Research*, vol. 3, n.º 11, pp. 4434-4437, 2012.

[67] M. R. Khan, M. Kihara, y A. D. Omoloso, «Antibiotic activity of Couroupita guianensis», *J. Herbs Spices Med. Plants*, vol. 10, n.º 3, pp. 95-108, 2003, doi: 10.1300/J044v10n03_10.

[68] R. A. S. Sumathi, «Couroupita guianensis Aubl: An updated review of its phytochemistry and pharmacology», *Asian J. Pharm. Pharmacol.*, vol. 3, n.º 1, pp. 1-8, 2017.

[69] A. Martínez, E. Conde, A. Moure, H. Domnguez, y R. J. Estévez, «Protective effect against oxygen reactive species and skin fibroblast stimulation of Couroupita guianensis leaf extracts», *Nat. Prod. Res.*, vol. 26, n.º 4, pp. 314-322, 2012, doi: 10.1080/14786411003752094.

[70] M. Shivashankar, S. Rajeshwari, G. S. Nagananda, S. Rajath, y N. Chandan, «Comparative antioxidant and antimicrobial studies of cold and hot bark hydromethanolic extract of Couroupita guianensis Aubl», *Research in Pharmacy*, vol. 3, n.º 6, pp. 6-13, 2013.

[71] S. C. Siccha, «Caracterización físico química del extracto fluido de Maytenus laevis (chuchuhuasi) y su toxicidad sobre Artemia salina», Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote, 2018.

[72] J. I. Guzmán Pérez, L. S. Castro Alcántara, y R. D. Camones Maldonado, «Caracterización físico-química de la pomada de Maytenus laevis "Chuchuhuasi" elaborada en la Farmacia Natural del Hospital III EsSalud Chimbote», *Revista Peruana de Medicina Integrativa*, vol. 5, n.º 4, pp. 135-144, 2020, doi: 10.26722/rpmi.2020.54.186.

[73] J. C. Uribe-Villarreal, E. D. Zavala-Urtecho, C. Silva-Santisteban-Miranda, y M. L. Ganoza-Yupanqui, «Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de Maytenus laevis Reissek chuchuhuasi dispensado en el centro de atención de medicina complementaria, ESSALUD, Trujillo», en *VI Congreso Latinoamericano De Plantas Medicinales 2018*, Trujillo, Perú, 2018, p. 19.

[74] S. Pal *et al.*, «Brief survey on phytochemicals to prevent COVID-19», *Journal of the Indian Chemical Society*, vol. 99, p. 100244, 2022, doi: 10.1016/j.jics.2021.100244.

[75] G. Mukusheva, M. Nurmaganbetova, Z. Zhumagaliyeva, M. Aliyeva, y N. Toigambekova, «Development and computational analysis of new alkaloid derivatives as potential inhibitors of the SARS-CoV-2», *Journal of Chromatography B*, vol. 1264, p. 124718, 2025.

[76] H. R. Badwaik, L. Kumari, K. Nakhate, V. S. Verma, y K. Sakure, «Phytoconstituent plumbagin: Chemical, biotechnological and pharmaceutical aspects», en *Studies in Natural Products Chemistry*, 1.ª ed., vol. 63, A. Rahman, Ed., Cambridge, UK: Elsevier Inc., 2019, pp. 415-460. doi: 10.1016/B978-0-12-817901-7.00013-7.

[77] S. T. S. Hassan, K. Berchová, M. Majerová, M. Pokorná, y E. Švajdlenka, «In vitro synergistic effect of Hibiscus sabdariffa aqueous extract in combination with standard antibiotics against Helicobacter pylori clinical isolates», *Pharm. Biol.*, vol. 54, n.º 9, pp. 1736-1740, 2016, doi: 10.3109/13880209.2015.1126618.

[78] B. Azzarone, N. Landolina, F. R. Mariotti, L. Moretta, y E. Maggi, «Soluble SARS-CoV-2 Spike glycoprotein: considering some potential pathogenic effects», *Front. Immunol.*, vol. 16, p. 1616106, 2025, doi: 10.3389/fimmu.2025.1616106.

[79] B. P. de Melo *et al.*, «SARS-CoV-2 Spike Protein and Long COVID—Part 1: Impact of Spike Protein in Pathophysiological Mechanisms of Long COVID Syndrome», *Viruses*, vol. 17, p. 619, 2025, doi: 10.3390/v17050617.

[80] J. Pastuña, «Caracterización química y actividad antimicrobiana de plantas usadas para combatir el COVID-19 en comunidades Kichwa de la Amazonía ecuatoriana», Universidad Regional Amazónica, 2022.

Descargo de responsabilidad

Los libros y capítulos de libros publicados en la Editorial Unión Científica representan únicamente las opiniones de los autores. La Editorial Unión Científica, su equipo editorial y sus revisores no se hacen responsables del contenido, las interpretaciones o las consecuencias derivadas de la aplicación de los métodos o conclusiones incluidos en los trabajos. Todas las publicaciones se rigen por las políticas éticas de la editorial.