EDITORIAL
UNIÓN CIENTÍFICA

GLEBE
e-ISSN:3103-1234

CHAKRA 4.0 Y BIOECONOMÍA

Las bases del desarrollo sostenible en la Amazonía ecuatoriana
Caso de estudio: cantón Arajuno, Pastaza, Ecuador

Wilfredo Ramiro Franco y Zulay Niño Ruiz
Editores académicos del volumen



VOL 2(3) 2026
SEPTIEMBRE - DICIEMBRE 2026

NICFI Norway's International Climate and Forest Initiative
Norad
FUNDACIÓN PACHAMAMA
Ikiam Universidad Regional Amazónica



EDITORIAL

UNIÓN CIENTÍFICA

Editorial Unión Científica, EUC

Primera publicación Editorial Unión Científica, EUC

Copyright del texto © 2026 de los autores

https://libros.editorialunioncientifica.com/

info@editorialuc.com

WhatsApp +593 98 334 4363

Licencia no comercial



EDITOR JEFE: Carlos Luis Vásquez Freytez. Editorial Unión Científica, EUC.

ORCID EDITOR JEFE: https://orcid.org/0000-0002-8214-3632

CORRECCIÓN ESTILO: Gabriela Otilia Jácome Benavides. Fundación Río Verde Ecuador Emprende. Ecuador.

PÁGINAS: 179.

CIUDAD: Ambato

INSTITUCIÓN: Editorial Unión Científica, EUC.

DIRECCIÓN: José Ignacio Canelo Morales. Intersección Sixto María Durán. Ambato, Tungurahua. Ecuador.

PROCESO DE REVISIÓN: La obra completa, integrada por cuatro capítulos, fue sometida a evaluación externa mediante un proceso de revisión por pares doble ciego. El manuscrito completo fue evaluado por dos revisores externos e independientes, quienes emitieron sus respectivos dictámenes y observaciones sobre la obra y sus capítulos.

Dictamen del revisor 1: 3 de julio de 2026.

Dictamen del revisor 2: 9 de julio de 2026.

Aceptación editorial del volumen: 25 de julio de 2026.

Fecha de publicación: 18 de noviembre de 2026.

ISBN: 978-9907-9552-7-9.

COLECCIÓN: Glebe, V2(3) septiembre – diciembre 2026.

ISSN-L: 3103-1234.

DOI de la obra completa: https://doi.org/10.63804/gb.v2i3

PRIMERA VERSIÓN DISPONIBLE EN LÍNEA: noviembre de 2026.



Clasificación Dewey Decimal (DDC):

338.9 Desarrollo y crecimiento económico.

Clasificación THEMA:

R Ciencias de la Tierra, geografía, medioambiente, planificación.

RN El medioambiente.

RNC Ecología aplicada.

RNCB Biodiversidad.

Licencia: CC-BY-NC-SA 4.0

https://doi.org/10.63804/gb.v2i3

Chakra 4.0 y bioeconomía: las bases del desarrollo sostenible en la Amazonía ecuatoriana - caso de estudio: cantón Arajuno, Pastaza, Ecuador

Chakra 4.0 and the bioeconomy: foundations of sustainable development in the Ecuadorian amazon - case study: Arajuno canton, Pastaza, Ecuador

AUTORES Y AFILIACIÓN POR CAPÍTULOS

Capítulo 1: De la *chakra* ancestral a la *chakra 4.0*: innovación intercultural para la sostenibilidad de la Amazonía ecuatoriana.
https://doi.org/10.63804/gb.v2i3.e1

Wilfredo Franco *Grupo de Ecosistemas Terrestres y Cambio Global, Universidad Regional Amazónica Ikiam Km 7, vía Tena - Muyuna Km 7, Napo, Ecuador.*	https://orcid.org/0000-0001-5447-4234 ROR: https://ror.org/05xedqd83

Capítulo 2: Estado del conocimiento hongos silvestres comestibles de la región amazónica.
https://doi.org/10.63804/gb.v2i3.e2

Katia Vicente-Pérez *Miembro, Asociación Latinoamericana de Micología (ALM), Edificio 208, Ciudad del Saber, Clayton, Panamá, República de Panamá.*	https://orcid.org/0009-0003-2520-7163
María Cristina Peñuela *Grupo de Ecosistemas Terrestres y Cambio Global, Universidad Regional Amazónica Ikiam Km 7, vía Tena - Muyuna Km 7, Napo, Ecuador.*	https://orcid.org/0000-0002-9611-1359 ROR: https://ror.org/05xedqd83

Capítulo 3: Metabolitos y actividad antimicrobiana en plantas medicinales del cantón Arajuno, Pastaza, Ecuador.
https://doi.org/10.63804/gb.v2i3.e3

Jefferson V. Pastuña F. Department of Nutritional Sciences, College of Natural Sciences, The University of Texas at Austin, Austin, TX 78712, USA.	https://orcid.org/0009-0004-7286-2029 ROR: https://ror.org/00hj54h04
Noroska Gabriela Salazar Mogollón *Biomolecules Discovery Group, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Av. Muyuna Km 7, Tena, Ecuador.* *Laboratorio de Productos Naturales Ikiam, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Av. Muyuna Km 7, Tena, Ecuador.*	https://orcid.org/0000-0002-0756-6184 ROR: https://ror.org/05xedqd83
Gabriela Sosa Pozo *Biomolecules Discovery Group, Universidad Regional Amazónica Ikiam Km 7, vía Tena - Muyuna Km 7, Napo, Ecuador.*	https://orcid.org/0009-0007-0946-7095 ROR: https://ror.org/05xedqd83
Nina Espinosa de los Monteros-Silva *Laboratorio de Biología Molecular y Bioquímica Ikiam, Universidad Regional Amazónica Ikiam Km 7, vía Tena - Muyuna Km 7, Napo, Ecuador.*	https://orcid.org/0000-0002-7503-1165 ROR: https://ror.org/05xedqd83
Zulay M. Niño-Ruiz *Biomass to Resources Group, Universidad Regional Amazónica Ikiam Km 7, vía Tena - Muyuna Km 7, Napo, Ecuador.*	https://orcid.org/0000-0002-2512-7548 ROR: https://ror.org/05xedqd83

Capítulo 4: Integración de tradición y tecnología en la elaboración de un jarabe tradicional en Arajuno, Pastaza, Ecuador.
https://doi.org/10.63804/gb.v2i3.e4

Jair Barrionuevo https://orcid.org/0009-0005-7079-9481
Máster en Biotecnología y Bioingeniería Vegetal, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. ROR: https://ror.org/03n6nwv02

Zulay M. Niño-Ruiz https://orcid.org/0000-0002-2512-7548
Biomass to Resources Group, *Universidad Regional Amazónica Ikiam Km 7, vía Tena - Muyuna Km 7, Napo, Ecuador* ROR: https://ror.org/05xedqd83

Carlos Navas https://orcid.org/0000-0002-3053-966X
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga-Cotopaxi, Ecuador. ROR: https://ror.org/05j136930

Jefferson V. Pastuña F. https://orcid.org/0009-0004-7286-2029
Department of Nutritional Sciences, College of Natural Sciences, The University of Texas at Austin, Austin, TX 78712, USA. ROR: https://ror.org/00hj54h04

Noroska Gabriela Salazar Mogollón https://orcid.org/0000-0002-0756-6184
Biomolecules Discovery Group, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Av. Muyuna Km 7, Tena, Ecuador. ROR: https://ror.org/05xedqd83
Laboratorio de Productos Naturales Ikiam, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Av. Muyuna Km 7, Tena, Ecuador.

SOBRE LOS EDITORES ACADÉMICOS DEL VOLUMEN

Wilfredo Franco

Ingeniero forestal (Universidad de Los Andes-ULA, Mérida-Venezuela) y doctor en Ciencias Forestales *Magna cum laude* (Universidad de Göttingen, Alemania). Postdoctorado Universidad de Cambridge (Reino Unido). Profesor titular de la Universidad de Los Andes (1980-1999). Entre 1999 y 2006, estuvo en cargos de dirección en organismo de investigación y desarrollo. De 2007 a 2012 fue Profesor adjunto en la Universidad de North Texas (USA) y de 2014 a 2016 becario Prometeo y docente ocasional en la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC) en Ecuador. Desde 2017 es profesor titular en la Universidad Regional Amazónica Ikiam, donde se ha desempeñado como autoridad y presidió la comisión de creación de la carrera Ingeniería en Agroecología. Ha publicado más de 50 artículos y capítulos de libro en temas de Ciencia del Suelo, Ecología y Manejo de Bosques, también sobre Restauración Ambiental, la *Chakra* y Sistemas Agroforestales. Actualmente se enfoca en el estudio de la biodiversidad productiva y el mejoramiento de los suelos amazónicos, como fundamento de una bioeconomía sostenible en la región amazónica ecuatoriana. Desde su llegada a la Amazonía ecuatoriana en 2017 ha trabajado con comunidades Kichwa y Waorani y asociaciones de productores de Napo sobre los sistemas agroproductivos, incluyendo la *Chakra* ancestral y tipos de agricultura convencional, asimismo, sobre rubros específicos: la guayusa (*Ilex guayusa*), el seike (*Cedrelinga cateniformis*), el cacao (*Teobroma cacao*), el patas muyo (*Teobroma bicolor*), la vainilla (Vanilla spp.) y el cardamomo (*Elettaria cardamomum*); y en Palora (Morona Santiago) sobre la pitahaya (*Hylocereus megalanthus*). Contacto: wilfredo.franco@ikiam.edu.ec.



Zulay Niño-Ruiz

Ingeniero Químico y Magister en Administración de Empresas por la Universidad de Carabobo; magister y doctorado en Ingeniería Química por la University of Sherbrooke, Canadá. Docente de la Universidad de Carabobo (1980-2009), becario Prometeo (2014), docente de la Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador (2015-2018); desde noviembre de 2018 es docente titular en Ikiam, cátedras de Balance de Masa y Energía y Química General. Más de 20 proyectos de investigación, más de 100 comunicaciones a congresos y más de 50 artículos científicos publicados. Directora de Investigación de la Universidad de Carabobo (2006-2014). Experiencia en modelización y simulación de procesos ambientales, transformación de biomasa en bioenergía, productos naturales y metabolómica. Miembro del grupo de investigación Biomass to Resources de Ikiam; exdirectora del laboratorio de Biomasa, exdecana de la Facultad de Ciencias de la Vida y Vicerrectora Académica de Ikiam desde 1 octubre de 2026. Contacto: zulay.nino@ikiam.edu.ec.



COMITÉ CIENTÍFICO

Cristian Vacacela Gómez, PhD. INFN-Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati, Italia.

Óscar Alí Corona Salazar, PhD. Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, PUCMM. Campus Santiago. República Dominicana.

Miguel Israel Bennasar García, PhD. Instituto Superior de Formación Docente Salomé Ureña, ISFODASU. República Dominicana.

Helen Goitia Semeco, PhD. Universidad Nacional de La Plata, UNLP. Argentina.

Diana Carolina Coello Fiallos, PhD. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH. Ecuador.

Daniel Arias Toro, PhD. Universidad Técnica de Babahoyo, UTB. Ecuador.

Ruth Mariela Álvarez Escalona, PhD. Universidad Experimental del Táchira, UNET. Venezuela.

Paúl Miño Armijos, Universidad Católica de Cuenca, UCACUE. Ecuador.

María Raquel González Legendre, MSc. CEO Ciencia por la verdad. Ecuador.

PRESENTACIÓN DE LA OBRA

Chakra 4.0 y bioeconomía: las bases del desarrollo sostenible en la Amazonía ecuatoriana - caso de estudio: cantón Arajuno, Pastaza, Ecuador

¿Cómo pueden los saberes ancestrales, la ciencia y la tecnología converger para construir un futuro sostenible en la Amazonía ecuatoriana? ¿Es posible impulsar una bioeconomía innovadora sin comprometer la identidad cultural, la integridad de los ecosistemas y la soberanía de las comunidades?

En esta obra se examinan estas interrogantes mediante un enfoque interdisciplinario y territorial teniendo al cantón Arajuno de la provincia de Pastaza como escenario de un caso de estudio. A través de cuatro capítulos, el libro articula historia ambiental, socioecología, agroforestería, etnobiología, micología, fitoquímica, microbiología e ingeniería de procesos. Su eje integrador es la *chakra* amazónica, entendida no solo como sistema productivo, sino como patrimonio biocultural que vincula biodiversidad, alimentación, medicina tradicional, organización comunitaria y manejo territorial. Desde el análisis de las transformaciones provocadas por la colonización, la actividad extractiva, la ganadería y los monocultivos, hasta la propuesta de una "*Chakra* 4.0", la obra plantea una bioeconomía basada en tecnologías apropiadas, trazabilidad, agregación de valor, gobernanza participativa y distribución equitativa de beneficios. Asimismo, documenta la diversidad y el potencial nutricional de los hongos silvestres comestibles, estudia metabolitos y actividad antimicrobiana en plantas medicinales amazónicas y presenta la estandarización técnica de un jarabe tradicional, sin atribuirle una eficacia clínica que no ha sido demostrada.

Este libro está dirigido a investigadores, estudiantes, gestores públicos, organizaciones comunitarias y profesionales vinculados con la conservación, la producción y la innovación y ofrece una ruta para repensar el desarrollo desde el territorio y con sus comunidades. Más que contraponer tradición y modernidad, propone un diálogo ético entre conocimientos locales y herramientas científicas, en el que conservar, producir e innovar se convierten en objetivos complementarios. La obra demuestra que el futuro de la Amazonía dependerá de la capacidad de reconocer a los pueblos amazónicos como productores de conocimiento y protagonistas de modelos económicos compatibles con la biodiversidad, la justicia territorial y la continuidad de su memoria colectiva.

Chakra 4.0 y bioeconomía: las bases del desarrollo sostenible en la Amazonía ecuatoriana - caso de estudio: cantón Arajuno, Pastaza, Ecuador

RESUMEN DEL VOLUMEN

La presente obra analiza la articulación entre saberes ancestrales, conocimiento científico e innovación tecnológica como bases complementarias para el desarrollo sostenible de la Amazonía ecuatoriana. Se integran las perspectivas históricas, socioecológicas, etnobiológicas, fitoquímicas y de ingeniería de procesos dentro de un caso de estudio en el cantón Arajuno, provincia de Pastaza, cuyo eje central es la *chakra* amazónica, concebida como un sistema biocultural que reúne producción agroforestal, biodiversidad, alimentación, medicina, organización comunitaria, memoria colectiva y manejo territorial. El libro examina la importancia de la Amazonía para la regulación climática, el ciclo hidrológico, el almacenamiento de carbono y la conservación de la diversidad biológica y cultural. También analiza las transformaciones derivadas de la colonización, la explotación petrolera y minera, la ganadería y los monocultivos. Frente a estas presiones, propone fortalecer una bioeconomía territorial basada en las *chakras* y en su evolución hacia una "*Chakra* 4.0", que incorpore tecnologías apropiadas, trazabilidad, organización comunitaria y agregación de valor sin perder su identidad. Además. la obra documenta 65 especies de hongos silvestres comestibles utilizadas por 18 grupos étnicos en cinco países amazónicos, destacando su valor nutricional, su potencial productivo y su contribución a la seguridad alimentaria y la economía circular. Asimismo, estudia plantas medicinales empleadas por comunidades kichwas de Arajuno, identifica compuestos bioactivos y evalúa su actividad antimicrobiana, aclarando que estos resultados no demuestran eficacia clínica frente al SARS-CoV-2. Finalmente, se presenta la estandarización de producción de un jarabe medicinal tradicional. En conjunto, el libro demuestra que la sostenibilidad amazónica exige reconocer a las comunidades como productoras de conocimiento y articular tradición, ciencia y tecnología con ética, equidad, conservación y soberanía territorial.

Palabras clave: Amazonía ecuatoriana; bioeconomía; *chakra* amazónica; hongos silvestres comestibles; innovación comunitaria; saberes ancestrales.

VOLUME ABSTRACT

This volume examines the integration of ancestral knowledge, scientific expertise, and technological innovation as complementary foundations for the sustainable development of the Ecuadorian Amazon. Historical, socioecological, ethnobiological, phytochemical, and process-engineering perspectives are brought together through a case study conducted in Arajuno Canton, Pastaza Province. The central focus is the Amazonian *chakra*, conceived as a biocultural system that integrates agroforestry production, biodiversity, food systems, traditional medicine, community organization, collective memory, and territorial management. The book examines the importance of the Amazon for climate regulation, the hydrological cycle, carbon storage, and the conservation of biological and cultural diversity. It also analyzes the transformations resulting from colonization, oil and mineral extraction, livestock production, and monoculture expansion. In response to these pressures, the volume proposes strengthening a place-based bioeconomy founded on *chakras* and their evolution toward a "*Chakra* 4.0" model that incorporates appropriate technologies, traceability, community organization, and value addition while preserving its cultural identity. The book also documents 65 species of wild edible fungi used by 18 ethnic groups across five Amazonian countries, highlighting their nutritional value, production potential, and contributions to food security and the circular economy. In addition, it examines medicinal plants used by Kichwa communities in Arajuno, identifies bioactive compounds, and evaluates their antimicrobial activity, while clarifying that these findings do not demonstrate clinical efficacy against SARS-CoV-2. Finally, the volume presents the standardization of the production process for a traditional medicinal syrup. Overall, the book demonstrates that Amazonian sustainability requires recognizing communities as producers of knowledge and integrating tradition, science, and technology within a framework of ethics, equity, conservation, and territorial sovereignty.

Keywords: Ecuadorian Amazon; bioeconomy; Amazonian *chakra*; wild edible fungi; community-based innovation; ancestral knowledge.

ÍNDICE GENERAL

		Identificador
Prólogo		
	Chakra 4.0 y bioeconomía: las bases del desarrollo sostenible en la Amazonía ecuatoriana - caso de estudio: cantón Arajuno, Pastaza, Ecuador	xix
Introducción		
	La Amazonía ecuatoriana: territorio vivo, desafío compartido	xxix
Capítulo I		
	De la *chakra* ancestral a la *chakra 4.0*: innovación intercultural para la sostenibilidad de la Amazonía ecuatoriana	e1
Capítulo II		
	Estado del conocimiento hongos silvestres comestibles de la región amazónica	e2
Capítulo III		
	Metabolitos y actividad antimicrobiana en plantas medicinales del cantón Arajuno, Pastaza, Ecuador	e3
Capítulo IV		
	Integración de tradición y tecnología en la elaboración de un jarabe tradicional en Arajuno, Pastaza, Ecuador	e4

Licencia: CC-BY-NC-SA 4.0

https://doi.org/10.63804/gb.v2i3

Prólogo

Chakra 4.0 y bioeconomía: las bases del desarrollo sostenible en la Amazonía ecuatoriana - caso de estudio: cantón Arajuno, Pastaza, Ecuador

La Amazonía no es únicamente una extensión de bosque tropical delimitada por ríos, fronteras administrativas o indicadores de biodiversidad. Es un territorio vivo donde ocurre una trama de relaciones en la que el agua, los suelos, las plantas, los animales y las comunidades forman parte de una misma historia. En ella, el conocimiento no se conserva exclusivamente en libros, laboratorios o repositorios académicos. También reside en la memoria oral, en las manos de quienes cultivan, en la observación paciente de los ciclos naturales, en los nombres locales de las especies, en las prácticas curativas y en las decisiones cotidianas mediante las cuales las familias sostienen la vida. Este libro parte de ese reconocimiento y propone una lectura de la Amazonía ecuatoriana en la que naturaleza, cultura y conocimiento aparecen como dimensiones inseparables.

Durante mucho tiempo, los saberes ancestrales fueron descritos desde perspectivas externas que los redujeron a costumbres, creencias o prácticas empíricas carentes de sistematicidad. Una mirada más rigurosa permite comprender que esos saberes constituyen sistemas complejos de clasificación, experimentación, transmisión y adaptación. La *chakra* amazónica es una expresión particularmente clara de esta inteligencia territorial. En ella se combinan cultivos alimentarios, árboles frutales y forestales, plantas medicinales, especies silvestres y, en determinados contextos, animales menores. Sin embargo, su valor no se limita a la producción. La *chakra* organiza vínculos familiares, distribuye responsabilidades, conserva germoplasma, protege el suelo, mantiene diversidad y transmite una forma de relacionarse con la naturaleza basada en reciprocidad, complementariedad y cuidado.

La pertinencia de esta obra se comprende mejor frente a las transformaciones que atraviesa la región. La expansión de la frontera agrícola, la explotación petrolera y minera, la apertura de vías, los monocultivos, la ganadería extensiva y el uso intensivo de agroquímicos han modificado paisajes, contaminado fuentes de agua y debilitado la capacidad de los ecosistemas para conservar biodiversidad y carbono. Estos

procesos no solo producen pérdidas ecológicas. También afectan lenguas, formas de organización, prácticas alimentarias, conocimientos medicinales y mecanismos comunitarios de transmisión cultural. Por ello, el debate sobre la sostenibilidad amazónica no puede reducirse a técnicas de producción o a instrumentos de conservación; debe incorporar justicia territorial, derechos colectivos, participación efectiva y reconocimiento de las comunidades como sujetos de conocimiento.

Uno de los principales méritos del libro es evitar dos extremos igualmente problemáticos. Por una parte, no presenta la ciencia y la tecnología como fuerzas destinadas a reemplazar los conocimientos locales. Por otra, tampoco idealiza toda práctica tradicional ni la exime de evaluación crítica. La propuesta es más exigente: construir espacios de diálogo en los que las preguntas, los métodos y los resultados puedan enriquecerse mutuamente. En esta perspectiva, la validación científica no actúa como una autorización externa que concede valor a un saber previamente inexistente; funciona como una herramienta adicional para caracterizar procesos, identificar límites, mejorar la seguridad y abrir posibilidades de innovación, siempre que se respeten la autoría colectiva, el consentimiento, la propiedad intelectual y la distribución justa de beneficios.

El recorrido de la obra confirma la fecundidad de este enfoque. El análisis histórico y socioecológico demuestra que la presencia humana en la Amazonía se remonta a milenios y que muchos paisajes considerados "naturales" son resultado de prolongadas interacciones entre sociedades y ecosistemas. La domesticación de especies, el manejo de bosques y la organización de sistemas productivos diversificados cuestionan la antigua imagen de una selva intocada y muestran que la conservación puede ser compatible con formas de intervención humana culturalmente arraigadas. Esta constatación es decisiva: proteger la Amazonía no significa expulsar a sus habitantes ni congelar el territorio, sino fortalecer las formas de manejo que han permitido sostener su diversidad.

El capítulo dedicado a los hongos silvestres comestibles amplía de manera significativa el horizonte de la bioeconomía amazónica. Los hongos han ocupado un lugar menor en muchas políticas alimentarias y productivas, pese a su importancia ecológica, nutricional y cultural. La sistematización de especies utilizadas por pueblos

indígenas de varios países revela un patrimonio etnomicológico todavía insuficientemente estudiado. A ello se suma la posibilidad de emplear residuos agrícolas y forestales como sustratos de cultivo, lo que vincula la producción de alimentos con la economía circular. Esta línea de trabajo abre oportunidades para diversificar dietas e ingresos, pero exige investigación taxonómica, caracterización nutricional, protocolos de cultivo y cadenas de valor construidas con participación comunitaria.

Los capítulos sobre plantas medicinales y elaboración de jarabes sitúan el conocimiento ancestral en uno de los campos más sensibles: la salud. La experiencia de las comunidades de Arajuno durante la pandemia muestra cómo, frente a barreras de acceso a servicios sanitarios, las familias recurrieron a su repertorio botánico y a sus prácticas curativas. La obra documenta esos usos, caracteriza extractos vegetales e identifica metabolitos de interés, al tiempo que propone criterios de estandarización para una formulación tradicional. Este aporte debe leerse con responsabilidad. La presencia de compuestos bioactivos o la actividad antimicrobiana observada in vitro no equivalen a eficacia clínica frente a una enfermedad viral. Precisamente por ello, el valor científico del trabajo reside en delimitar lo conocido, reconocer lo que aún debe investigarse y evitar que la valorización cultural derive en afirmaciones terapéuticas no demostradas.

Otro acierto es la atención concedida a los portadores del conocimiento. Shamanes, curanderos, personas mayores y *chakramamas* no aparecen como fuentes anónimas de información, sino como protagonistas de procesos históricos de observación y aprendizaje. En particular, la figura de la *chakramama* permite reconocer el papel de las mujeres en la conservación de semillas, plantas medicinales, prácticas alimentarias y memorias comunitarias. Visibilizar esta contribución no es un gesto accesorio: es una condición para comprender cómo se reproduce el patrimonio biocultural y para diseñar políticas que fortalezcan su continuidad entre generaciones.

La noción de "*Chakra 4.0*" que atraviesa la obra sintetiza una aspiración relevante: incorporar tecnologías limpias, control de calidad, organización, trazabilidad, transformación y acceso a mercados sin convertir la *chakra* en un monocultivo ni desprenderla de su sentido cultural. Su viabilidad dependerá de la gobernanza. La

innovación será verdaderamente sostenible solo cuando el valor agregado retorne a las comunidades, cuando las decisiones se adopten con participación informada y cuando los mercados no impongan ritmos incompatibles con la regeneración ecológica. La cooperación entre comunidades, universidades, instituciones públicas y organizaciones sociales puede ser productiva, siempre que se fundamente en relaciones horizontales y compromisos de largo plazo.

Saberes ancestrales, ciencia y tecnología para el desarrollo sostenible de la Amazonía ecuatoriana ofrece, por tanto, mucho más que una recopilación de estudios. Presenta una forma de pensar el desarrollo desde el territorio y no únicamente sobre el territorio. Sus páginas invitan a reconocer que la diversidad biológica y la diversidad cultural se sostienen mutuamente; que los saberes locales son indispensables para enfrentar crisis ambientales, alimentarias y sanitarias; y que la ciencia adquiere mayor relevancia social cuando escucha, dialoga y devuelve capacidades a las comunidades con las que trabaja.

Esta obra será de utilidad para estudiantes, docentes, investigadores, gestores públicos, organizaciones comunitarias y lectores interesados en la Amazonía. Su mayor contribución consiste en demostrar que la sostenibilidad no puede importarse como una fórmula universal. Debe construirse a partir de historias, ecosistemas, conocimientos y acuerdos concretos. En Arajuno, ese futuro posible se expresa en la *chakra*, en los hongos del bosque, en las plantas medicinales y en las iniciativas que transforman recursos locales con identidad y responsabilidad. Allí radica la invitación central del libro: comprender que conservar, innovar y producir no son objetivos incompatibles cuando la vida, la justicia y la memoria ocupan el centro de las decisiones.

Ing. Carlos Luis Vásquez Freytez, PhD

Editor en Jefe



Chakra 4.0 en Chontapunta, cantón Tena, Napo: Levante de 25-30 años plantado de cardamomo (*Elettaria cardamomum*, Zingiberaceae), cultivo no tradicional, especie de alta rentabilidad que requiere sombra, contribuyendo a la conservación del bosque, la calidad del agua y mayores ingresos a la familia. Fotografía: Wilfredo Franco.

La Chakra 4.0 representa la base de una Bioeconomía Amazónica sostenible, que articula conocimientos ancestrales, biodiversidad útil, ciencia aplicada y tecnología apropiada para generar bienestar local sin destruir la base ecológica y cultural del territorio.

Agradecimientos

Los autores expresan su reconocimiento a las chagramamas y chagrayayas de las tres comunidades participantes en el proyecto *Chakra Arajuno*: Berta Grefa, Rosario Calapucha, Marisol Calapucha, Guillermo Cerda, Rosalina Grefa, Gladys Cuji, Jorge Alvarado, Ventura Calapucha, Rosalinda Tapuy, Olimpia Yumbo, Amparo Vargas, Edgar Vargas, Georgina Arias, Yolanda Yumbo, Marina Tapuy, Elvira Mucushigua, Yolanda Vargas, Janeth Avilés, Agustín Grefa, Arturo Andy, Estela Grefa y Mario Chimbo. Su colaboración en el levantamiento de información sobre las chakras, así como los conocimientos y experiencias compartidos, fueron determinantes para el desarrollo de la investigación.

Se agradece a los representantes de las comunidades participantes: Pedro Calapucha, presidente de Shiwacocha; Fernando Licuy, presidente de Nushino; y René Kaiser, presidente de Chuyaku, por su participación, acompañamiento y apoyo en la coordinación de las actividades desarrolladas en territorio, así como por facilitar la articulación con los integrantes de sus respectivas comunidades.

Los autores reconocen la colaboración del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Arajuno, particularmente de César Grefa Avilez, alcalde, por su respaldo institucional y disposición para facilitar el desarrollo de las actividades del proyecto; María Belén Valverde, técnica de Relaciones Internacionales, por su apoyo en la coordinación institucional y articulación con los actores vinculados al proyecto; Marco Cabezas, técnico de Comunicación, por su contribución a la difusión y cobertura comunicacional de las actividades; y Ney Andy, técnico de la Mesa de Derechos, por su acompañamiento y apoyo técnico en las actividades relacionadas con la promoción y protección de los derechos de las comunidades participantes.

Un especial agradecimiento a la Fundación Pachamama por la administración y gestión del proyecto, así como por el valioso respaldo institucional de María Belén Páez y Javier Félix, presidenta y director ejecutivo de la Fundación, respectivamente, cuyo liderazgo y compromiso fueron fundamentales para su desarrollo. De manera especial, se reconoce la destacada labor de Pablo Balarezo, coordinador del proyecto, cuya dedicación, presencia permanente en territorio, capacidad de

articulación y acompañamiento cercano contribuyeron significativamente a la ejecución de las actividades y al cumplimiento de los objetivos y del programa de trabajo previsto en Arajuno.

Se expresa igualmente un agradecimiento a Franklin R. Quishpi, de la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI).

Los autores agradecen a la Universidad Regional Amazónica Ikiam, alma mater del equipo ejecutor del proyecto *Chakra Arajuno*, por su respaldo institucional y académico, así como por las facilidades técnicas, logísticas y de infraestructura proporcionadas para la planificación, ejecución y seguimiento de las actividades del proyecto.

Finalmente, los autores extienden su reconocimiento a todas las personas, organizaciones e instituciones que, desde sus respectivos ámbitos de participación, contribuyeron al desarrollo de la investigación y a la preparación de esta obra.

Licencia: CC-BY-NC-SA 4.0 https://doi.org/10.63804/gb.v2i3

Financiación

Financiación de la investigación

El proyecto *Chakra Arajuno*, del cual se derivan los resultados presentados en esta obra, recibió financiamiento de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y del Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana del Ecuador, a través del Fondo Alemán-Ecuatoriano, convocatoria 2020.

El proyecto de investigación fue registrado en la Dirección de Investigación de la Universidad Regional Amazónica Ikiam con el código BTR-007-2020, bajo la denominación "*Reactivación económica del Cantón Arajuno post-COVID basado en la consolidación del Sistema Agroproductivo Tradicional Amazónico Chakra y la creación de valor agregado local e integración al mercado de sus productos*".

Financiación de la publicación en acceso abierto

La publicación de esta obra en acceso abierto y el correspondiente Book Processing Charge (BPC) fueron financiados por la Fundación Pachamama con recursos provenientes de la Iniciativa Internacional de Noruega sobre Clima y Bosques (Norway's International Climate and Forest Initiative, NICFI), administrados por la Agencia Noruega de Cooperación para el Desarrollo (Norad).

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en el desarrollo de la investigación o en la preparación de esta obra.

Introducción

La Amazonía ecuatoriana: territorio vivo, desafío compartido

La Amazonía ecuatoriana constituye un territorio de alta diversidad biológica y cultural, donde los sistemas tradicionales de manejo del paisaje han desempeñado un papel fundamental en la sostenibilidad de los medios de vida indígenas [1]. Entre estos sistemas destaca la *chakra*, una forma de agroecosistema ancestral que integra cultivos, árboles y especies silvestres en ambientes diversificados que imitan la estructura del bosque tropical (Figura 1) [2].



Figura 1. *La chakra y la mujer amazónica: un binomio inseparable. Tomado de Chakras Amazónicas: the revival of ancient, sustainable farming in the Amazon*

La región amazónica del Ecuador, que representa apenas un 2 % de la totalidad del bioma sudamericano [3], encierra una riqueza descomunal, con ríos que serpentean como arterias vivas y selvas que laten al ritmo del sol y la lluvia y que soportan la forma de vida e historias de nacionalidades indígenas, comunidades campesinas,

pueblos mestizos y actores externos que convergen en un mismo espacio, pero no siempre con los mismos propósitos [4], [5].

Durante siglos, la Amazonía fue territorio de pueblos que desarrollaron sistemas productivos adaptados al bosque, como la *chakra*, forma ancestral de agricultura en equilibrio con la naturaleza [1], [6]. Este paisaje fue y es todavía una construcción cultural y ecológica, donde la arqueología, la etnobotánica y la memoria oral dan cuenta de complejas redes de intercambio, domesticación de especies y manejo del bosque por parte de sus habitantes originarios [7], [8].

Sin embargo, desde mediados del siglo XX, y especialmente a partir del descubrimiento de petróleo en la provincia de Sucumbíos, la Amazonía ecuatoriana fue puesta en el centro de los intereses del Estado y del capital global [9]. La apertura de vías, la colonización agraria, la extracción hidrocarburífera y minera, y la expansión de monocultivos provocaron una reconfiguración profunda del territorio [10], [11]. La lógica extractiva impuesta desde fuera chocó con la visión relacional y cíclica del mundo indígena, lo que generó tensiones, resistencias, desplazamientos, pero también adaptaciones creativas y propuestas alternativas [11], [12].

La Amazonía ecuatoriana afronta un desafío decisivo: avanzar hacia un modelo de desarrollo sostenible, equitativo y estrechamente vinculado con el territorio. No existen respuestas sencillas para este propósito. Es necesario reconsiderar la relación entre sociedad y naturaleza, economía y cultura, así como entre saberes ancestrales y conocimiento científico. También resulta indispensable promover espacios de diálogo entre actores diversos, cuyas prioridades y visiones no siempre coinciden.

En este contexto, la bioeconomía emerge como una alternativa prometedora, aunque no se encuentre exenta de riesgos y contradicciones. Más que una moda o un nuevo paquete de políticas, la bioeconomía propone poner la vida en el centro: aprovechar de forma respetuosa los recursos biológicos, fortalecer los saberes locales, generar valor agregado desde el territorio y redistribuir los beneficios con justicia social [13]. Pero para que esta visión no sea cooptada por intereses externos, debe estar anclada en las prácticas concretas de las comunidades, en sus tiempos, lenguajes y prioridades [14].

Uno de los pilares de esta transición es el fortalecimiento de la *Chakra* 4.0, una evolución del sistema tradicional de *chakra* que, sin perder su esencia, incorpora elementos de innovación, organización comunitaria, tecnologías limpias y alianzas interinstitucionales [15]. Esta *chakra* renovada busca incrementar la productividad sin sacrificar la biodiversidad, generar excedentes comercializables sin romper con los ciclos ecológicos y ofrecer oportunidades a las nuevas generaciones sin expulsarlas del territorio [16].

En distintas provincias amazónicas ya existen experiencias inspiradoras. Asociaciones kichwa, shuar, achuar y mestizas cultivan, transforman y comercializan productos extraídos de sus huertas o de los bosques aledaños, como guayusa, vainilla, cacao, yuca, plantas medicinales, aceites esenciales y cosméticos naturales [17], [18]. Algunos han logrado certificaciones orgánicas, acceso a mercados internacionales y reconocimiento legal [19], [20], [21], [22]. Más allá de los resultados económicos, estos procesos contribuyen a fortalecer la vida comunitaria, renovar la identidad cultural y recuperar paisajes degradados.

Este libro surge con el propósito de acompañar y dar visibilidad a esas experiencias. No busca idealizar ni simplificar los caminos posibles, sino reflexionar junto a las comunidades, desde el territorio y con una mirada de futuro. Sus capítulos reúnen herramientas conceptuales, estudios de caso, análisis críticos y propuestas orientadas a construir colectivamente una Amazonía viva, justa y sostenible

El lector encontrará, por ejemplo, una revisión profunda sobre el origen y evolución de la *chakra*; un análisis sobre la economía amazónica y las potencialidades de la bioeconomía territorial; una descripción de proyectos exitosos, como el de Arajuno en Pastaza; y un conjunto de aprendizajes extraídos de décadas de intervención en la región. Todo esto es presentado desde una perspectiva inter y transdisciplinaria, que combina enfoques de la ecología política, la antropología, la agroecología y la economía solidaria.

La Amazonía es un sistema socioecológico esencial para la regulación climática y del ciclo hidrológico regional, y para la estabilidad del carbono a escala global, por lo

tanto, su protección requiere políticas coherentes, justicia territorial y decisiones sostenidas en el tiempo [23]. Este libro invita a articular ese esfuerzo colectivo.

Dra. Zulay Marira Niño Ruiz, PhD.

Referencias de la introducción

[1] D. Coq-Huelva, A. Higuchi, R. Alfalla-Luque, R. Burgos-Morán, and R. Arias-Gutiérrez, "Co-evolution and bio-social construction: The Kichwa agroforestry systems (Chakras) in the Ecuadorian Amazonia," *Sustainability*, vol. 9, no. 10, pp. 1–19, 2017, doi: 10.3390/su9101920.

[2] M. Heredia-R, B. Torres, J. Cayambe, N. Ramos, M. Luna, and C. G. H. Diaz-Ambrona, "Sustainability assessment of smallholder agroforestry indigenous farming in the amazon: A case study of ecuadorian kichwas," *Agronomy*, vol. 10, p. 1973, 2020, doi: 10.3390/agronomy10121973.

[3] Federación Iberoamericana del Ombudsperson, "Alerta por deforestación en el bioma Amazónico: Vulneración de Derechos HUmanos," 2024.

[4] I. T. Narváez Quiñónez, "Amazonía: cambio de la comprensión de la territorialidad al interior del territorio waorani (Los derechos indígenas)," *Eutopía. Revista de Desarrollo Económico Territorial*, no. 12, pp. 41–63, 2017, doi: 10.17141/eutopia.12.2017.2906.

[5] F. R. Garcés, "Hacia el reconocimiento de la agricultura familiar campesina como patrimonio inmaterial," in *Patrimonio inmaterial en el Ecuador: una construcción colectiva*, P. Guerrero, M. Rubio, D. Velasco, C. Lutuala, G. Anguieta, S. Acosta, J. Chalá, J. Juncosa, F. Rosero, G. López, I. Rohn, V. Zambonino, M. G. Guevara, E. Carbonell, M. Ojeda, R. Peñafiel, V. Rodríguez, J. Ubilla, F. Simbaña, M. F. Tanai, and I. Pico, Eds., Quito: Editorial Universitaria Abya-Yala, 2020, pp. 67–72.

[6] C. Echezuría Fernández, "Cosmovisión kichwa, sistemas agroforestales y alternativas sustentables para la Amazonía. La experiencia del Grupo chakra en Archidona, Ecuador," *Entorno Geográfico*, no. 25, p. e21912613, 2023, doi: 10.25100/eg.v0i25.12613.

[7] P. Paño Yánez, J. Astudillo Banegas, and I. Guerra Auqui, "Permanencias y emergencias del Buen Vivir en comunidades amazónicas Shuar en la parroquia Asunción-Ecuador," *Andes, Antropología e Historia*, vol. 2, no. 31, pp. 1–31, 2020.

[8] E. Auqui Calle, "Las luchas etnoterritoriales amazónicas y la incorporación de ontologías relacionales en el combate al extractivismo y la crisis ecológica,"

Horizontes Antropológicos, vol. 29, no. 66, p. e660403, 2023, doi: https://doi.org/10.1590/1806-9983e660403.

[9] D. Codato, F. Peroni, and M. De Marchi, "The multiple injustice of fossil fuel territories in the Ecuadorian Amazon: Oil development, urban growth, and climate justice perspectives," *Landsc. Urban Plan.*, vol. 241, p. 104899, 2024, doi: 10.1016/j.landurbplan.2023.104899.

[10] N. Eberhart, *Transformaciones agrarias en el frente de colonización de la Amazonia ecuatoriana*. Quito: Ediciones Abya-Yala, 1998.

[11] F. Nuñez, A. Aguirre, C. Sánchez, and J. Ibarra, *Las paradojas de la explotación petrolera en la Amazonía: pobreza y desigualdad Datos para el debate en torno a la consulta sobre el Bloque ITT*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2023.

[12] A. Lyall, "Resistencia en retrospectiva: la multitemporalidad del extractivismo en la Amazonía," *Íconos - Revista de Ciencias Sociales*, vol. 25, no. 69, pp. 17–34, 2021.

[13] M. Lubetkin, "Bioeconomía Amazónica: un camino imprescindible para el desarrollo sostenible." Accessed: Sep. 20, 2025. [Online]. Available: https://www.fao.org/americas/opinion/detail/bioeconomia-amazonica-camino-imprescindible/es?utm_source=chatgpt.com

[14] Y. Lesenfants, A. Veprinsky Mehl, R. Muggah, K. Aguirre, and P. Smith, "Re-imagining bioeconomy for Amazonia," IDB-TN-2952, 2024.

[15] W. Franco *et al.*, "Chakra, agroecologia y agricultura 4.0: la fusión necesaria para el desarrollo agrícola sostenible en la amazonia ecuatoriana," in *I Congreso Internacional Alternativas Tecnológicas para la Producción Agropecuaria Sosteible en la Amazonía Ecuatoriana*, Orellana, 2018.

[16] TRIAS, "Las Chakras Amazónicas: el renacimiento de una agricultura ancestral y sostenible en la Amazonía." Accessed: Sep. 20, 2025. [Online]. Available: https://worldwide.trias.ngo/es/our-story/

[17] P. Auerbach *et al.*, "Bioeconomy regional hub napo, Pastaza and Morona Santiago," (EC-T1535 EC-T1536, 2024.

[18] Corporación de Asociaciones de la Chakra Amazónica, "La Chakra Amazónica, un sistema agroforestal tradicional gestionado por comunidades indígenas en la provincia de Napo - Ecuador.," 2023.

[19] A. y T. E. Ministerio del Ambiente, "Guá Visual Técnica: Parámetros de la calidad de la guayusa fresca," Quito, Ecuador, 2025.

[20] Ecosystem Marketplace, "Chankuap Foundation: A cosmetics factory in the Amazon Forest." Accessed: Jan. 31, 2026. [Online]. Available: https://www.ecosystemmarketplace.com/articles/chankuap-foundation-cosmetics-factory-amazon-forest/

[21] FAO, "Ecuador: Productores de cacao empoderados acceden a nuevos mercados," FAO en Ecuador. Accessed: Jan. 31, 2026. [Online]. Available: https://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/fr/c/1609696/

[22] KIWA, "Wiñak - Sostenibilidad con identidad amazónica." Accessed: Jan. 30, 2026. [Online]. Available: https://www.kiwa.com/ec/es-ec/noticias/winak-sostenibilidad-con-identidad-amazonica

[23] B. M. Flores *et al.*, "Critical transitions in the Amazon forest system," *Nature*, vol. 626, pp. 555–564, 2024, doi: 10.1038/s41586-023-06970-0.

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.

De la *chakra* ancestral a la *Chakra 4.0*: innovación intercultural para la sostenibilidad de la Amazonía ecuatoriana

From the ancestral *Chakra* to *Chakra* 4.0: Intercultural innovation for the sustainability of the Ecuadorian Amazon

Wilfredo Franco [1*]

[1] Grupo de Ecosistemas Terrestres y Cambio Global, *Universidad Regional Amazónica Ikiam, Km 7, vía Tena - Muyuna, Napo, Ecuador* https://ror.org/05xedqd83

✉ wilfredo.franco@ikiam.edu.ec | ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5447-4234
E-mail de correspondencia: wilfredo.franco@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
Franco, W. (2026). De la *chakra* ancestral a la *Chakra* 4.0: innovación intercultural para la sostenibilidad de la Amazonía ecuatoriana. 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. I, e1). Editorial Unión Científica.
https://doi.org/10.63804/gb.v2i3.e1

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
Aceptado: 25 de julio de 2026
Publicado: 18 de noviembre de 2026

Responsable editorial
Editorial Unión Científica.
Ambato, Ecuador
https://libros.editorialunioncientifica.com/

Resumen

La Amazonía constituye un territorio estratégico por su biodiversidad, su función en la regulación climática, el almacenamiento de carbono y la provisión de recursos hídricos. También representa un espacio históricamente habitado y transformado por sociedades humanas desde el Holoceno. Evidencias arqueológicas y paleoecológicas demuestran ocupaciones de al menos 10.000 años y procesos tempranos de domesticación de cultivos como yuca, maíz, chonta, ají y piña, lo que confirma una interacción prolongada entre naturaleza y cultura. Entre los sistemas desarrollados destaca la *Chakra*, modelo agroforestal ancestral de los pueblos amazónicos basado en policultivos que integran alimentos, plantas medicinales, frutales y especies forestales. Además de garantizar sustento e ingresos, expresa una relación de reciprocidad entre comunidad y ambiente, favorece la regeneración del bosque y fortalece la resiliencia ecológica. Desde mediados del siglo XX, la colonización interna, la explotación petrolera, la expansión agropecuaria, la urbanización y la minería han intensificado la deforestación, la contaminación, la fragmentación de hábitats y la pérdida de conocimientos tradicionales. Asimismo, los monocultivos dependientes de agroquímicos han sustituido bosques y sistemas productivos diversificados. Frente a este escenario, se propone una bioeconomía amazónica basada en el uso sostenible de la biodiversidad, la agregación de valor local y el fortalecimiento comunitario. En este marco surge la *Chakra* 4.0, que articula saberes ancestrales con ciencia, tecnología apropiada, innovación agroecológica, energías limpias, transformación de productos, mercados diferenciados y gobernanza participativa. Esta propuesta busca mejorar los ingresos, conservar los ecosistemas y fortalecer la identidad cultural mediante un modelo de desarrollo competitivo, equitativo y ambientalmente sostenible para la Amazonía ecuatoriana.

Palabras clave: bioeconomía amazónica; *Chakra* 4.0; sostenibilidad socioambiental; territorios indígenas; transformación del paisaje.

Abstract

The Amazon constitutes a strategic territory because of its biodiversity, its role in climate regulation, its carbon storage capacity, and its provision of water resources. It also represents a region that has been inhabited and transformed by human societies since the Holocene. Archaeological and paleoecological evidence indicates human occupation dating back at least 10,000 years, as well as early processes of crop domestication involving cassava, maize, peach palm, chili pepper, and pineapple. These findings confirm a long-standing interaction between nature and culture. Among the systems developed in this region, the *Chakra* stands out as an ancestral agroforestry model practiced by Amazonian peoples and based on diversified polycultures that integrate food crops, medicinal plants, fruit trees, and forest species. In addition to providing livelihoods and income, the *Chakra* embodies a reciprocal relationship between communities and the environment, promotes forest regeneration, and strengthens ecological resilience. Since the mid-twentieth century, internal colonization, oil extraction, agricultural expansion, urbanization, and mining have intensified deforestation, environmental pollution, habitat fragmentation, and the loss of traditional knowledge. Likewise, agrochemical-dependent monocultures have replaced forests and diversified production systems. In response to this scenario, an Amazonian bioeconomy is proposed based on the sustainable use of biodiversity, local value addition, and community strengthening. Within this framework, *Chakra 4.0* emerges as a model that integrates ancestral knowledge with science, appropriate technology, agroecological innovation, clean energy, product processing, differentiated markets, and participatory governance. This proposal seeks to improve incomes, conserve ecosystems, and strengthen cultural identity through a competitive, equitable, and environmentally sustainable development model for the Ecuadorian Amazon.

Keywords: Amazonian bioeconomy; *Chakra* 4.0; socio-environmental sustainability; Indigenous territories; landscape transformation.

Introducción

La Amazonía no constituye un territorio único y homogéneo, sino que su delimitación varía según el criterio adoptado. Desde una perspectiva ecológica e hidrológica, la cuenca amazónica comprende unos siete millones de kilómetros cuadrados que abarcan gran parte de Sudamérica [1]. En su interior se localiza un bosque húmedo tropical que alberga una de las mayores biodiversidades del planeta, la que está enmarcada en la red de drenaje del río Amazonas y sus afluentes [2], [3] (Figura 1).

De acuerdo con las formaciones vegetales, en la Amazonia se diferencian cuatro tipos de coberturas: formación forestal (bosque denso), manglar (bosque de manglar), bosque inundable y bosque abierto, distribuidos entre Brasil (63 %), Perú (10 %), Bolivia (7 %), Colombia (7 %), Venezuela (6 %), y el porcentaje restante repartido entre Guyana (<3 %), Ecuador (<2 %), Surinam (2 %) y Guayana Francesa (1 %) [4].

A nivel político-administrativo, algunos países han establecido delimitaciones propias, como la Amazonía en Brasil, que está integrada por un conjunto de estados para efectos de planificación territorial [5]. En Ecuador, se reconoce como Amazonía la región oriental que forma parte tanto de la cuenca como del bioma, y cuya definición responde a criterios ecológicos y a divisiones administrativas provinciales [4]. Esta pluralidad de enfoques es relevante para los estudios científicos y de gestión, pues condiciona los marcos de referencia con que se abordan los procesos sociales, ambientales y económicos en la región.

La Amazonía constituye el sistema fluvial más extenso del planeta, al concentrar cerca del 20 % del agua dulce líquida que desemboca en los océanos [6], cuyo permanente reciclaje, ya sea como vapor o como flujo superficial y subterráneo, en la atmósfera, la litosfera y la biosfera resulta crucial para la estabilidad climática global [7]. En este contexto, la biodiversidad y los suelos forestales actúan como componentes clave del sistema de interacción clima-litósfera para mantener el equilibrio de los ciclos hidrológico y climático. De manera complementaria, la notable capacidad de secuestro y almacenamiento de carbono del bosque húmedo tropical amazónico refuerza su papel estratégico en la regulación del clima planetario [8].



Figura 1. El bioma y la cuenca amazónica. *Tomado de* [9].

La región amazónica es parte esencial del ecosistema terrestre puesto que cumple un papel importante para la diversidad biológica y el equilibrio ecológico que incluye el almacenamiento de agua y carbono, y constituye la base de sustento de los pueblos indígenas y las comunidades locales [10]. Sin embargo, esta región enfrenta una transformación acelerada del uso del suelo, impulsada por la expansión agrícola y ganadera para abastecer la demanda mundial de alimentos, lo que, sumado a la deforestación, la degradación forestal, los incendios y los efectos del cambio climático, deteriora de forma irreversible la estructura y funciones del bosque [10]

(Figura 2). En consecuencia, la desforestación ha provocado pérdidas de 542 581 km² (un 9 %) de la superficie cubierta por bosques entre 2001 y 2020 [11].

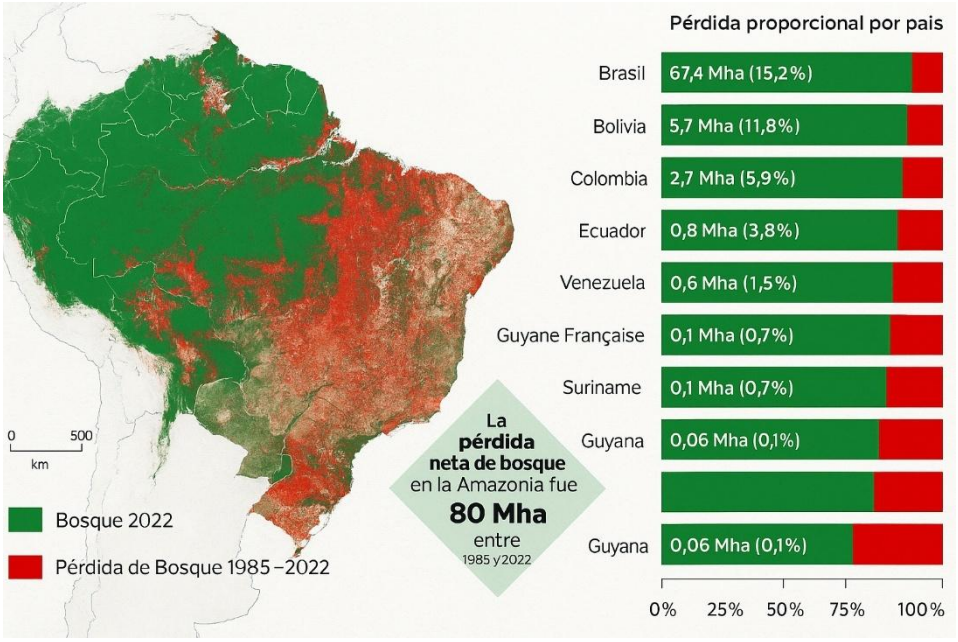


Figura 2. La Amazonía perdió 80 millones de hectáreas entre 1985 y 2022, proceso que continúa en todos los países de la cuenca. Tomado de [11] .

La Amazonía ecuatoriana ha sido reconocida como uno de los territorios con mayor riqueza biológica del planeta [12]. Esta región constituye aproximadamente el 42 % del territorio nacional y presenta una alta diversidad de relieves, paisajes, climas y biomas, desde la vertiente amazónica de la cordillera Oriental y el piedemonte hasta la llanura amazónica [13]. La Amazonía ecuatoriana no posee una delimitación única, pues esta varía según el criterio adoptado. Desde una perspectiva político-administrativa, comprende generalmente el territorio situado al este de la cordillera Oriental. En cambio, los enfoques biogeográficos reconocen una transición gradual entre los Andes y la Amazonía y emplean distintos umbrales altitudinales para distinguir subregiones, como la Amazonía alta y baja. Estos límites suelen ubicarse entre 600 y 700 m para las tierras bajas, o por encima de 1000-2000 m cuando se incluyen el piedemonte y las vertientes andinas [14], [15] .

En este vasto escenario natural se encuentran humedales de enorme importancia ecológica y se desarrollan múltiples cuencas hidrográficas de relevancia nacional, que alimentan importantes ríos amazónicos, afluentes del sistema del río Amazonas [16].

Licencia: CC-BY-NC-SA 4.0

https://doi.org/10.63804/gb.v2i3.e1

Sin embargo, en las últimas décadas se ha visto profundamente transformada debido a que la expansión de la frontera agrícola ha abierto paso a un cambio acelerado en el uso del suelo, donde los bosques han cedido espacio a potreros para la ganadería y a extensas plantaciones de monocultivos, como palma africana, maíz, naranjilla, cacao y banano, que se han convertido en especies dominantes en un paisaje que antes estaba cubierto por selvas densas y diversidad silvestre [17], [18].

En este escenario, los esfuerzos del Estado y de la sociedad deben trascender lo meramente técnico para convertirse en un compromiso ético con las generaciones presentes y futuras [19]. La conservación, restauración y protección de la Amazonía no solo responden a la necesidad de frenar la degradación de sus bosques, sino también a la responsabilidad de preservar los saberes, culturas y modos de vida de los pueblos amazónicos que históricamente han custodiado este territorio [20]. Reconocer la evolución de la relación entre los seres humanos, la biodiversidad y el paisaje a lo largo del tiempo permite comprender las dinámicas actuales y proyectar un futuro sustentado en políticas y acciones que garanticen la sostenibilidad social, económica, ambiental y cultural de la región [21].

De la domesticación ancestral a la colonización moderna en la Amazonía

Ocupación ancestral de la Amazonía

En este marco, diversos estudios han documentado procesos tempranos de domesticación de plantas que actualmente son cultivadas en la Amazonía. Entre las más antiguas se encuentra la palma chonta (*Bactris gasipaes*), con evidencias de manejo hace más de 8000 a.C., seguida por la yuca, domesticada antes de 6000 a.C., y posteriormente el ají y la piña, cuyo cultivo se remonta a antes de 4000 a.C. [22]. Por otra parte, en el caso ecuatoriano, el análisis de fitolitos y polen en sedimentos del lago Ayauchi, en Morona Santiago, revela la presencia del maíz hacia 4000 a.C. [23].

La evidencia arqueológica indica que la ocupación ancestral de la Amazonía ecuatoriana coincidió con el inicio del Holoceno, lo que ocurrió aproximadamente

entre 10 000 y 8 000 años, estrechamente vinculada al aprovechamiento de los ríos como vías de movilización y subsistencia [24]. El sitio de Guaguacanoayacu, en la cuenca del Napo (Sucumbíos), constituye una de las ocupaciones más tempranas de la región, con dataciones cercanas a 6900 a.C. [25]. De igual forma, en Alto Tena (Napo) se han identificado ocupaciones continuas de varias culturas hasta tiempos recientes [26]. Los rasgos de la actividad antropogénica entre el pre y el poscontacto europeo que llevaron a definir la ocupación Tena se evidenciaron con la presencia de moldes de poste que dieron lugar a estructuras circulares y ovales de entre 3 y 12 m de diámetro [27].

Estos resultados plantean interrogantes sobre las causas de la desaparición o sustitución cultural: agotamiento de recursos, conflictos bélicos o eventos naturales extremos, como inundaciones, sequías o erupciones volcánicas.

Factores naturales y dinámicas de sucesión cultural

Los procesos de ocupación amazónica estuvieron frecuentemente interrumpidos por fenómenos ambientales, entre los cuales resaltan dos grandes inundaciones y un evento de caída de cenizas volcánicas durante el período de Integración (500-1500 d.C.) en la Amazonía norte, los cuales ocasionaron la desaparición de asentamientos y la reconfiguración de paisajes culturales [28].

Por su parte, la sucesión cultural en el valle del Upano, Morona Santiago, donde estructuras habitacionales de la cultura Kilamope (616-276 a.C.) fueron posteriormente reocupadas por la cultura Huapula (740-1180 d.C.), revelan ciclos de abandono y reutilización de territorios [29]. De manera complementaria, desde hace aproximadamente 1850 a.C. existieron múltiples culturas amazónicas con trayectorias diferenciadas de las de la Sierra y la Costa, adaptadas a las condiciones específicas de la selva [30] (Figura 3).

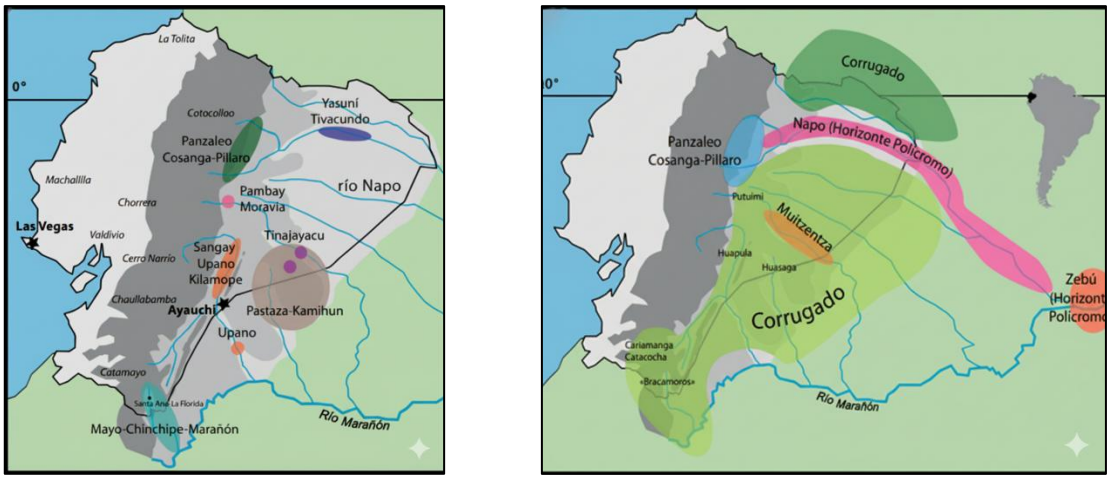


Figura 3. Localización de las culturas prehispánicas en la Amazonía ecuatoriana durante los períodos Formativo (3800-500 a.C.), Integración I (500 a.C.-700 d.C.) e Integración II (700-1 532 d.C.). Tomado de [30].

La antropización del paisaje amazónico

Estos patrones históricos de ocupación permiten suponer que los bosques primarios se conservaron principalmente en áreas con restricciones naturales, por ejemplo, interfluvios de tierra firme con suelos menos fértiles y otros ambientes de menor aptitud para asentamientos permanentes, donde los impactos precolombinos fueron más heterogéneos y localizados [31], [32]. En contraste, la mayor parte de la Amazonía ha sido objeto de intervención humana a lo largo de ocho a diez milenios [33], [34].

En este contexto, se propuso el concepto de "antropización de los paisajes amazónicos", según el cual, amplias zonas que eran consideradas "vírgenes", en realidad, son ecosistemas modificados y gestionados por los seres humanos durante milenios, lo que desafía la visión convencional de la Amazonía como una región donde los humanos tienen poco impacto en el ecosistema [35], [36], [37], [38]. En torno al concepto de antropización del paisaje amazónico, destacan los siguientes aspectos:

a. La interacción entre humanos y el ambiente: los pueblos indígenas han desempeñado un papel activo en la formación de paisajes sostenibles mediante la agricultura, el manejo forestal y el uso controlado del fuego.

b. Etnobotánica histórica: estos estudios han permitido comprender mejor cómo las sociedades amazónicas han utilizado las plantas no solo para su subsistencia, sino también con fines medicinales, religiosos y culturales.

c. Transformación ecológica: los autores citados sostienen que las transformaciones ecológicas provocadas por los pueblos indígenas son duraderas y a menudo beneficiosas para la biodiversidad, lo que cuestiona la narrativa de que la actividad humana siempre resulta en degradación ambiental.

Colonización y transformaciones recientes

La irrupción colonial a partir del siglo XVI introdujo nuevas presiones sobre los ecosistemas amazónicos, pero desde mediados del siglo XX es cuando se produce la transformación más intensa [39]. Varios autores coinciden en que la llamada colonización interna representó la incorporación de la Amazonía a la economía nacional mediante migraciones, extracción petrolera y apertura de vías [40], [41], [42].

Entre los principales factores destacan:

a. Políticas de reforma agraria: en las décadas de 1960 y 1970, el Estado ecuatoriano implementó políticas de reforma agraria que incentivaron la migración de colonos desde la Sierra y la Costa hacia la Amazonía [43]. El objetivo principal de estas políticas fue disminuir la presión demográfica en las regiones más pobladas y fortalecer la integración sociopolítica y económica de la Amazonía al contexto de país [43], [44]. Para ello se promovió la distribución de tierras a los colonos y la explotación de recursos naturales, con el fin de fomentar especialmente la agricultura y la extracción de petróleo [44].

b. Explotación petrolera: el descubrimiento de grandes reservas de petróleo en la región amazónica en la década de 1960 fue un factor crucial en la intensificación de la colonización [43]. La construcción de vialidad para facilitar la explotación petrolera abrió vastas áreas de bosque tropical a

colonos que buscaban nuevas oportunidades económicas [43], [45]. Sin embargo, ello también ha generado situaciones conflictivas en el campo ambiental y social [43], [44].

c. Impacto cultural: la colonización interna ha profundizado un proceso de transculturación, que se expresa en la pérdida de la lengua ancestral por parte de las nuevas generaciones y la incorporación del idioma español, los hábitos alimentarios y ciertas costumbres de la civilización occidental [46]. La transformación cultural avanza y cambia la vida de las comunidades indígenas que habitan la Amazonía ecuatoriana. El Estado igualmente ha implementado políticas que buscan fortalecer a las comunidades ancestrales y mitigar el proceso de pérdida cultural, como el reconocimiento de los territorios indígenas y desarrollo de alternativas económicas sostenibles [47]. La cooperación internacional ha apoyado estos esfuerzos en las últimas tres décadas [48].

d. Transformación del paisaje: la colonización ha implicado la introducción de la agricultura tradicional basada en la deforestación para la ganadería y el monocultivo [49]. Ello ha resultado en la aplicación de agroquímicos y la introducción de cultivos no adaptados al medio amazónico, con el consecuente incremento de plagas y enfermedades y la intensificación del uso de químicos contaminantes de suelos y aguas [16], [17]. Los patrones de asentamiento han favorecido la expansión de la frontera agrícola a costa de los bosques, lo que ha contribuido con la pérdida de biodiversidad y la degradación del suelo [48].

La colonización ha tenido un impacto doble; permitió la inserción de nuevos actores económicos, pero marginó a las comunidades indígenas y agudizó las desigualdades en la distribución de beneficios [16]. Además, la expansión de infraestructuras petroleras ha ocasionado deforestación y contaminación, con una consecuente profundización de la crisis socioambiental amazónica [50], [51].

En conclusión, la historia de la Amazonía ecuatoriana muestra un paisaje transformado de manera continua por la relación entre naturaleza y cultura. Desde

los pueblos que domesticaron plantas y construyeron ecosistemas sostenibles hasta los procesos recientes de colonización y explotación petrolera, la región ha experimentado profundas transformaciones [34], [43]. El desafío actual radica en compatibilizar el desarrollo económico con la conservación de la biodiversidad y el respeto de los derechos de los pueblos amazónicos, bajo principios de justicia ambiental e intergeneracional.

Sostenibilidad en la Amazonía ecuatoriana: retos ecológicos y productivos

La Amazonía contemporánea presenta un paisaje profundamente modelado por la acción humana, donde una proporción significativa corresponde a bosques secundarios en distintas etapas de regeneración, mientras que el bosque primario, resultado de procesos prolongados de interacción entre clima, suelo y especies, solo persiste en áreas remotas de difícil acceso [52], [53], [54], [55].

Dentro de este mosaico socioecológico, el sistema de *chakras* desempeña un rol fundamental. Una *chakra* es una unidad productiva agroecológica y familiar manejada tradicionalmente por pueblos indígenas y campesinos que combina alimentos, plantas medicinales, árboles frutales y especies forestales, junto con la crianza de animales menores, [56]. Sin embargo, no es solo un terreno agrícola, sino que representa una forma de vida y de relación armónica entre la familia, la comunidad y la naturaleza, guiada por principios de reciprocidad, complementariedad y respeto a la Pachamama (Madre Tierra) [57].

En el sistema de *chakras*, el ciclo agrícola típico implica la apertura de un área, el cultivo por dos o tres años hasta el agotamiento de la fertilidad y posterior abandono para permitir la sucesión natural [58]. Este proceso da lugar a bosques secundarios que, según la intensidad del uso y el contexto cultural, pueden regenerarse entre 10 y 40 años [59]. Durante esta etapa, las familias agricultoras favorecen determinadas especies frutales y maderables, a través de figuras tradicionales como la *chagramama* (mujer responsable del manejo de la *chakra*) y el *chagrayaya* (varón con funciones complementarias en la gestión productiva), enriqueciendo la composición florística del bosque secundario y garantizando la provisión futura de recursos alimenticios y forestales [60].

La transformación del bosque amazónico también ha estado marcada por el aprovechamiento selectivo de especies maderables y durante la apertura de *chakras* los árboles de valor comercial suelen aprovecharse junto con la extracción tanto legal como informal o ilegal de madera en etapas posteriores, lo que contribuye a la presión sobre los ecosistemas forestales [61], [62]. Especies de alta demanda, como la caoba (*Swietenia macrophylla*), el cedro (*Cedrela odorata*) y el chuncho o seike (*Cedrelinga cateniformis*) han disminuido drásticamente en abundancia lo que dio paso a la dominancia de especies pioneras [63], [64].

Desde una perspectiva global, el valor de los bosques amazónicos trasciende lo local porque estos ecosistemas desempeñan una función estratégica como importantes sumideros de carbono, al acumular grandes cantidades de carbono en su biomasa y mitigar el cambio climático (sumidero de carbono) [65]. Aunque los bosques primarios mantienen grandes reservas de carbono y actúan como sumideros netos [66], son los bosques secundarios los que presentan tasas más altas de fijación, entre 6 y 12 toneladas de carbono por hectárea al año, superior a las 1,5 a 2 toneladas de los bosques maduros [66], [67].

La acción antrópica no ha afectado únicamente a la vegetación, sino también a la fauna amazónica [68]. Una característica singular de América es la ausencia histórica de domesticación de especies animales, en contraste con Asia, África y Europa [69]. La colonización promovió la introducción de especies ganaderas, pero las comunidades indígenas amazónicas aun dependen principalmente de la caza y la pesca para suplirse la proteína animal [60]. Este equilibrio, no obstante, se ha visto alterado en tiempos modernos debido al uso de armas de fuego que ha intensificado la presión cinegética sobre grandes mamíferos, como jaguares, tapires y primates, que ha provocado la disminución incluso a la extinción local en algunas áreas [70], [71].

A ello se suma el impacto de los agroquímicos, puesto que el uso intensivo de pesticidas y herbicidas no solo afecta a insectos y pequeños animales, sino que se propaga por la cadena trófica, que incluye a los depredadores de mayor tamaño. El escurrimiento hacia cuerpos de agua contamina hábitats acuáticos donde afecta a las poblaciones de peces, anfibios, reptiles y aves acuáticas [64], [72]. Además, la

expansión agrícola y la deforestación fragmentan el hábitat, reducen refugios y limitan las oportunidades de reproducción para numerosas especies [73].

Estos procesos convergen en un cambio profundo de la dinámica ecológica amazónica, particularmente desde mediados del siglo XX, cuando la apertura de ejes viales, la colonización agrícola y la explotación petrolera incrementaron la presión sobre los ecosistemas [74]. En las últimas dos décadas, la minería aurífera a cielo abierto se ha sumado como un factor adicional de degradación [75].

La calidad del agua en la Amazonía ecuatoriana: un recurso estratégico condicionado por el uso de la tierra

El análisis de la deforestación histórica del Ecuador muestra que la Amazonía, al igual que la Costa y la Sierra, ha atravesado un proceso sostenido de transformación desde inicios del siglo XX (Figura 4) [76]. Muchas de las áreas deforestadas entre las décadas de 1960 y 1990, originalmente destinadas a la ganadería o a cultivos como café y cacao, hoy aparecen cubiertas por bosques secundarios dominados por especies pioneras de la sucesión natural [77]. Sin embargo, las zonas de mayor cobertura continua se concentran en las planicies aluviales bajas, entre Sucumbíos, Orellana y Pastaza, caracterizadas por suelos con limitaciones de drenaje y alta susceptibilidad a inundaciones [78].

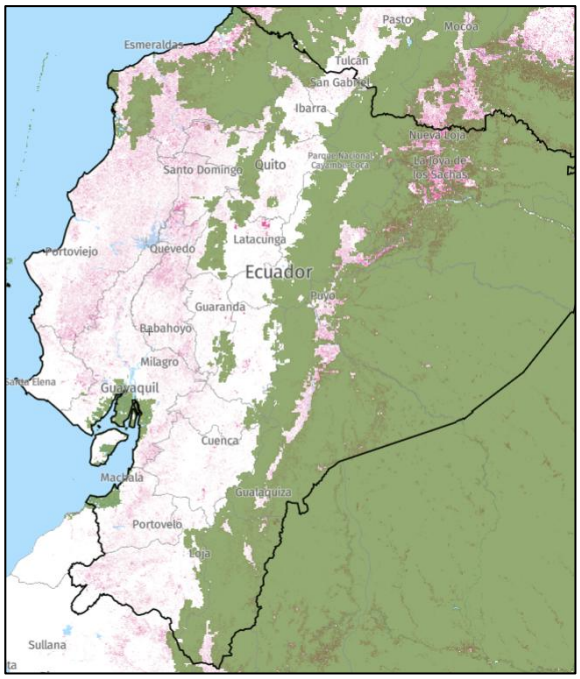


Figura 4. Mapa de deforestación histórica del Ecuador desde 2002-2024 (superficie en rojo). Algunas áreas, especialmente en la Amazonía, recuperaron la cubierta forestal. Tomado de [76].

Colonización, deforestación y cambio de uso del suelo

La colonización acelerada a partir de la segunda mitad del siglo XX transformó radicalmente el uso del suelo en la región. Las políticas de Reforma Agraria de las décadas de 1960 y 1970 promovieron la apertura de tierras mediante tala y quema del bosque, que luego se destinaron a monocultivos dependientes de agroquímicos y a la ganadería extensiva [79]. Este proceso estuvo acompañado de la expansión petrolera y, más tarde, minera, actividades que no solo redujeron la cobertura forestal, sino que introdujeron nuevas fuentes de contaminación del agua, el suelo y el aire [74], [80].

La población amazónica se multiplicó 16 veces en apenas seis décadas, lo que incrementó la presión sobre los recursos naturales [81]. La falta de servicios básicos y de acceso a educación en numerosas comunidades contribuyó a mantener elevadas tasas de natalidad y, a su vez, impulsó la expansión agrícola y urbana [79]. Se documenta que las coberturas vinculadas con la frontera agrícola y urbana continúan

su expansión a tasas superiores al 4 % anual, mientras que la deforestación avanza a un ritmo de 0,7 % por año en la Amazonía norte [82] .

En términos espaciales, el cambio de cobertura ha sido más intenso en el piedemonte andino-amazónico y a lo largo del eje vial paralelo a la cordillera, mientras que, en Sucumbíos, el avance de la industria petrolera y de la colonización agropecuaria explica los mayores niveles de deforestación [50]. En contraste, provincias como Orellana, Napo y Pastaza aún conservan grandes extensiones de bosque, aunque cada vez más intercaladas con áreas de *chakras* y bosques secundarios [83].

Agricultura intensiva y contaminación

Desde la década de 1990, la expansión de la frontera agrícola ha incorporado monocultivos, como palma africana, maíz, naranjilla, cacao y plátano, con la consecuente sustitución de las áreas de bosque a lo largo de vías de acceso y ríos navegables [12]. Este cambio de uso del suelo tiene efectos directos sobre la calidad del agua, ya que el uso intensivo de pesticidas y fertilizantes químicos en estas plantaciones contamina las fuentes hídricas y empobrece los suelos [84]. Se reportan residuos de pesticidas en más del 80 % de las muestras analizadas en zonas urbanas y agrícolas dominadas por palma africana, con mayor prevalencia de uso de ciertos fungicidas (carbendazim, azoxistrobina y propiconazol) e insecticidas (diazinón, e imidacloprid)[16]. A este escenario se suman los derrames petroleros recurrentes que afectan a los cursos de agua de los cuales dependen las comunidades rurales para consumo, pesca y actividades domésticas [85].

Además, la producción intensiva de monocultivos, como la palma africana, compacta el suelo, lo que genera competencia por nutrientes y altera la cadena alimenticia local [84]. La deforestación asociada a la expansión agrícola intensiva también contribuye significativamente a las emisiones de carbono, como se ha observado en otras regiones con dinámicas similares de frontera agrícola [86]. Este modelo productivo se asemeja a los procesos de industrialización agrícola que emergieron en el siglo XIX, donde la innovación y la apertura de mercados impulsaron una especialización ganadera intensiva que sentó las bases para prácticas agropecuarias de alto impacto [87]. La intensificación de la agricultura, caracterizada por monocultivos y la

aplicación masiva de agroquímicos, ha desplazado prácticas agrícolas tradicionales que empleaban fertilizantes orgánicos y sistemas de desecho asimilables por el medio ambiente, lo que representa una transición hacia unidades de producción de gran escala con alto impacto ambiental [88].

Este modelo de agricultura intensiva es impulsado por políticas públicas que fomentan la expansión de la frontera agrícola y la adopción de nuevos cultivos, a menudo en detrimento de la biodiversidad y los ecosistemas locales [12]. Esta búsqueda de altos rendimientos por unidad de superficie mediante el uso de variedades mejoradas, el aumento de fertilizantes inorgánicos y los sistemas de riego, aunque incrementa la productividad, también incide negativamente en la biodiversidad y genera problemas ambientales relacionados con el suelo y el agua [89]. La intensificación agrícola se ha asociado con un mayor consumo de recursos, la expansión de la ganadería industrial, el uso intensivo de maquinaria pesada, la acidificación del suelo y una elevada demanda de agua [116]. Estos efectos se agravan por la pérdida de fertilidad y la menor capacidad de regulación hídrica del suelo, comprometiendo la sostenibilidad de los agroecosistemas a largo plazo [117]. Asimismo, estas prácticas reducen considerablemente la biodiversidad y alteran el equilibrio ecológico regional.

Además, estas prácticas intensivas contribuyen a una disminución drástica de la biodiversidad, al tiempo que alteran el equilibrio ecológico de la región [118]. En particular, la conversión de bosques primarios y secundarios en áreas para el cultivo de palma africana ha provocado una disminución en la diversidad de aves y mariposas, lo que evidencia el impacto directo de estas actividades en la fauna local [112]. Esta pérdida de biodiversidad se extiende también a la microbiota del suelo, fundamental para la salud del ecosistema y los ciclos biogeoquímicos [118]. La expansión de monocultivos también ha provocado la fragmentación del hábitat que provoca el aislamiento de poblaciones de especies nativas y disminuye su capacidad de adaptación a los cambios ambientales [119]. Aunado a esto, el manejo agronómico de monocultivos, como la palma africana puede alterar significativamente las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, con efectos negativos sobre su calidad e integridad [110].

Impactos en el carbono y los ecosistemas en la Amazonía

Los impactos del cambio de uso de la tierra en la Amazonía ecuatoriana van más allá de la pérdida de cobertura forestal y una de las consecuencias más críticas es la reducción en la capacidad de los ecosistemas para actuar como sumideros de carbono [94], [95]. La sustitución de bosques nativos por monocultivos y pastizales implica una disminución significativa en el almacenamiento de carbono, lo que ha afectado la regulación climática a nivel regional y global. Estudios sobre la dinámica del carbono en territorios indígenas y áreas naturales protegidas de la Amazonía entre 2003 y 2016 mostraron que, aunque esta región almacena el 58 % del carbono de la región, solo aportaron el 10 % de las pérdidas netas, en contraste con tierras no protegidas que concentraron cerca del 90 % [89]. Sin embargo, se perdieron casi 500 millones de toneladas de carbono dentro de territorios indígenas y áreas naturales protegidas, principalmente por degradación y disturbios (>75 %). Los autores destacan que fortalecer la gestión indígena es clave para cumplir los compromisos climáticos globales.

Estos resultados soportan la idea de que la expansión agrícola y urbana en la Amazonía norte avanza a tasas superiores al 4 % anual, con las subsecuentes presiones sobre la cobertura vegetal y la alteración de los índices de vegetación (NDVI) [82]. Este proceso implica no solo la emisión directa de dióxido de carbono por la deforestación, sino también la pérdida progresiva de la capacidad de recuperación de los ecosistemas [82], [96]. La alteración de la estructura y funcionalidad de los bosques conlleva efectos en cascada: disminución de la biodiversidad, cambios en los flujos hidrológicos y aumento de las temperaturas superficiales, lo que acelera el deterioro de los servicios ecosistémicos esenciales [97], [98].

En consecuencia, el cambio de uso del suelo en la Amazonía ecuatoriana constituye una de las principales amenazas para la resiliencia de los ecosistemas, al comprometer simultáneamente la conservación de la biodiversidad, la regulación climática y la calidad del agua [98]. Estos procesos muestran cómo la deforestación y las dinámicas extractivistas no solo transforman el paisaje, sino que erosionan la

base ecológica que sostiene la vida y los medios de subsistencia de las poblaciones locales [99], [100].

El rol de los pueblos y nacionalidades indígenas

Los pueblos y nacionalidades indígenas amazónicas han limitado el avance de la frontera agrícola pese a la presión externa [101]. El reconocimiento legal de los territorios indígenas y la creación de áreas protegidas han sido instrumentos esenciales para salvaguardar zonas de alta biodiversidad y, con ellas, fuentes estratégicas de agua que sustentan tanto a las comunidades locales como a ecosistemas de importancia global [102], [103]. A diferencia de la colonización agrícola convencional, los sistemas de *chakras* se articulan con el bosque secundario y contribuyen a la protección de recursos hídricos y de la biodiversidad [60].

Los sistemas de *chakras*, practicados durante milenios por las poblaciones Kichwa, estuvieron orientados inicialmente a la subsistencia e integraron cultivos básicos como la yuca y el plátano, en contraste con las presiones actuales de la agricultura y la ganadería extensivas [104]. Estos sistemas agroforestales constituyen una alternativa resiliente frente a plagas y enfermedades, además de contribuir al control de la erosión, la provisión de alimentos y medicinas y la recuperación del suelo [105]. Del mismo modo, los sistemas silvopastoriles, al combinar árboles y pastizales, ofrecen una vía para revertir la degradación edáfica, restaurar la fertilidad y favorecer una ganadería más sostenible [106].

Estos logros, sin embargo, se ven amenazados por la transculturización y la creciente integración de las comunidades en la economía de mercado[104]. La expansión de la frontera agrícola, impulsada por monocultivos, representa una amenaza significativa para la estructuración territorial y la subsistencia de los pueblos indígenas en la Amazonía ecuatoriana [107]. Esta problemática se agudiza por la baja disponibilidad de tierras en los resguardos y la creciente urbanización, lo que fuerza a las comunidades a negociar sus territorios con propietarios privados y esto exacerba las tensiones espaciales y la vulnerabilidad de los sistemas de *chakra* tradicionales [103].

Adicionalmente, esta situación es agravada por la fragmentación de los resguardos, que disminuye las áreas de siembra y compromete la soberanía alimentaria de las familias, y, en consecuencia, modifica sus formas de vida y prácticas culturales [103]. La presión constante por el acceso a nuevas tierras de cultivo ha catalizado una transformación de vastas zonas amazónicas en campos agrícolas y asentamientos humanos que evidencian un deterioro ambiental y socioeconómico significativo en la región [108].

Esta dinámica fomenta la pérdida de conocimientos tradicionales ecológicos, ya que las nuevas generaciones, al estar inmersas en economías de mercado, pierden la conexión con los sistemas productivos ancestrales que sustentan la biodiversidad y los recursos hídricos [103]. La falta de apoyo estatal y de programas que promuevan tecnologías y conocimientos para la conservación, junto con la ausencia de alternativas de producción sostenibles, exacerba esta deforestación continua y la pérdida de biodiversidad en la Amazonía ecuatoriana [133].

LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA *CHAKRA* EN LA AMAZONÍA ECUATORIANA

La *chakra* amazónica ecuatoriana no ha sido un sistema agrícola estático, sino una construcción histórica de larga duración. Su composición actual resulta de la superposición de especies domesticadas en la Amazonía prehispánica, especies introducidas durante la colonia y rubros comerciales incorporados con mayor intensidad desde mediados del siglo XX. Esta trayectoria explica por qué la *chakra* contemporánea combina yuca, maíz, plátano, cacao, café, guayusa, frutales, plantas medicinales y árboles útiles en un mismo espacio agroforestal, integrando soberanía alimentaria, identidad cultural, biodiversidad e inserción selectiva en el mercado.

La *chakra* amazónica puede interpretarse como un sistema con cuatro grandes capas o etapas históricas, que involucran la biodiversidad, cultura e ingresos monetarios (Tabla 1).

Tabla 1. Cronología de la evolución histórica de la *chakra* amazónica ecuatoriana.

Años y etapa histórica	Proceso dominante	Rubros incorporados o consolidados	Función dentro de la *chakra*	Interpretación y sustento bibliográfico
>8000-5000 a. C. Capa 1: ancestral-domesticadora	Manejo temprano de plantas amazónicas y neotropicales; domesticación inicial y enriquecimiento del bosque.	Yuca, camote, ajíes, palmas útiles, frutos silvestres manejados, plantas medicinales y fibras.	Alimentación básica, medicina, materiales, manejo del bosque y construcción inicial de paisajes antrópicos.	La Amazonía fue centro de domesticación y manejo de plantas; la *chakra* surge como sistema diversificado, no como monocultivo [22].
ca. 3500-3000 a.C. Capa 1: ancestral-domesticadora	Uso temprano de cacao en la Alta Amazonía y fortalecimiento de redes alimentarias y simbólicas.	Cacao, yuca, maíz temprano, frutales, palmas y plantas rituales.	Alimento, bebida, intercambio, valor simbólico y posible domesticación temprana de cacao.	Santa Ana-La Florida evidencia uso temprano de cacao en la Alta Amazonía ecuatoriana, hace aprox. 5300 años [109].
2000 a. C.-1500 d.C. Capa 2: agroforestal-prehispánica	Consolidación de policultivos, barbechos enriquecidos, manejo sucesional y paisajes agrícolas complejos.	Yuca, maíz, piña, ají, camote, maní, palmas, frutales, medicinales y cacao en ciertos territorios.	Soberanía alimentaria, continuidad cultural, medicina, ritualidad y mantenimiento de agrobiodiversidad.	La *chakra* se consolida como sistema agroforestal-policultural; la evidencia del Upano confirma manejo agrícola complejo [29], [120].
Siglos XVI-XVIII Capa 3: colonial-introducida	Contacto colonial e incorporación de especies exóticas del Viejo Mundo y circuitos coloniales tropicales.	Plátano/banano, caña de azúcar, cítricos, animales domésticos; café en fases posteriores.	Complemento energético, dulzor, bebidas, fermentos, intercambio local y diversificación alimentaria.	Las especies introducidas se insertaron en la matriz policultural; el plátano se volvió estructural por su adaptación tropical húmeda [110], [111].
Siglo XIX-inicios del XX Transición entre capas 3 y 4	Mayor contacto misionero, extractivo y comercial; expansión de intercambios regionales.	Yuca, plátano, café, cacao, caña, frutales, productos forestales y animales menores.	Subsistencia familiar combinada con venta o intercambio regional de excedentes.	La integración al mercado modificó la composición y función de la *chakra*, pero no sustituyó su papel alimentario, cultural y de seguridad familiar [111].
1950-1970 Capa 4: comercial-contemporánea	Apertura de caminos, colonización, reforma agraria, expansión petrolera e inserción más intensa al mercado.	Café, cacao, plátano, yuca comercial; ganadería en algunos paisajes colonizados.	Ingreso monetario, articulación al mercado, transformación de la economía familiar y presión sobre sistemas tradicionales.	Desde mediados del siglo XX se intensificó la transición hacia rubros comerciales; el cambio agrario se aceleró con caminos, colonización y mercados [94], [95].
1980-2000 Capa 4: comercial-contemporánea	Diversificación comercial y presión de monocultivos; persistencia de *chakras* mixtas de autoconsumo y mercado.	Cacao, café, plátano, naranjilla, cítricos, yuca, guayusa, frutales y especies medicinales.	Combinación de alimentación familiar, ventas locales, ingreso monetario y conservación de diversidad útil.	La *chakra* persiste porque integra agrobiodiversidad, seguridad alimentaria e identidad cultural aún bajo integración mercantil [122].
2000-actualidad Capa 4: comercial-contemporánea y revalorización agroecológica-patrimonial	Reconocimiento de la *chakra* como sistema agroforestal tradicional, biocultural, agroecológico y patrimonial.	Cacao fino, café, guayusa, vainilla, arazá, yuca, plátano, maíz, frutales, medicinales, maderables y palmas.	Soberanía alimentaria, identidad cultural, comercio sostenible, conservación de biodiversidad y resiliencia socioecológica.	El reconocimiento de la *chakra* Amazónica de Napo como sistema patrimonial agrícola mundial - SIPAM - destaca su valor biocultural y sostenible [112].
Hacia 2030-2050: *CHAKRA* 4.0	Incorporación de técnicas agroecológicas para potenciar productividad sin perder sostenibilidad	Mejora genética adaptada a la Amazonía de: cacao, café, plátano, cardamomo, jackfruit, cacao blanco, vainilla y maderas de alto valor, entre otros rubros.	Modelos diseñados para obtención de ingresos mayores y salvaguarda del Sistema Agroforestal no contaminante	Mantenimiento del concepto fundamental de la *chakra*, fortalecida con avances técnico-científicos en microbiología, suelos, manejo integrado de plagas, genética, entre otros, y herramientas del Biocomercio (transformación y marketing) [113].

Etapa 1: ancestral-domesticadora (8 000-3 000 a.C.)

Corresponde a la selección, manejo y domesticación de especies amazónicas y neotropicales como yuca, ajíes, piña, palmas, frutales y cacao. Esta capa constituye la base alimentaria y biocultural del sistema.

Etapa 2: agroforestal-prehispánica (2 000 a.C.-1 500 d.C.)

Se caracteriza por la consolidación de policultivos, manejo de barbechos, enriquecimiento del bosque secundario y organización de la producción familiar. Aquí la *chakra* funciona como sistema de alimentación, medicina, ritualidad y transmisión de conocimiento.

Etapa 3: colonial-especies introducidas (siglos XVI-XVIII)

Incorpora especies exóticas como plátano, caña de azúcar, cítricos y café. Estas especies no destruyen la lógica de la *chakra*, sino que se insertan en ella. El plátano se vuelve particularmente importante por su alta adaptación a la humedad amazónica y su función alimentaria. El plátano constituye un ejemplo notable de cómo la *chakra* amazónica ha sido históricamente dinámica y capaz de incorporar especies exógenas sin perder su lógica cultural propia. Aunque el complejo *Musa* no es originario de América, fue introducido durante el siglo XVI a través de las redes coloniales ibéricas que conectaban África occidental, Cabo Verde, Canarias, el Caribe y las costas tropicales americanas. Su rápida expansión se explica por su fácil propagación vegetativa, alta productividad, adaptación a ambientes húmedos tropicales y valor como alimento abundante y versátil.

En los sistemas agrícolas indígenas de la amazonia, la introducción del plátano (*Musa* spp.), además de su función alimentaria, adquirió un significado social y simbólico vinculado con las prácticas locales de cultivo y aprovechamiento de las plantas [114]. Entre los yanomami, esta integración se manifiesta en la presencia del plátano en sus huertos, pero también en las narraciones mitológicas sobre el origen de la agricultura y en su utilización durante las celebraciones intercomunitarias *reahu*, asociadas con el establecimiento de alianzas y los rituales funerarios [115], [116]. Estas evidencias permiten comprender los sistemas agrícolas indígenas amazónicos como construcciones bioculturales dinámicas, en las que los intercambios históricos y la

incorporación de nuevos cultivos contribuyen a transformar las prácticas alimentarias y culturales sin necesariamente desplazar los conocimientos tradicionales [114], [117].

Etapa 4: comercial-contemporánea (siglo XX-actualidad)

Desde mediados del siglo XX, con caminos, colonización y mercados, cacao, café y plátano adquieren mayor peso económico. Esta etapa transforma la *chakra* en un sistema que combina autoconsumo, biodiversidad, cultura e ingresos monetarios. En la actualidad, las organizaciones Kichwa de Napo, de la mano del Estado y la cooperación internacional, han adquirido capacidades para producir, procesar y exportar cacao, café, guayusa, snack de plátano y yuca y vainilla procesada (cristalizada).

Esta lectura histórica demuestra que la *chakra* no es un sistema agrícola 'tradicional' en el sentido estático, sino un sistema dinámico, adaptativo y tecnológicamente sofisticado. Esta característica es la base conceptual que permite proyectar su evolución hacia la *Chakra* 4.0, articulada y evidenciada a través de los capítulos siguientes.

En ese contexto, la proyección hacia la *Chakra* 4.0 puede visualizarse como una unidad agroforestal comercial-diversificada, donde:

- cacao y café aportan ingresos anuales,
- plátano, yuca, guayusa y maíz sostienen la alimentación y también generan ingresos a lo largo del año,
- guayusa, plantas medicinales y frutales mantienen la dimensión cultural, ecológica y espiritual, pudiendo aportar igualmente ingresos,
- la madera cultivada de numerosas especies, aportan ingresos según su ciclo de crecimiento: balsa (3 años), pigüe (5-7 años), laurel, cedro, caoba, chuncho (15-20 años) y pueden sustentar una industria sostenible de mueblería y carpintería para viviendas y su equipamiento, contribuyendo a elevar el confort y el nivel de vida de las familias amazónicas.

Desde luego, es deseable y previsible proyectar su evolución hacia niveles superiores de fortaleza económica, a medida que se desarrollen, tanto los niveles de productividad como las cadenas de valor de la bioeconomía amazónica sostenible (snacks y harina de plátano y yuca, balanceados incluyendo maíz, extracto y bebidas de guayusa, pulpa de frutas congeladas y deshidratadas, mermeladas y confites, mueblería, carpintería y viviendas con componentes de bambú y madera cultivada, como materiales debidamente secados y preservados para garantizar calidad y durabilidad.

Actualmente, jóvenes Kichwa y mestizos se están graduando como ingenieros en Agroecología, Biotecnología, Biocomercio y otras áreas, igualmente en Arquitectura Sostenible y otras carreras, lo que impulsará aún más el desarrollo fundamentado en la Chakra 4.0 y la Bioeconomía. Políticas públicas adecuadas a la realidad amazónica, junto con aportes de la cooperación internacional y ONGs, consensuadas con comunidades y liderazgos indígenas, y en el marco de la Constitución, leyes y convenios internacionales pertinentes, como el Convenio de Nagoya y otros instrumentos legales, acelerarían el proceso necesario para reducir la pobreza, mantener a las nuevas generaciones en su territorio y fortalecer las culturas amazónicas como línea de defensa de la biodiversidad y la calidad ambiental.

Búsqueda de soluciones: La bioeconomía amazónica basada en *chakrasorama general*

Aunque la pérdida de bosques en el conjunto de la Amazonía se ha desacelerado en la última década, el proceso persiste y, a escala regional, continúa en un orden de magnitud elevado, cercano al millón de hectáreas por año, con implicaciones directas sobre el ciclo del carbono y la integridad de los ecosistemas [122]. En este contexto, avanzar hacia las metas del Acuerdo de París exige estrategias que integren de manera explícita la conservación ambiental con la reducción de la pobreza, mediante el fortalecimiento de capacidades y el empoderamiento de las poblaciones locales [136].

La bioeconomía como vía de desarrollo sostenible

Una ruta viable es consolidar una bioeconomía amazónica que promueva la creación y escalamiento de cadenas de valor basadas en la biodiversidad y, en particular, en los sistemas agroforestales de la *chakra*. Para que estas cadenas sean efectivas y justas, se requieren dos condiciones habilitantes:

- Gobernanza y arreglos socio-organizativos que aseguren que una fracción significativa del valor agregado retorne a las comunidades y territorios que proveen la materia prima (p. ej., reglas claras de distribución de beneficios, compras públicas, contratos inclusivos).
- Producción auténticamente sostenible, apoyada en saberes ancestrales y en tecnologías de bajo o nulo impacto ambiental (trazabilidad, estándares de calidad, bio y agroinsumos no contaminantes, economía circular) [119], [120].

Chakra 4.0: productividad con identidad

Se propone evolucionar hacia una "*chakra* tecnificada" o "*chakra* 4.0": sistemas diversificados que incrementen la productividad sin desnaturalizar su esencia cultural, generen excedentes para el mercado y mantengan la compatibilidad con suelos, aguas y aire de alta calidad [121]. Este tránsito demanda alianzas con multiactores (comunidades organizadas, Estado, academia, cooperación internacional y organizaciones no gubernamentales) para cofinanciar infraestructura apropiada, servicios de extensión, innovación y acceso a mercados especializados [122], [123] (Figura 5).



Figura 5. Elementos clave del modelo de *Chakra* 4.0 en la Amazonía hacia un modelo de desarrollo sostenible en la Amazonía ecuatoriana.

Planificación territorial e integración intercultural

Se requiere que los planes de acción del Estado, e instituciones no estatales activas en la Amazonía, incluyan con carácter prioritario la promoción de zonas de interfase entre la agricultura de colonización y los territorios de pueblos y nacionalidades [14], [124]. Tanto las comunidades indígenas como las derivadas de procesos de reforma agraria requieren fortalecimiento de capacidades que amplifique sus prácticas constructivas y mitigue aquellas de mayor impacto [125]. Por ello, es clave establecer nexos de cooperación e intercambio entre organizaciones indígenas y asociaciones agropecuarias mestizas. Ello permitiría:

- Difundir buenas prácticas de uso de la tierra y restauración,
- Impulsar transformación y agregación de valor de bioproductos,
- Mejorar logística y comercialización mediante organizaciones mixtas y esquemas de economía social y solidaria,
- Institucionalizar módulos de capacitación e innovación orientados a calidad, inocuidad y sostenibilidad [126], [127], [128].

En el contexto planteado para la Amazonía ecuatoriana, destaca la necesidad de acometer proyectos que se consideran prioritarios y podrían ser acometidos a través de acciones conjuntas Estado-Cooperación Internacional-Empresas Privadas-Comunidades:

1. **Fabricación local de bioinsumos** (biocompost, bioles, herbicidas naturales, bioinsecticidas, microorganismos antagonistas, biochar y otros productos). Ello haría innecesario la adquisición y aplicación de agroquímicos contaminantes.
2. **Campañas permanentes de capacitación** en uso de bioinsumos, lideradas por MAG, prefecturas, academia y ONGs.
3. **Instalación de fábricas de cal agrícola** en provincias con afloramientos de roca caliza apropiada. Este insumo es imprescindible en la Amazonía para elevar la producción agrícola.
4. **Creación de jardines botánicos amazónicos** con colecciones de germoplasma, programas de mejoramiento genético y educación ambiental. La potencialidad de contar con jardines de plantas frutales, medicinales,

ornamentales, etc., para fomentar y viabilizar la I&D con fines productivos y de restauración es clave para el futuro sostenible de la Amazonía.

Conclusiones

La historia de la Amazonía ecuatoriana demuestra que los territorios más resilientes no surgen de modelos extractivos ni de monocultivos intensivos, sino de sistemas capaces de armonizar producción, biodiversidad, ambiente, cultura, ciencia, tecnología y comercio. La *chakra* ancestral constituye la expresión por excelencia de esta relación Sociedad-Naturaleza, al integrar seguridad alimentaria, salud, conservación y manejo forestal, conservación de la biodiversidad y transmisión de conocimientos intergeneracionales.

Sin embargo, las transformaciones demográficas, económicas y territoriales del último siglo exigen una evolución del modelo tradicional para responder a nuevos desafíos: crecimiento poblacional, reducción de tierras disponibles, presión de mercado, pobreza rural, cambio climático y competencia con sistemas agrícolas de alto impacto.

La *Chakra 4.0* no implica sustituir la sabiduría ancestral, sino potenciar su productividad y la calidad de sus productos mediante ciencia aplicada e innovación apropiada. Ello sustentaría la inversión en capacidades para agregación de valor y fomentaría el manejo regenerativo de suelos, la conectividad comercial, energías limpias, biotecnología de bajo riesgo y organización asociativa. Se trata de construir un sistema productivo moderno con raíces culturales profundas, donde las comunidades sean protagonistas de las cadenas de valor de una bioeconomía amazónica competitiva, justa y climáticamente responsable.

Contribución y autoría

W.F.: se encargó de la conceptualización, investigación, redacción del borrador original, y revisión y edición del manuscrito final.

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, 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] J. Calderón Barrancos y C. H. R. da Silva, «Distintas amazonias: entendiendo los criterios para delimitar la amazonia en Bolivia», *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, pp. 1-17, 2019.

[2] J. M. Guayasamin *et al.*, «Evolution of Amazonian biodiversity», *Acta Amazon.*, vol. 54, n.º 1, p. e54bc21360, 2022, doi: http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392202103601.

[3] H. Sioli, «The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types», en *The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*, H. Sioli, Ed., Dordrecht, Países Bajos: Dr.W. Junk Publishers, 1984, pp. 127-165.

[4] Red Amazónica de Información socioambiental Georreferenciada RAISG, «Áreas protegidas y Territorios indígenas. Bosque estable 1985 - 2022». Accedido: 25 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.raisg.org/es/publicacion/amazonia-2023-areas-protegidas-y-territorios-indigenas-bosque-estable/

[5] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, «Amazônia Legal». Accedido: 25 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html

[6] C. F. Beveridge *et al.*, «The Andes-Amazon-Atlantic pathway: A foundational hydroclimate system for social-ecological system sustainability», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 121, n.º 22, p. e2306229121, 2024, doi: 10.1073/pnas.

[7] J. A. Marengo, «On the hydrological cycle of the amazon basin: a historical review and current state-of-the-art», *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 21, n.º 3, pp. 1-19, 2006.

[8] D. V. Spracklen y L. Garcia-Carreras, «The impact of Amazonian deforestation on Amazon basin rainfall», *Geophys. Res. Lett.*, vol. 42, n.º 21, pp. 9546-9552, 2015, doi: 10.1002/2015GL066063.

[9] M. Singh y X. Zhu, «Analysis of how the spatial and temporal patterns of fire and their bioclimatic and anthropogenic drivers vary across the Amazon

rainforest in El Niño and non-El Niño years», *PeerJ*, vol. 9, p. e12029, 2021, doi: 10.7717/peerj.12029.

[10] C. A. Nobre, «Positive tipping points for Amazonia: the urgent need for forest solutions through innovation», *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, vol. 10, n.º 1, pp. 5-6, 2025, doi: 10.15406/mojes.2025.10.00339.

[11] RAISG, *Deforestación en la Amazonía al 2025 bajo un enfoque de accesibilidad al bosque. Pasado y Futuro de la Deforestación en la Amazonía*. Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada, 2022.

[12] O. Viteri-Salazar y L. Toledo, «The expansion of the agricultural frontier in the northern Amazon region of Ecuador, 2000-2011: Process, causes, and impact», *Land use policy*, vol. 99, p. 104986, 2020, doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104986.

[13] L. A. Cisneros, F. Mamani, F. Montalván, V. Biffi, y E. Gutiérrez, «Sobre los conocimientos, experiencias y buenas prácticas de los pueblos indígenas relacionados al cambio climático para la plataforma regional amazónica de pueblos indígenas y cambio climático de la OTCA», Brasilia, 2025.

[14] W. Franco y S. Álvarez Solas, «La Biodiversidad de la Amazonía Ecuatoriana y su relevancia global: ¿Podrán ser detenidos los procesos que conducen a su degradación y extinción?», en *Investigación y Desarrollo- Cooperación Español con el Sistema de Investigación, Desarrollo e Innovación en Ecuador*, D. Salgado y M. A. O. V, Eds., Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), 2019, pp. 117-133. [En línea]. Disponible en: https://publicacionesoficiales.boe.es

[15] H. D. Eva y O. Huber, *a Proposal for defining the geographical boundaries of Amazonia*. Roma, Italia: Official Publications of the European Communities, 2005.

[16] M. Cabrera *et al.*, «Effects of intensive agriculture and urbanization on water quality and pesticide risks in freshwater ecosystems of the Ecuadorian Amazon», *Chemosphere*, vol. 337, p. 139286, 2023, doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.139286.

[17] C. Vasco, B. Torres, E. Jácome, A. Torres, D. Eche, y C. Velasco, «Use of chemical fertilizers and pesticides in frontier areas: A case study in the Northern Ecuadorian Amazon», *Land use policy*, vol. 107, p. 105490, 2021, doi: 10.1016/j.landusepol.2021.105490.

[18] S. López, «Deforestation, forest degradation, and land use dynamics in the Northeastern Ecuadorian Amazon», *Applied Geography*, vol. 145, p. 102749, 2022, doi: 10.1016/j.apgeog.2022.102749.

[19] Secretaría Técnica de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica, «Plan Integral para la Amazonía 2021 - 2035», Puyo, 2021. doi: 10.36901/allpanchis.v27i45.735.

[20] D. N. Lopes y S. Tsuyuki, «Deforestation and forest degradation detection in the brazilian amazon: a comparative analysis of two areas and their conservation units», *Applied Sciences*, vol. 14, p. 10504, 2024, doi: 10.3390/app142210504.

[21] N. B. R. Briceño, E. B. Castillo, J. L. M. Quintana, S. M. O. Cruz, y R. S. López, «Deforestation in the peruvian Amazon: Indexes of Land Cover/Land Use (LC/LU) changes based on GIS», *Boletin de la Asociacion de Geografos Espanoles*, vol. 81, n.º 2538, pp. 1-34, 2019, doi: 10.21138/bage.2538a.

[22] C. R. Clement *et al.*, «The domestication of amazonia before european conquest», *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 282, p. 20150813, 2015, doi: 10.1098/rspb.2015.0813.

[23] M. B. Bush, D. R. Piperno, y P. A. Colinvaux, «A 6,000 year history of Amazonian maize cultivation», *Nature*, vol. 340, pp. 303-305, 1989, doi: 10.1038/340303a0.

[24] B. T. Gomes *et al.*, «Late Holocene multiphasic use and occupation around a western Amazonian Lake», *Quat. Sci. Rev.*, vol. 359, p. 109387, jul. 2025, doi: 10.1016/j.quascirev.2025.109387.

[25] A. Constantine, «The early settlement of continental ecuador: New evidence from preceramic sites in the tropical rain forest», *Quaternary International*, vol. 317, pp. 112-117, 2013, doi: 10.1016/j.quaint.2013.10.010.

[26] M. F. Ugalde, «Entre el contrato y el olvido La arqueología de la ribera del Napo», *Revista del Patrimonio Cultural del Ecuador*, vol. 2, n.º 6, 2014.

[27] M. S. Solórzano-Venegas, «Cronología absoluta para el análisis diacrónico de ocupación del sitio arqueológico Pashimbi, alta Amazonía ecuatoriana.», *Arqueología Iberoamericana*, vol. 47, pp. 3-17, 2021.

[28] J. Arellano, «Panorama de los riesgos medioambientales durante el período de integración (500 a 1500 d.C) en el Norte de la Amazonía de Ecuador», *Bol. Antropol.*, vol. 34, n.º 57, pp. 45-71, 2019, doi: 10.17533/udea.boan.v34n57a03.

[29] S. Rostain, «Tolas, terrazas y casas: arqueología del valle del Upano», *Revista Ecuatoriana de Arqueología y Paleontología*, vol. 1, pp. 1-20, 2023.

[30] S. Rostain y G. de Saulieu, *Antes: arqueología de la Amazonía ecuatoriana*. Quito, Ecuador: Instituto Francés de Estudios Andinos, 2013. doi: 10.4000/books.irdeditions.17970.

[31] D. R. Piperno *et al.*, «A 5,000-year vegetation and fire history for tierra firme forests in the Medio Putumayo-Algodón watersheds, northeastern Peru», *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 118, n.º 40, p. e2022213118, 2021, doi: 10.1073/pnas.2022213118.

[32] C. H. McMichael *et al.*, «Sparse pre-Columbian human habitation in Western Amazonia», *Science (1979).*, vol. 336, n.º 6087, pp. 1429-1431, 2012, doi: 10.1126/science.1219982.

[33] J. M. Capriles, U. Lombardo, B. Maley, C. Zuna, H. Veit, y D. J. Kennett, «Persistent Early to Middle Holocene tropical foraging in southwestern Amazonia», *Sci. Adv.*, vol. 5, p. eaav5449, 2019, doi: 10.1126/sciadv.aav5449.

[34] C. Levis *et al.*, «Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition», *Science (1979).*, vol. 355, pp. 925-931, 2017, doi: 10.1126/science.aan8347.

[35] W. Balée, *Ka'apor Ethnobotany: the historical eEcology of plant utilization by an Amazonian people*, vol. 17. New York: Columbia University Press, 1385.

[36] W. Balée, «The research program of historical ecology», *Annu. Rev. Anthropol.*, vol. 35, pp. 75-98, 2006, doi: 10.1146/annurev.anthro.35.081705.123231.

[37] W. Balée, *Cultural Forests of the Amazon: A historical ecology of people and their landscapes*. Tuscaloosa: The University of Alabama Press, 2013.

[38] W. Balée y C. L. Crumley, *Time and complexity in historical ecology: Studies in the Neotropical Lowlands*. New York: Columbia University Press, 2005.

[39] P. M. Fearnside, «Deforestation in brazilian amazonia: History, rates, and consequences», *Conservation Biology*, vol. 19, n.º 3, pp. 680-688, 2005, doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x.

[40] T. K. Rudel y B. Horowitz, *Tropical deforestation: Small farmers and land clearing in the Ecuadorian amazon*. Nueva York: Columbia University Press, 1993.

[41] L. Rival, *Huaorani: Transformations in twenty-first-century Ecuador*. Tucson: The University of Arizona Press, 2016.

[42] S. Sawyer, *Crude chronicles: Indigenous politics, multinational oils, and neoliberalism in Ecuador*. Duke University Press, 2004.

[43] M. B. Holland, F. de Koning, M. Morales, L. Naughton-Treves, B. E. Robinson, y L. Suárez, «Complex tenure and deforestation: Implications for conservation incentives in the Ecuadorian Amazon», *World Dev.*, vol. 55, pp. 21-36, 2014, doi: 10.1016/j.worlddev.2013.01.012.

[44] R. Wasserstrom y D. Southgate, «Deforestation, Agrarian Reform and oil development in Ecuador, 1964-1994», *Natural Resources*, vol. 4, n.º 1, pp. 31-44, 2013, doi: 10.4236/nr.2013.41004.

[45] S. Espinosa, L. C. Branch, y R. Cueva, «Road development and the geography of hunting by an amazonian indigenous group: Consequences for wildlife conservation», *PLoS One*, vol. 9, p. e114916, 2014, doi: 10.1371/journal.pone.0114916.

[46] T. Veintie, J. Hohenthal, K. Betancourt Machoa, y A. Sirén, «The (im)possibilities of education in Amazonia: assessing the resilience of intercultural bilingual education in the midst of multiple crises», *Diaspora, Indigenous, and Minority Education*, vol. 16, n.º 4, pp. 259-272, 2022, doi: 10.1080/15595692.2021.2015317.

[47] UNDP, «Sustainable Development of the Ecuadorian Amazon: integrated management of multiple use landscapes and high value conservation forests», Quito, Ecuador, 2019.

[48] E. Berenguera *et al.*, «Drivers and ecological impacts of deforestation and forest degradation», en *Science Panel for the Amazon, Amazon Assessment Report 2021*, C. Nobre, A. Encalada, E. Anderson, F. H. Roca Alcazar, M. Bustamante, C. Mena, M. Peña-Claros, G. Poveda, G. Zapata, et al., Eds., Nueva York: Science Panel for the Amazon, 2021, pp. 1-9.

[49] W. Pan, D. Carr, A. Barbieri, R. Bilsborrow, y C. Suchindran, «Forest clearing in the Ecuadorian Amazon: A study of patterns over space and time», *Popul. Res. Policy Rev.*, vol. 26, n.º 5-6, pp. 635-659, 2007, doi: 10.1007/s11113-007-9045-6.

[50] C. F. Mena, F. Lasso, P. Martinez, y C. Sampedro, «Modeling road building, deforestation and carbon emissions due deforestation in the Ecuadorian Amazon: the potential impact of oil frontier growth», *J. Land Use Sci.*, vol. 12, n.º 6, pp. 477-492, 2017, doi: 10.1080/1747423X.2017.1404648.

[51] C. Eugenio *et al.*, «Environmental impacts of oil extraction in blocks 16 and 67 of the Yasuní Reserve in the Amazonian Forest: Combined qualitative and Life-Cycle Assessment», *Science of the Total Environment*, vol. 950, p. 175189, 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175189.

[52] R. L. Chazdon, «Tropical forest recovery: Legacies of human impact and natural disturbances», *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.*, vol. 6, n.º 1-2, pp. 51-71, 2003, doi: htpps://doi.org/10.1078/1433-8319-00042.

[53] P. M. Fearnside, «Deforestación en la Amazonía brasileña: Historia, tasas y consecuencias», *Conservation Biology*, vol. 19, n.º 3, pp. 680-688, 2005, [En línea]. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x

[54] V. H. A. Heinrich *et al.*, «Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change», *Nat. Commun.*, vol. 12, p. 1785, 2021, doi: 10.1038/s41467-021-22050-1.

[55] C. Levis *et al.*, «How people domesticated Amazonian forests», *Front. Ecol. Evol.*, vol. 5, p. 171, 2018, doi: 10.3389/fevo.2017.00171.

[56] C. Coral-Guerrero, A. Espinosa, W. Vásquez-Castillo, D. Patricio, y L. Vargas, «Chakra system in the ecuadorian Amazon: A space of global transformations», *Journal of Cultural Analysis and Social Change*, vol. 11, n.º 1, pp. 2263-2275, 2026.

[57] Corporación de Asociaciones de la Chakra Amazónica, «La Chakra Amazónica, un sistema agroforestal tradicional gestionado por comunidades indígenas en la provincia de Napo - Ecuador.», 2023.

[58] R. Vera-Velez y R. Ramos-Veintimilla, «Diversity and environmental challenges in the ecuadorian Amazon: Integrating agriculture and conservation in the face of deforestation», *Diversity (Basel).*, vol. 17, p. 792, 2025, doi: 10.3390/d17110792.

[59] W. M. Denevan, *Cultivated landscapes of native Amazonia and the Andes*. Oxford: Oxford University Press, 2001. doi: https://doi.org/10.1093/oso/9780198234074.001.0001.

[60] L. Rival, *Trekking through history the Huaorani of amazonian Ecuador*. Chichester: Columbia University Press, 2002. doi: https://doi.org/10.7312/riva11844.

[61] P. Schlotzhauer y B. Torres Navarrete, «Análisis de la cadena de producción y comercialización de madera en pequeños productores de la Amazonía Ecuatoriana», en *Gente, Bosque y Biodiversidad: El rol del bosque sobre la biodiversidad y las poblaciones rurales*, B. Torres, J. C. Vargas, Y. Arteaga, A. Torres, y P. Lozano, Eds., Puyo, Ecuador: Programa Economía de Recursos Naturales y Desarrollo Empresarial, 2017, pp. 159-176.

[62] R. López-Tobar, F. García Robredo, y B. Torres, «Tipología de especies maderables comerciales y potencial económico de su aprovechamiento en la Amazonía ecuatoriana», *Colombia Forestal*, vol. 29, n.º 1, p. e23680, 2026.

[63] A. Verissimo, P. Barreto, M. Mattos, R. Tarifa, y C. Uhl, «Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: The case of Paragominas», *For. Ecol. Manage.*, vol. 55, n.º 1-4, pp. 169-199, 1992, doi: htpps://doi.org/10.1016/0378-1127(92)90099-U.

[64] C. Schulz, A. A. R. Ioris, J. Martin-Ortega, y K. Glenk, «Prospects for Payments for Ecosystem Services in the Brazilian Pantanal: A Scenario Analysis», *Journal of Environment and Development*, vol. 24, n.º 1, pp. 26-53, 2015, doi: https://doi.org/10.1177/1070496514548580.

[65] I. F. Palacios Orejuela, B. S. Castro Benavides, y F. Rodríguez Espinosa, «Almacenamiento de carbono como servicio ambiental en tres Reservas Naturales del Ecuador», *Geoespacial*, vol. 16, n.º 1, pp. 1-14, 2019.

[66] L. Poorter *et al.*, «Biomass resilience of Neotropical secondary forests», *Nature*, vol. 530, n.º 7589, pp. 211-214, 2016, doi: 10.1038/nature16512.

[67] R. L. Chazdon *et al.*, «Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics», *Sci. Adv.*, vol. 2, p. e1501639, 2016, doi: htpps://doi.org/10.1126/sciadv.1501639.

[68] M. N. Nascimento, T. F. N. Aukes, y C. N. H. McMichael, «Indigenous and colonial influences on Amazonian forests», *Plants People Planet*, vol. 6, pp. 803-823, 2024, doi: 10.1002/ppp3.10515.

[69] G. Larson *et al.*, «Current perspectives and the future of domestication studies», *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, n.º 17, pp. 6139-6146, 2014, doi: 10.1073/pnas.1323964111.

[70] I. Numata, K. Khand, J. Kjaersgaard, M. A. Cochrane, y S. S. Silva, «Forest evapotranspiration dynamics over a fragmented forest landscape under drought in southwestern Amazonia», *Agric. For. Meteorol.*, vol. 306, p. 108446, 2021, doi: 10.1016/j.agrformet.2021.108446.

[71] F. Michalski, C. A. Peres, y I. R. Lake, «Deforestation dynamics in a fragmented region of southern Amazonia: Evaluation and future scenarios», *Environ. Conserv.*, vol. 35, n.º 2, pp. 93-103, 2008, doi: 10.1017/S0376892908004864.

[72] P. M. Fearnside, «Deforestación en la Amazonía brasileña: Historia, tasas y consecuencias», *Conservation Biology*, vol. 19, n.º 3, pp. 680-688, 2005.

[73] W. F. Laurence y H. L. Vasconcelos, «Deforestation and forest fragmentation in the Amazon», en *Tropical Biology and Conservation Management*, vol. 2, K. Del Claro, P. S. Oliveira, y V. Rico-Gray, Eds., UNESCO-EOLSS, 2009, pp. 23-28.

[74] C. Coral, W. Bokelmann, M. Bonatti, R. Carcamo, y S. Sieber, «Understanding institutional change mechanisms for land use: Lessons from Ecuador's history», *Land use policy*, vol. 108, p. 105530, 2021, doi: 10.1016/j.landusepol.2021.105530.

[75] M. Finer, C. N. Jenkins, S. L. Pimm, B. Keane, y C. Ross, «Oil and gas projects in the Western Amazon: Threats to wilderness, biodiversity, and indigenous peoples», *PLoS One*, vol. 3, n.º 8, p. e2932, 2008, doi: 10.1371/journal.pone.0002932.

[76] Global Forest Watch, «Monitoreo de bosques diseñado para la acción».

[77] T. K. Rudel, R. Defries, G. P. Asner, y W. F. Laurance, «Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation», *Conservation Biology*, vol. 23, n.º 6, pp. 1396-1405, 2009, doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01332.x.

[78] R. Sierra, *Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010 y un acercamiento a los próximos 10 años*. Quito, Ecuador: Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends, 2013.

[79] P. S. Jarrín Valladares, L. Tapia Carrillo, y G. Zamora, «Demografía y transformación territorial: medio siglo de cambio en la región amazónica de Ecuador», *Eutopía. Revista de Desarrollo Económico Territorial*, n.º 12, pp. 81-100, 2017, doi: 10.17141/eutopia.12.2017.2913.

[80] R. Wasserstrom y T. Bustamante, «Ethnicity, labor and indigenous Pppulations in the ecuadorian Amazon, 1822-2010», *Advances in Anthropology*, vol. 5, n.º 1, pp. 1-18, 2015, doi: 10.4236/aa.2015.51001.

[81] R. E. Bilsborrow, A. F. Barbieri, y W. Pan, «Changes in population and land use over time in the ecuadorian Amazon», *Acta Amazon.*, vol. 34, n.º 4, pp. 635-647, 2004.

[82] V. Mejia, D. Orellana, y P. Cabrera, «Cambio de uso de suelo en la Amazonía norte del Ecuador:un análisis a través de imágenes satelitales nocturnas VIIRS e imágenes LANDSAT», *Universidad-Verdad*, n.º 78, pp. 10-29, 2021, doi: 10.33324/uv.v1i1.355.

[83] E. C. Aviles Sacoto, A. S. Quezada Quezada, y J. D. Sevilla Tapia, «Estimación de la Tasa de Deforestación en Pastaza y Orellana-ecuador a Través del Análisis Multi Temporal de Imágenes Satelitales desde el 2000 al 2020», en *VI Congreso Internacional de Ambiental y Forestal*, 2022.

[84] H. Pérez Hernández y M. Pérez Sato, «Does the oil palm (Elaeis guineensis) generate a negative impact on the soil? A review», *Agronomia Mesoamericana*, vol. 34, n.º 1, p. 50301, 2023, doi: https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50301.

[85] J. L. Rivera-Parra, C. Vizcarra, K. Mora, H. Mayorga, y J. C. Dueñas, «Spatial distribution of oil spills in the north eastern Ecuadorian Amazon: A comprehensive review of possible threats», *Biol. Conserv.*, vol. 252, p. 108820, 2020, doi: 10.1016/j.biocon.2020.108820.

[86] A. P. Sales, «Agricultural frontiers and environment: a systematic literature review and research agenda for Emerging Countries», *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 27, n.º 2, pp. 2789-2814, 2025, doi: 10.1007/s10668-023-04030-1.

[87] R. M. Estévez Reboredo y J. Sánchez de Lollano, «El engorde del ganado español en el siglo XX: Los modificadores metabólicos, cara y cruz de una panacea», *Hist. Agrar.*, n.º 87, pp. 161-189, 2022, doi: https://doi.org/10.26882/histagrar.087e08e.

[88] V. Novotny, «Diffuse pollution from agriculture - a worldwide outlook», *Water Science & Technology*, vol. 39, n.º 3, pp. 1-13, 1999, doi: https://doi.org/10.2166/wst.1999.0124.

[89] W. S. Walker *et al.*, «The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas», *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 117, n.º 6, pp. 3015-3025, 2020, doi: 10.1073/pnas.1913321117.

[90] P. Pereira, D. Barceló, y P. Panagos, «Soil and water threats in a changing environment», *Environ. Res.*, vol. 186, p. 109501, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109501.

[91] A. E. B. Lacerda, «Sustainability of shade-grown erva-mate production: a management framework for forest conservation», *Conservation*, vol. 3, pp. 394-410, 2023, doi: 10.3390/conservation3030027.

[92] A. Barros Rodríguez, P. Rangseekaew, K. Lasudee, W. Pathom Aree, y M. Manzanera, «Impacts of agriculture on the environment and soil», *Plants*, vol. 10, p. 2325, 2021.

[93] O. Rushchitskaya, E. Kulikova, A. Ruchkin, y T. Kruzhkova, «Navigating the nexus: Sustainable integration of agro-industrial complexes into global agribusiness ecosystems», en *E3S Web of Conferences*, 2024, p. 03004. doi: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454203004.

[94] T. Perreault, «Making space: Community organization, agrarian change, and the politics of scale in the Ecuadorian Amazon», *Lat. Am. Perspect.*, vol. 30, n.º 1, pp. 96-121, ene. 2003, doi: 10.1177/0094582X02239146.

[95] M. Hiraoka y S. Yamamoto, «Agricultural development in the Upper Amazon of Ecuador», *Geogr. Rev.*, vol. 70, n.º 4, p. 423, oct. 1980, doi: 10.2307/214077.

[96] H. Sophary y H. Sarun, «Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation : Processes , Drivers , and Emission Factors», *Journal of Agriculture and Environment*, vol. 13, pp. 98-110, 2026.

[97] H. Mo y Z. Xiao, «A systematic review and synthesis of trade offs and synergies among watershed ecosystem services», *Discover Environment*, vol. 4, p. 27, 2026, doi: 10.1007/s44274-026-00531-8.

[98] D. Faria *et al.*, «The breakdown of ecosystem functionality driven by deforestation in a global biodiversity hotspot», *Biol. Conserv.*, vol. 283, p. 110126, jul. 2023, doi: 10.1016/j.biocon.2023.110126.

[99] E. Berenguer *et al.*, *Drivers and ecological impacts of deforestation and forest degradation in the Amazon*, vol. 54, n.º Special 1. 2024.

[100] R. Beuchle, C. Bourgoin, J. Carreiras, V. Heinrich, y F. Achard, *Deforestation and Forest Degradation in the Amazon-Update for year 2023 and assessment of humid forest regrowth*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2025. doi: 10.2760/7304684.

[101] S. A. Guamán Rivera *et al.*, «Silvopastoral Systems: a Sustainable Livestock Farming Strategy for the Ecuadorian Amazon», *Journal of Lifestyle and SDGs Review*, vol. 5, n.º 3, pp. 1-19, 2025, doi: 10.47172/2965-730x.sdgsreview.v5.n03.pe04928.

[102] G. M. Ati, E. A. Muñoz, D. A. Vistin, y G. Y. Balseca, «Guidelines for the conservation of subnival wet grassland plant formation of the Moor, 'Rio Blanco' in the Chimborazo Fauna Production Reserve», en *ESPOCH Congresses:*

The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M., 2021, pp. 84-101. doi: 10.18502/espoch.v1i1.9551.

[103] C. M. Pérez-Cubillos, «El conocimiento tradicional ecológico indígena y su papel en el blindaje de territorios étnicos y en el ordenamiento territorial de Leticia, Amazonas-Colombia», *Espacio y Desarrollo*, vol. 113, n.º 39, pp. 1-35, 2022, doi: 10.18800/espacioydesarrollo.202201.004.

[104] M. Heredia-R, B. Torres, J. Cayambe, N. Ramos, M. Luna, y C. G. H. Diaz-Ambrona, «Sustainability assessment of smallholder agroforestry indigenous farming in the Amazon: A case study of Ecuadorian Kichwas», *Agronomy*, vol. 10, p. 1973, 2020, doi: 10.3390/agronomy10121973.

[105] O. Viteri Salazar, J. Ramos-Martín, y P. L. Lomas, «Livelihood sustainability assessment of coffee and cocoa producers in the Amazon region of Ecuador using household types», *J. Rural Stud.*, vol. 62, pp. 1-9, 2018, doi: 10.1016/j.jrurstud.2018.06.004.

[106] C. A. Nieto-Cañarte, J. H. Macías-Suárez, V. M. Guamán-Sarango, y B. A. Burgos-Carpio, «Condiciones edafoclimáticas actuales y futuras para establecimiento de la balsa (Ochroma ssp.) con pastos en el Oriente Ecuatoriano», *Revista de Climatología*, vol. 23, pp. 167-178, 2023, doi: 10.59427/rcli/2023/v23.167-178.

[107] C. Caicedo-Vargas, D. Pérez-Neira, J. Abad-González, y D. Gallar, «Agroecology as a means to improve energy metabolism and economic management in smallholder cocoa farmers in the Ecuadorian Amazon», *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 41, pp. 201-212, 2023, doi: 10.1016/j.spc.2023.08.005.

[108] C. V. Tamayo Ortiz, D. A. Cepeda Bastidas, G. F. Sevillano Vásquez, K. B. Cisneros Quilligana, y D. E. Montesdeoca Chulde, «Estrategias campesinas de sobrevivencia en agroecosistemas alto-andinos», *Siembra*, vol. 10, n.º 2, p. e4520, 2023, doi: 10.29166/siembra.v10i2.4520.

[109] S. Zarrillo *et al.*, «The use and domestication of Theobroma cacao during the mid-Holocene in the upper Amazon», *Nat. Ecol. Evol.*, vol. 2, n.º 12, pp. 1879-1888, oct. 2018, doi: 10.1038/s41559-018-0697-x.

[110] W. S. Walker *et al.*, «The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas», *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 117, n.º 6, pp. 3015-3025, 2020, doi: 10.1073/pnas.1913321117.

[111] T. Perreault, «Why Chacras (Swidden Gardens) persist: Agrobiodiversity, food security, and cultural identity in the Ecuadorian Amazon», *Hum. Organ.*, vol. 64, n.º 4, pp. 327-339, dic. 2005, doi: 10.17730/humo.64.4.e6tymmka388rmybt.

[112] M.-J. Viejó-Bautista, A. Higuchi, y D. Coq-Huelva, «Food, monetary, energy, and socio-environmental features of a post-cacao agroforestry system in the

Ecuadorian Amazonia: the case of Rukullakta», *Agroforestry Systems*, vol. 99, n.º 6, p. 171, ago. 2025, doi: 10.1007/s10457-025-01243-3.

[113] B. Torres, M. Luna, C. Tipán-Torres, P. Ramírez, J. C. Muñoz, y A. García, «A Simplified Integrative Approach to Assessing Productive Sustainability and Livelihoods in the "Amazonian Chakra" in Ecuador», *Land (Basel).*, vol. 13, n.º 12, p. 2247, dic. 2024, doi: 10.3390/land13122247.

[114] S. Zent y E. Zent, «Jodï horticultural belief, knowledge and practice: incipient or integral cultivation?», *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, vol. 7, n.º 2, pp. 293-338, ago. 2012, doi: 10.1590/S1981-81222012000200003.

[115] H. Limulja, «Notas sobre os Sonhos Yanomami», *Revista de Antropologia*, vol. 65, n.º 3, p. e197980, nov. 2022, doi: 10.11606/1678-9857.ra.2022.197980.

[116] B. Albert y W. Milliken, *Urihi A: A terra-floresta Yanomami*. São Paulo: Institut de Recherche pour le Développement (IRD), 2009.

[117] T. Perreault, «Why chacras (Swidden Gardens) persist: Agrobiodiversity, food security, and cultural identity in the Ecuadorian Amazon», *Hum. Organ.*, vol. 64, n.º 4, pp. 327-339, dic. 2005, doi: 10.17730/humo.64.4.e6tymmka388rmybt.

[118] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), «The Paris Agreement», 2016. doi: 10.1038/127600a0.

[119] FAO, «Aspirational principles and criteria for a sustainable bioeconomy», Roma, 2021.

[120] Comisión Europea, *A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2018. doi: 10.2777/478385.

[121] D. Coq-Huelva, A. Higuchi, R. Alfalla-Luque, R. Burgos-Morán, y R. Arias-Gutiérrez, «Co-evolution and bio-social construction: The kichwa agroforestry systems (Chakras) in the ecuadorian amazonia», *Sustainability*, vol. 9, n.º 10, pp. 1-19, 2017, doi: 10.3390/su9101920.

[122] F. Basantes y J. Aragón, «Agronegocios derivados de la agricultura familiar "chacra rural"», en *Sembrando vida y cultura Las Chacras como espacios multifuncionales en comunidades indígenas andinas Caso: Fakcha Llakta, Otavalo, Ecuador*, J. R. Aranguren Carrera y J. A. Moncada Rangel, Eds., Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2018, pp. 170-188.

[123] S. Bhandari, S. Paudel, y S. Upadhaya, «Socio-Economic and Environmental Benefits of Agroforestry and Its Multilevel Barriers to Adoption: A Systematic Review», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 18, n.º 1, 2026, doi: 10.3390/su18010005.

[124] S. Hecht *et al.*, «Amazon in Motion: Changing politics, development strategies, peoples, landscapes, and livelihoods», *Amazon Assessment Report 2021*, vol. 54, n.º Special 1, p. e54hu22306, 2021, doi: 10.55161/nhrc6427.

[125] P. Pacheco, «Agrarian reform in the brazilian Amazon: Its implications for land distribution and deforestation», *World Dev.*, vol. 37, n.º 8, pp. 1337-1347, 2009, doi: 10.1016/j.worlddev.2008.08.019.

[126] United Nations Development Programme, «Union of Farmer and Indigenous Organizations of Cotacachi (UNORCAC), Ecuador», Nueva York, 2012.

[127] E. García, Y. Coronado, G. Carmona-Arroyo, y M. de la Torre, «Strengthening agricultural sustainability for indigenous communities through self-managed social enterprises arising from their needs», *Sustainability*, vol. 17, p. 5833, 2025, doi: 10.3390/su17135833.

[128] M. Valdivia-díaz, J. François, L. Coq, y P. Daza, «Roadmap for the scaling up of agroecology in Ecuador», 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.

Estado del conocimiento hongos silvestres comestibles de la región amazónica

State of knowledge on wild edible mushrooms of the Amazon region

Katia Vicente-Pérez[1]; María Cristina Peñuela[2]*

[1] Miembro, Asociación Latinoamericana de Micología (ALM), Edificio 208, Ciudad del Saber, Clayton, Panamá, República de Panamá.
[2] *Grupo de Ecosistemas Terrestres y Cambio Global, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Tena, Ecuador*. ROR: https://ror.org/05xedqd83

✉ vicentektefa0601@gmail.com | ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2520-7163
✉ crisantema1995@gmail.com | ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9611-1359
E-mail de correspondencia: crisantema1995@gmail.com

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
Vicente-Pérez, K; Peñuela, M.C. (2026). Estado del conocimiento hongos silvestres comestibles de la región amazónica. 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. II, e2). Editorial Unión Científica.
https://doi.org/10.63804/gb.v2i3.e2

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
Aceptado: 25 de julio de 2026
Publicado: 18 de noviembre de 2026

Responsable editorial
Editorial Unión Científica.
Ambato, Ecuador
https://libros.editorialunioncientifica.com/

Resumen

En el ámbito mundial se conocen más de dos mil especies de hongos comestibles, aunque solo una pequeña proporción se cultiva de forma comercial. Durante las últimas décadas, su producción ha crecido notablemente debido al mayor interés por los alimentos funcionales y al perfeccionamiento de las técnicas de cultivo. Esta revisión reúne el conocimiento disponible sobre la diversidad, el consumo, el valor nutricional y las posibilidades productivas de los hongos comestibles de la región amazónica. Se registran 65 especies, agrupadas en 41 géneros y 26 familias, utilizadas por 18 grupos étnicos de cinco países amazónicos. Los hallazgos muestran una amplia diversidad biocultural y resaltan el valor nutricional de varias especies, cuyas composiciones igualan o superan a las de hongos cultivados comercialmente. También se observan avances en su producción experimental mediante sustratos procedentes de sistemas agroforestales, lo que confirma su potencial para un aprovechamiento sostenible. No obstante, aún existen vacíos sobre su domesticación, manejo y valorización. Por ello, se requieren nuevas investigaciones que permitan consolidar estos hongos como recurso alimentario estratégico y fortalecer las economías locales desde una perspectiva sostenible.

Palabras clave: Amazonia; contenidos nutricionales; fungi; setas comestibles; sustratos; *Favolus tenuiculus; Lentinus concavus.*

Abstract

More than two thousand species of edible fungi are known worldwide, although only a small proportion are commercially cultivated. Over the past several decades, their production has increased substantially because of growing interest in functional foods and improvements in cultivation techniques. This review synthesizes the available knowledge on the diversity, consumption, nutritional value, and production potential of edible fungi in the Amazon region. A total of 65 species, classified into 41 genera and 26 families, have been documented as being used by 18 ethnic groups across five Amazonian countries. The findings reveal considerable biocultural diversity and highlight the nutritional value of several species, whose nutrient profiles are comparable to or exceed those of commercially cultivated mushrooms. Progress has also been made in their experimental production using substrates derived from agroforestry systems, confirming their potential for sustainable utilization. Nevertheless, substantial knowledge gaps remain regarding their domestication, management, and value addition. Further research is therefore required to establish these fungi as strategic food resources and to strengthen local economies within a sustainable development framework.

Keywords: Amazonia; nutritional composition; fungi; edible mushrooms; substrates; *Favolus tenuiculus*; *Lentinus concavus*.

Introducción

Los hongos silvestres comestibles, que incluyen tanto setas como trufas, constituyen no solo una fuente natural de alimento nutritivo y saludable, sino también desempeñan un papel ecológico clave en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas naturales [1]. De las 2189 especies silvestres comestibles registradas a nivel mundial, el 92 % (2006 especies) pertenecen a los hongos basidiomicetos, mientras que solo el 8 % (183 especies) están incluidas dentro del grupo de hongos ascomicetos [2]. A pesar del amplio número de especies potencialmente comestibles, solo 30 se cultivan y representan el 85 % de la producción mundial, pertenecientes a los géneros *Agaricus* (Agaricaceae), *Auricularia* (Auriculariaceae), *Flammulina* (Physalacriaceae), *Lentinula* (Omphalotaceae) y *Pleurotus* (Pleurotaceae) [3].

El mercado y la producción de hongos comestibles se han incrementado unas 30 veces entre 1978 y 2013 [4] y se estima que este crecimiento será mantenido en países como China, India y Japón como líderes en la producción [5]. El incremento en la producción y consumo de hongos comestibles se atribuye a múltiples factores. En primer lugar, se ha observado un aumento sostenido de la demanda en países consumidores como China y diversas naciones europeas, asociado a la adopción de patrones alimentarios vegetarianos, especialmente en el norte de Europa. En segundo lugar, el perfeccionamiento de las técnicas de cultivo, especialmente la optimización de sustratos y la reducción de los tiempos de cosecha, ha mejorado la eficiencia productiva y disminuido los costos, facilitando el acceso del consumidor. A ello se suma el creciente interés por los alimentos funcionales, valorados no solo por su aporte nutricional, sino también por la presencia de compuestos bioactivos con posibles beneficios para la salud física y mental [6], [7].

Los hongos comestibles son una buena fuente de nutrientes esenciales, tales como hidratos de carbono (50-65 %), proteínas (19-35 %), grasas (2-6 %) con ácidos grasos insaturados como los ácidos palmítico, oleico y linoleico [8], vitaminas (A, B, C, D y E), minerales y fibra [9]. Adicionalmente, varias especies de hongos comestibles son reconocidas como alimentos funcionales debido a que contribuyen con el

mejoramiento de la salud y el bienestar general, previniendo enfermedades debido a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, citoprotectoras, reductoras del colesterol, antidiabéticas, antimicrobianas y anticancerígenas, además de controlar la presión arterial, reforzar el sistema inmunitario y fortalecer los huesos [3], [10].

Aparte de los beneficios nutricionales, otra ventaja del cultivo de hongos es la posibilidad de desarrollar su cultivo bajo una estrategia de desarrollo sostenible, ya que permite reutilizar residuos orgánicos, mejorar el aprovechamiento de materiales y reducir el volumen de desechos [7]. Además, puede integrarse en modelos de economía circular, agricultura y silvicultura sostenibles, así como en el desarrollo económico rural [11]. Esto abre una ventana de oportunidades para Ecuador, puesto que, parte de su economía está basada en la agricultura, de la cual se obtienen muchos residuos lignocelulósicos a partir de cultivos permanentes como el cacao, la palma africana, la caña de azúcar y el coco, que podrían ser aprovechados en la producción de hongos silvestres comestibles [12].

A pesar del alto potencial de los hongos comestibles, la información sobre las propiedades nutricionales, las técnicas de cultivo y los estudios de mercado para la comercialización de las especies de hongos silvestres comestibles es aún escasa. En tal sentido, con el objetivo de establecer el estado del conocimiento de hongos silvestres comestibles en la Amazonia, se presenta una compilación de la información acerca de las especies reportadas, su valor nutricional, los sustratos naturales sobre los que crecen y los sustratos sobre los que se ha realizado ensayos de crecimiento.

La presente revisión bibliográfica muestra el estado del conocimiento sobre hongos comestibles en la Amazonia, lo que pretende llenar algunos vacíos de información que puedan ser útiles para la formulación de planes de conservación, manejo, aprovechamiento y valorización de estas especies.

Metodología

Con el fin de obtener información de los hongos comestibles de la Amazonia se realizaron búsquedas de artículos publicados entre 2004 y 2024 en las principales bases de datos (Scopus, Index Fungarum) y buscadores (Google Scholar). Fueron

revisados 37 artículos científicos como fuentes primarias de información y tres guías y ocho artículos de revisión como fuentes de información secundaria.

A partir del análisis y revisión de los documentos, se sistematizó la información de las especies de hongos comestibles registradas en las diversas comunidades de diferentes países, y se registró las respectivas fuentes. Con el objetivo de determinar si las especies de hongos comestibles silvestres registradas en contextos indígenas o rurales cuentan con respaldo molecular, se realizó una revisión dirigida de los artículos citados.

En esta revisión se verificó si los estudios informaban el uso de herramientas moleculares para la identificación taxonómica, como la secuenciación de ADN, el análisis del marcador ITS y la comparación con bases de datos como GenBank. Esto permitió valorar el rigor taxonómico de los registros y la confiabilidad de las especies identificadas.

También se recopiló información sobre su composición nutricional, la de sus respectivos géneros y los sustratos naturales donde han sido encontradas. Finalmente, se presenta información de las especies que han sido evaluadas para su producción comercial y los sustratos usados.

Resultados y discusión

La revisión sistemática de la literatura permitió identificar una notable diversidad de hongos comestibles en la región amazónica, evidenciando su relevancia tanto desde una perspectiva biológica como sociocultural. En total, se documentaron 65 especies distribuidas en múltiples géneros y familias, utilizadas por al menos 18 grupos étnicos en cinco países de la Amazonía.

Diversidad taxonómica

En términos taxonómicos, los géneros con mayor número de especies corresponden a *Auricularia*, *Lentinus*, *Gymnopilus*, *Panus* y *Polyporus*. Estos géneros presentan una amplia distribución geográfica y son recurrentemente reportados en distintos

contextos culturales, lo que sugiere su importancia como recurso alimentario (Tabla 1).

Tabla 1. Géneros de hongos comestibles con mayor representación en la Amazonía.

Género	N° especies	Distribución geográfica	Importancia
Auricularia	5	Ecuador, Brasil, Colombia, Venezuela	Amplio uso alimentario
Lentinus	6	Ecuador, Brasil, Colombia, Perú	Potencial para ser cultivadas
Gymnopilus	4	Ecuador, Brasil	Diversidad representativa
Panus	4	Ecuador, Perú, Brasil, Colombia	Uso tradicional frecuente
Polyporus	6	Ecuador, Brasil	Amplia distribución ecológica
Pleurotus	2	Ecuador, Perú	Alto valor comercial
Oudemansiella	2	Ecuador, Perú	Uso específico/local

Algunas especies, como las pertenecientes al género *Pleurotus*, destacan además por su potencial para la producción comercial, debido a sus características nutricionales y facilidad de cultivo. Sin embargo, una proporción considerable de especies aún carece de estudios detallados sobre su taxonomía y biología.

Distribución etnobiológica

Los resultados muestran que la mayor diversidad de especies se concentra en comunidades indígenas de Ecuador y Brasil, particularmente en los pueblos Kichwa amazónicos, Shuar, Shiwiar y Yanomami (Tabla 2). Estos grupos presentan un conocimiento tradicional amplio sobre el uso de hongos, lo que se refleja en la frecuencia y diversidad de especies reportadas. Asimismo, comunidades de Colombia, Perú y Venezuela también registran un uso significativo, aunque con menor número de especies documentadas. Esta distribución sugiere una estrecha relación entre la diversidad biológica y el conocimiento tradicional, evidenciando que los sistemas culturales influyen directamente en el aprovechamiento de los recursos micológicos.

Tabla 2. Distribución de especies de hongos comestibles por grupo étnico y país en la región amazónica.

País	Grupo étnico	Diversidad de especies reportadas	Observación
Ecuador	Kichwa amazónico	Alta diversidad	Grupo con mayor número de registros
Ecuador	Shuar, Shiwiar, Secoya, Siona, Zápara	Alta diversidad	Uso ampliamente documentado
Brasil	Yanomami, Txicão, Nambiquara	Alta diversidad	Amplia variedad taxonómica
Venezuela	Hotï	Moderada	Registros consistentes
Colombia	Uitoto, Muinane, Andoke	Moderada	Uso tradicional relevante
Perú	Matsiguenka	Moderada	Presencia de especies compartidas

Uso y potencial productivo

El análisis de la información recopilada evidencia que la mayoría de las especies identificadas son utilizadas en contextos de consumo tradicional, formando parte de la dieta de diversas comunidades indígenas. No obstante, solo un número limitado ha sido evaluado desde el punto de vista nutricional, lo que representa una brecha importante en el conocimiento científico (Tabla 3). Por otra parte, se registraron avances experimentales en el cultivo de algunas especies, especialmente mediante sustratos procedentes de sistemas agroforestales. Estos hallazgos muestran un amplio potencial para la domesticación y producción sostenible de hongos amazónicos. Asimismo, varias especies contienen compuestos bioactivos con posibles propiedades funcionales o medicinales, lo que aumenta su interés en los campos alimentario y farmacéutico.

Tabla 3. Categorías de uso y potencial de los hongos comestibles amazónicos.

Categoría	Diversidad de especies	Características
Consumo tradicional	Alta (>80%)	Uso ancestral en comunidades indígenas
Evaluación nutricional	Limitada	Información disponible en pocas especies
Potencial de cultivo	Moderada	Resultados experimentales promisorios
Uso medicinal/funcional	Moderada	Presencia de compuestos bioactivos
Investigación molecular	Baja	Falta de validación taxonómica

Del total de especies con registros etnomicológicos (anexo 1), la mayoría ha sido identificada mediante métodos morfológicos, tanto a nivel macroscópico como microscópico. Para validar su nomenclatura científica, se realizaron revisiones cruzadas con bases de datos especializadas como Index Fungorum y MycoBank.

Los géneros con mayor diversidad de especies comestibles fueron: *Lentinus* y *Polyporus* (cinco especies), seguido de los géneros *Auricularia*, *Gymnopilus*, *Panus* con cuatro especies cada uno; *Collybia* con tres especies; *Coriolopsis*, *Marasmiellus*, *Oudemansiella*, *Pleorotus* y *Trametes* con dos especies cada uno y los 30 géneros restantes con una especie (Figura 1).



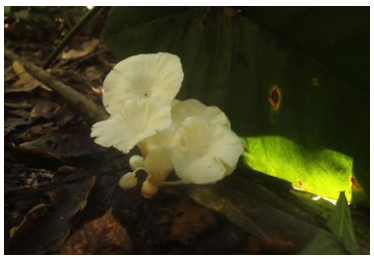
Auricularia delicata (Mont.) Henn.



Auricularia fuscosuccinea (Mont.) Henn.



Favolus tenuiculus P.Beauv.



Lentinus concavus (Berk.)



Lentinus crinitus (L.) Fr.



Oudemansiella canarii (Jungh.) Höhn



Panus lecomtei (Fr.) Corner



Pleurotus djamor (Rumph. ex Fr.) Boedijn



Polyporus tricholoma Berk. y Cooke



Pycnoporus sanguineus (L.) Murrill



Schizophyllum commune Fr.

Figura 1. Especies de hongos silvestres comestibles registradas con mayor frecuencia en las diferentes etnias en países amazónicos.

En la Amazonía existe una gran diversidad de hongos comestibles, aunque solamente unos pocos son cultivados y comercializados. Varias de las especies son abundantes en zonas boscosas. Sin embargo, su consumo y aprovechamiento tradicional en América Latina se concentra principalmente en México, Guatemala y, en menor

medida, en Honduras. En Sudamérica, por el contrario, hay poca evidencia de su uso y consumo, salvo entre algunos pueblos indígenas amazónicos [13].

En Brasil, Drewinski et al. [14] recopilaron el registro de varias especies de hongos y actualizaron su clasificación en tres categorías (C1: comestible, confirmado, C2; comestible, confirmado, pero con condiciones; C3: comestible, no confirmado; V: venenoso), además de indicar el estado de comestibilidad final (CF) (Tabla 4).

En Colombia, se ha documentado el uso como fuente alimenticia de los hongos, pero raramente se reportan como medicinales. Del total de 20 especies reportadas, 12 especies son utilizadas con frecuencia, siendo las más consumidas: *Crepidotus palmarum, Auricularia fuscosuccinea, Ramaria* spp., *Agaricus* aff. *trinitatensis* y *Pleurotus* sp1. [15].

Tabla 4. Especies de hongos clasificados en diferentes categorías de potencial de consumo.

Especie de hongo comestible	Potencial de consumo				CF
	C1	C2	C3	V	
Amanita dulciodora	0	0	1	0	C3
Auricularia brasiliana	1	0	1	0	C1
Auricularia tremellosa	3	0	0	0	C1
Chlorophyllum molybdites	5	0	1	21	U
Cookiena speciosa	3	0	0	0	C1
Filoboletus gracilis	2	0	0	0	C1
Gyroporus austrobrasiliensis	1	0	0	0	C1
Inonotus obliquus	4	0	1	0	C1
Lactarius hepaticus	2	0	0	0	C1
Lactarius taedae	0	0	1	0	C3
Marasmiellus cubensis	1	0	0	0	C1
Panus tephroleucus	1	0	0	0	C1
Phlebopus beniensis	3	0	0	0	C1
Pleurotus magnificus	2	0	0	0	C1
Polyporus pes-simiae	0	0	1	0	C3
Pseudohydnum viridimontanum	1	0	0	0	C1
Stropharia coronilla	4	0	1	4	ND
Trechispora thelephora	0	0	1	0	C3

C1: comestible, confirmado, C2; comestible, confirmado, pero con condiciones; C3: comestible, no confirmado; V: venenoso; ND: No determinado. Clasificación de hongos de acuerdo con [14].

En Ecuador, Vicente-Pérez et al. [16] mencionan cerca de 50 especies de hongos silvestres comestibles que son utilizadas por 12 pueblos indígenas. Cerca del 70 % de estas especies (29 especies), son utilizadas por comunidades kichwas periurbanas asentadas en el piedemonte entre los Andes y la Amazonía. Del total de especies reconocidas por los habitantes de la zona, tres especies *Favolus tenuiculus*, *Bresodolia paradoxa* y *Lentinus concavus* fueron especialmente importantes dada su abundancia, importancia económica y sabor. En la lengua Kichwa se registraron como como *chinchi ala*, *busum ala* y pata *L. concavus* se registran tres nombres: *guango ala, taka ala* y *muku ala*.

Actualmente, los hongos silvestres están ingresando en el mercado nacional, constituyéndose en una alternativa de ingreso viable para las comunidades que habitan estas regiones boscosas y para pequeños productores con mano de obra limitada [17]. En Brasil, por ejemplo, se comercializan hongos recolectados y deshidratados por la comunidad Yanomami, bajo la marca Sanöma [18], [19]. Por otra parte, en Manaos (Brasil), se cultiva una cepa silvestre amazónica de *P. ostreatus* utilizando sustratos obtenidos a partir de residuos agroindustriales locales (semillas de açaí), obteniéndose hongos con altos contenidos de proteína (27,19 %), fibra dietética (18,57 %), contenido fenólico (31,24 mg de equivalentes de ácido gálico/g de extracto) y mayor actividad antioxidante que eliminó el 82,60% y el 91,13% de los radicales DPPH y ABTS, respectivamente [20].

Esto demuestra el potencial nutricional y funcional de los hongos silvestres, además de su contribución a la economía de indígenas y pequeños productores. Para que su producción sea sostenible y contribuya a la seguridad alimentaria y fortalecimiento de economías locales se requiere de mayor investigación que integre conocimientos relacionados a la ecología, el manejo (técnicas de cultivo) y fomente su consumo, fortaleciendo economías locales.

Contenido nutricional

La composición nutricional de las especies de hongos silvestres comestibles presentes en la región de la Amazonia muestran similitud con aquellas especies comercializadas a gran escala (Tabla 5). En algunos casos, incluso la superan, por

ejemplo: *Favolus tenuiculus*, una de las especies más consumidas a nivel de la cuenca amazónica (nueve etnias en cuatro países), que presenta un valor proteico superior al de *Pleurotus ostreatus*, que es una especie ampliamente cultivada a nivel mundial. Esta información debería servir para evidenciar el potencial de algunas especies silvestres como una fuente de alimento culturalmente aceptadas.

En los últimos años, los consumidores son más conscientes de la importancia de la nutrición y la alimentación saludable y así, los hongos comestibles están ganando mayor popularidad y se han incorporado de forma más frecuente en la dieta diaria de muchas personas en distintas partes del mundo [21]. La alta diversidad de especies silvestres presentes en la zona amazónica, su versatilidad culinaria, bajo contenido calórico y alto valor nutricional hacen de este recurso una fuente de alimentos especialmente atractiva para quienes buscan una alimentación equilibrada. Sin embargo, se requiere de la implementación de una serie de estrategias y políticas gubernamentales que fomenten su producción y consumo a nivel nacional.

Investigación y desarrollo sobre la producción de hongos comestibles

El cultivo de hongos comestibles, o setas, es una práctica biotecnológica a gran escala que permite convertir residuos lignocelulósicos en productos alimenticios y para uso animal de forma eficiente y rentable [22]. Esta tecnología de producción de hongos ha mostrado un rápido desarrollo desde su producción artesanal en cuevas en Francia hasta una industria de alta tecnología como respuesta al incremento de la demanda durante los últimos tres siglos [23].

Sin embargo, la mayoría de protocolos de cultivo de hongos se basan en variables climáticas de países con clima templado, las cuales son diferentes a las condiciones de los trópicos [24].

Tabla 5. Valores nutricionales reportados de hongos silvestres comestibles presentes en la región amazónica.

Especie	Humedad (%)	Carbohidratos (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Fibras (%)	Cenizas (%)	Referencias
Auricularia cornea	--	70,66 - 72,27	11,22 - 13,14	0,77 - 1,27	19,71 - 22,43	2,9 - 3,37	[25]
Auricularia fuscosuccinea	9.76	42.21	7.52	0.15	37.96	2.40	[26]
Auricularia polytricha	--	88,1 - 91,1	6,5	0,48 - 0,5	3,6		[27]
Dacryopinax spathularia	4,73	55,24	14,25	2,4	5	2,52	[28]
Dacryopinax spathularia	12,14	53,55	19,95	1,94	7,08	6,04	[28]
Daedalea flavida	--	---	19,4	---	--	--	[28]
Favolus brasiliensis	7.4	---	27,0	17,0	17	1,7	[29]
Lentinus crinitus			14.42		57.18		[30]
Lentinus sajor-caju	87,0	--	24,63	--	22,87	--	[31]
Lycoperdon pyriforme	81,0	49,88	38,0	9,6	8,0	5,25	[32]
Oudemansiella canarii	--	33,39	16,65	1,64	33,52	8,13	[33]
Panus lecomtei	81,39	17,31	16,52	0,86	---	8,49	[34]
Pleurotus djamor	90,07-90,63	27,37-32,69	19,80-20,50	1,09-1,12	12,69-22,43	6,34-7,40	[35], [36]
Pleurotus ostreatus	84.3-91.0	73.2-78.6	9.29-9.71	1.18-1.68		5.69-15.9	[37]
Schizophyllum commune	3,54-41	48,34	10-16,25	1,82	2-15	1,1-2,12	[3], [38]
Trametes ochracea	10	55	20	3	10	10	[39]

La región amazónica tiene un enorme potencial para el desarrollo de programas para el cultivo de hongos nativos, debido a la alta diversidad de especies que allí se encuentran y también porque en la zona existen residuos agrícolas y madereros que podrían ser utilizados como sustratos lignícolas [40], [41].

De acuerdo con la revisión, se señala que los hongos silvestres amazónicos crecen sobre 50 especies de plantas, pertenecientes a 39 géneros y 22 familias (Tabla 6). Las familias con mayor número de especies son Fabaceae con 10 especies, seguida de Lecythidaceae con cinco especies y Euphorbiaceae, Malvaceae y Urticaceae con cuatro especies cada una. Dentro de la familia Fabaceae, el género *Inga* es el que presenta más especies con registro de hongos, mientras que en Asteraceae *Piptocoma discolor* se han registrado hasta 18 especies en la etnia Kichwa. Le preceden *Cordia alliodora* (Boraginaceae) y *Ochroma piramidale* (Malvaceae) cada una con 15 especies, mientras que *Cecropia sciadophylla* (Urticaceae) y *Vochysia braceliniae* (Vochysiaceae) con 13 y 12 especies, respectivamente. Estas especies de plantas son pioneras, de rápido crecimiento y consideradas "pioneras" dentro del proceso sucesional de las áreas cultivadas.

De las 23 especies de hongos, las del género *Lentinus* crecen sobre un mayor número de especies de plantas (27), *Favolus* sobre 24, *Lentinula* sobre 19 y *Panus* sobre 15. Las especies del género *Lentinus* y *Favolus tenuiculus* son las que están más ampliamente distribuidas en las diferentes comunidades de la Amazonia. Esta mayor abundancia podría deberse a la vasta diversidad de árboles de hoja ancha que se encuentran en la Amazonía, las cuales proporcionan una abundante cantidad de madera muerta y en descomposición, que sirve como sustrato ideal para especies saprótrofas como *Lentinus*. Por ejemplo, *Lentinus concavus* crece en troncos muertos sin especificidad de hospedero, encontrándose en áreas bien conservadas dentro de la Amazonía y otras regiones de bosque húmedo tropical [42].

Por el contrario, algunas especies de hongos poco frecuentes como *Hydnopolyporus frimbiatus* y *Schizophyllum commune* crecen sobre pocas especies de plantas (cuatro y cinco, respectivamente), a pesar de ser estas abundantes en chagras y barbechos, al menos en Ecuador.

Tabla 6. Plantas que sirven de sustrato natural a los hongos comestibles en la Amazonia.

Especie de planta	Pueblo indígena	*Auricularia delicata, A. fuscosuccinea*	*Bresadolia paradoxa*	*Cookeina speciosa*	*Favolus tenuiculus*	*Hydnopolyporus fimbiatus*	*Lentinus crinitus, L. concavus, L. tricholoma, L. bertieri, L. scleropus, L. strigosus*	*Lentinula raphanica*	*Marasmiellus* sp.	*Panus strigellus, P. neostrigosus, P. velutinus*	*Pleurotus djamor, P. albidus*	*Polyporus philippinensis, aff thailandensis, aquosus*	*Schizophyllum commune*
Annona cherimola (Annonaceae)	Kichwa		X				X				X		
Annonaceae sp1. (Annonaceae)	Yanomami				X	X		X					
Couma macrocarpa (Apocynaceae)	Yanomami				X		X	X		X			
Didymopanax morototoni (Araliaceae)	Kichwa				X								
Didymopanax sp. (Araliaceae)	Yanomami						X			X	X		
Bactris gasipaes (Arecaceae)	Kichwa				X				X				X
Piptocoma discolor (Asteraceae)	Kichwa	X	X	X	X		X		X	X	X		X
Jacaranda copaia (Bignoniaceae)	Yanomami						X			X		X	
Scleronema micranthum (Bombacaceae)	Uitoto							X					
Cordia alliodora (Boraginaceae)	Kichwa		X		X		X		X	X	X		X
Caryocar gracile (Caryocaraceae)	Uitoto							X					
Goupia glabra (Celastraceae)	Uitoto						X	X					
Couepia dolichopoda (Chrysobalanaceae)	Uitoto							X					
Sagotia racemosa (Euphorbiaceae)	Yanomami				X							X	
Croton palanostigma (Euphorbiaceae)	Yanomami				X								
Manihot esculeta (Euphorbiaceae)	Kichwa			X			X			X			
Hevea sp.1 (Euphorbiaceae)	Uitoto						X	X					
Clathrotropis macrocarpa (Fabaceae)	Yanomami						X			X			
Dioclea cf. Malacocarpa (Fabaceae)	Yanomami				X						X	X	
Inga edulis (Fabaceae)	Yanomami				X							X	
Fabaceae sp1 (Fabaceae)	Yanomami							X					

Especie de planta	Pueblo indígena	*Auricularia delicata, A. fuscosuccinea*	*Bresadolia paradoxa*	*Cookeina speciosa*	*Favolus tenuiculus*	*Hydnopolyporus fimbriatus*	*Lentinus crinitus, L. concavus, L. tricholoma, L. bertieri, L. scleropus, L. strigosus*	*Lentinula raphanica*	*Marasmiellus* sp.	*Panus strigellus, P. neostrigosus, P. velutinus*	*Pleurotus djamor, P. albidus*	*Polyporus philippinensis, aff thailandensis, aquosus*	*Schizophyllum commune*
Inga edulis (Fabaceae)	Kichwa		X	X	X		X		X	X	X		
Inga ilta (Fabaceae)	Kichwa	X		X									
Inga spectabilis (Fabaceae)	Kichwa				X								
Parkia panurensis (Fabaceae)	Uitoto	X					X	X					
Lonchocarpus sp1 (Fabaceae)	Uitoto	X					X						
Hymenaea cf. Oblongifolia (Fabaceae)	Uitoto							X					
Vismia guianensis (Hypericaceae)	Yanomami						X			X			
Eschweilera sp1 (Lecythidaceae)	Uitoto	X					X						
Eschweilera sp2 (Lecythidaceae)	Uitoto	X					X						
Couratari cf. stellata (Lecythidaceae)	Uitoto							X					
Lecythis chartacea (Lecythidaceae)	Uitoto							X					
Lecythis zabucajo (Lecythidaceae)	Uitoto							X					
Ochroma pyramidale (Malvaceae)	Kichwa	X	X	X	X		X			X	X		
Sterculia sp1 (Malvaceae)	Yanomami				X	X	X				X	X	
Theobroma cacao (Malvaceae)	Kichwa		X		X		X						
Theobroma bicolor (Malvaceae)	Kichwa				X		X						
Trichilia sp. (Meliaceae)	Yanomami					X						X	
Cedrela odorata (Meliaceae)	Kichwa				X								
Ficus sp. (Moraceae)	Yanomami				X		X	X		X		X	
Brosimun utile (Moraceae)	Uitoto						X	X					
Iryanthera laevis (Myristicaceae)	Uitoto							X					
Iryanthera tricornis (Myristicaceae)	Uitoto							X					
Micropholis sp. (Sapotaceae)	Yanomami				X		X	X		X		X	
Micropholis melinoniana (Sapotaceae)	Yanomami				X							X	

Licencia: CC-BY-NC-SA 4.0

https://doi.org/10.63804/gb.v2i3.e2

Especie de planta	Pueblo indígena	*Auricularia delicata, A. fuscosuccinea*	*Bresadolia paradoxa*	*Cookeina speciosa*	*Favolus tenuiculus*	*Hydnopolyporus fimbiatus*	*Lentinus crinitus, L. concavus, L. tricholoma, L. bertieri, L. scleropus, L. strigosus*	*Lentinula raphanica*	*Marasmiellus* sp.	*Panus strigellus, P. neostrigosus, P. velutinus*	*Pleurotus djamor, P. albidus*	*Polyporus philippinensis, aff thailandensis, aquosus*	*Schizophyllum commune*
Cecropia sciadophylla (Urticaceae)	Kichwa		X	X	X		X		X	X			
Pouroma sp. (Urticaceae)	Yanomami				X		X	X		X		X	
Cecropia sp. (Urticaceae)	Yanomami				X		X			X	X	X	
Pourouma cecropiifolia (Urticaceae)	Kichwa										X		X
Vochysia braceliniae (Vochysiaceae)	Kichwa		X		X		X		X		X		X

***** La tabla sintetiza la información contenida en [43], [44], [45].

Por el contrario, algunas especies de hongos poco frecuentes como *Hydnopolyporus frimbiatus* y *Schizophyllum commune* crecen sobre pocas especies de plantas (cuatro y cinco, respectivamente), a pesar de ser estas abundantes en chagras y barbechos, al menos en Ecuador.

Finalmente, se recopiló información sobre las especies de hongos en los que se ha evaluado la eficiencia biológica del crecimiento de micelio o del cuerpo fructífero sobre formulados de sustratos a partir de residuos provenientes de sistemas agroforestales y suplementos óptimos provenientes de especies amazónicas para el crecimiento de micelio (Tabla 7).

Tabla 7. Lista de plantas utilizadas como sustratos y suplementos en ensayos de cultivo de micelio de especies de hongos comestibles.

Especie de hongo	Sustrato usado	Eficiencia biológica	Crecimiento micelial	Producción de cuerpos fructíferos	Referencia
Auricularia fuscosuccinea	hojas de *Musa paradisiaca*	--	x	--	[46]
Lentinus citrinus	*Theobroma grandiflorum* + hojarasca	93,50%	x	x	[47]
Lentinus crinitus	*Theobroma grandiflorum* + salvado de arroz	84,20%	x	x	[47]
Lentinus strigosus	Aserrín de *Protium puncticulatum Cariniana micrantha* y *Caryocar glabum* + 20% salvado de maíz	--	x	--	[48]
Lentinus strigosus	Aserrín de *Protium puncticulatum Cariniana micrantha* y *Caryocar glabum* + 20% salvado de arroz	--	x	--	[48]
Lentinus strigosus	Aserrín de *Protium puncticulatum Cariniana micrantha* y *Caryocar glabum* + 20% salvado de trigo	--	x	--	[48]
Lentinus strigosus	*Anacardium giganteum* + salvado de *Glycine max*	80,00%	x	x	[7]
Oudemansiella canarii	fibra *Cocos nucifera* + cáscara de *Theobroma cacao*	--	x	--	[46]
Panus strigellus	*Simarouba amara* + *cáscara de Astrocaryum aculeatum*	--	x	--	[40]
Panus strigellus	*Simarouba amara* + *Parte interna de Bactris gasipaes*	--	x	--	[41]
Schizophyllum commune	fibra *Cocos nucifera* + cáscara de *Theobroma cacao*	--	x	--	[46]

Varios residuos agroindustriales obtenidos a partir de *Anacardium giganteum* (*caracolí)*, *Musa paradisiaca* (plátano, banano)*, Protium puncticulatus* (tacamaca o bálsamo real)*, Simarouba amara* (cedro amargo) y *Theobroma grandiflorum* (Copoazú) se han utilizado como sustratos base para el crecimiento miceliar y producción de cuerpos fructíferos de *Auricularia fuscosuccinea, Lentinus crinitus, L. strigosus, Oudemansiella canrii, Panus strigellus y Schizophyllum commune*. Los estudios sobre eficiencia biológica han mostrado variaciones en *Lentinus crinitus* y *L. strigosus* dependiendo del sustrato utilizado, y muy probablemente, del origen de las cepas de hongos.

Para la evaluación del crecimiento micelial y producción de cuerpos fructíferos, se han utilizado como suplementos amazónicos, estructuras de palmas como la cáscara de tucumá o cumare (*Astrocaryum aculeatun*) o la parte interna de la chonta (*Bactris gasipaes*) [40], [41] y el copoazú (*Theobroma grandiflorum*), este último se destaca por resultados altos y significativos en eficiencia biológica combinado con un suplemento común y generalmente usado como es el arroz [47].

Vargas-Isla et al. [40] evaluaron el crecimiento micelial de *Panus striegellu*s en los residuos de especies forestales amazónicas más explotadas en Manaus-Brasil. En esta evaluación, se incluyeron como sustratos a *Eucalyptus* sp. y *Quercus acutissima*, que, aunque no son especies amazónicas, son utilizadas comúnmente en el Sur y Sudeste de Brasil, para la producción *Panus strigellus* y *Lentinus edodes*. Además, como alternativa para reemplazar suplementos como fibra de trigo, salvado de arroz, fibra de soja, germen de trigo, extracto de soya y levadura de cerveza, realizaron formulados con residuos de algunas frutas amazónicas como: *Euterpe oleracea*, *Carapa guianensis*, *Astrocaryum aculeatum*, *Simarouba amara*, *Carapa guianensis* y *Passiflora edulis*. Los residuos de *S. amara* y la cáscara del fruto de *A. aculeatum* mostraron buen potencial como sustitutos del aserrín de *Eucalyptus* sp. y del salvado de arroz, que son comúnmente utilizados en el cultivo de hongos. Aparte de su potencial como sustrato, estos son de fácil obtención en la región, lo cual incrementa su potencialidad de uso en la producción de esta especie de hongo.

Otros estudios evalúan las condiciones físicas de crecimiento *in vitro* de especies como *Lentinus strigosus* [24] y las correlacionaron con características de su hábitat, encontrando como condiciones apropiadas: 35 °C de incubación, un pH inicial de 5 a 7, sin iluminación, medio agar Sabouraud dextrosa y agitación para el cultivo en medio líquido. En *Lentinus crinitus* se encontró que el medio de agar extracto de malta (MEA) al 2 %, un pH 5,5 y una temperatura de crecimiento de 32,7 °C. son óptimos para el crecimiento. Datos que sirven de referencias para otros testeos de

crecimiento micelial de especies amazónicas, dado que la mayoría de datos provienen de especies en zonas templadas.

Conclusiones

La Amazonía alberga una notable diversidad de hongos comestibles, con cerca de 65 especies registradas en las investigaciones disponibles. Sin embargo, solo 16 cuentan con información sobre su composición nutricional. Estas especies son consumidas por diversos pueblos de Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, por lo que constituyen tanto un recurso alimentario como un valioso patrimonio gastronómico y cultural. Entre ellas, *Favolus tenuiculus* y *Lentinus crinitus* presentan perfiles nutricionales comparables o superiores a los de hongos cultivados comercialmente, y destacan por su aporte de proteínas, fibra y compuestos bioactivos con posibles beneficios para la salud. No obstante, es necesario ampliar el uso de herramientas moleculares que permitan identificar con precisión nuevas especies comestibles, muchas de las cuales aún no han sido determinadas completamente. Además, una misma especie puede consumirse en distintas comunidades de la cuenca amazónica y presentar variaciones organolépticas o nutricionales asociadas con los sustratos y las condiciones ecológicas donde se desarrolla.

El cultivo de hongos representa una alternativa sostenible para la gestión de residuos agrícolas y madereros, como los de banana o plátano, copoazú o varias especies de palmas, lo que contribuiría con la promoción de un modelo de economía circular que, por un lado, reduciría los niveles de residuos agrícolas y forestales, y, por otro lado, también permitiría la generación de ingresos para las comunidades locales.

Desde el punto de vista etnobiológico, la revalorización de los hongos comestibles mediante el fomento de su consumo también contribuye con la conservación de prácticas culturales ancestrales, preservando el conocimiento de las comunidades indígenas y fortaleciendo su identidad cultural y promoviendo la biodiversidad.

Recomendaciones

La Amazonia ofrece una enorme diversidad de productos naturales que pueden servir para cubrir no solo las necesidades nutricionales de la población, sino también la obtención de principios activos para la elaboración de medicamentos. A pesar de su potencial, el conocimiento sobre los hongos comestibles amazónicos es limitado, por lo tanto, es crucial aumentar las inversiones públicas y privadas para desarrollar investigaciones que permitan explorar sus propiedades nutricionales, técnicas de cultivo y aplicaciones medicinales, lo que podría abrir nuevas vías para su uso y fortalecer la seguridad alimentaria y las economías locales.

Para ello, es necesario superar desafíos como la falta de infraestructura adecuada y la escasez de información técnica y así poder aprovechar el potencial de los hongos comestibles. La colaboración entre instituciones académicas, gobiernos y comunidades locales es esencial para desarrollar estrategias que impulsen la producción sostenible y el uso responsable de estos recursos.

Pocos estudios ofrecen información sobre el uso de sustratos naturales para el cultivo de hongos comestibles amazónicos, entre los cuales resaltan las investigaciones realizadas en Brasil con la etnia Yanomami, los Uitoto en Colombia y Kichwa amazónicos en Ecuador. El estudio realizado en Ecuador, además ofrece información sobre índice de importancia cultural, el cual destaca la relevancia de *Favolus tenuiculus* y *Lentinus concavus* dentro de la región amazónica ecuatoriana. Por ello, estas especies deberían ser priorizadas en proyectos de investigación donde se evalúen aspectos relacionados con su cultivo (crecimiento micelial, eficiencia biológica) y aspectos nutricionales.

Adicionalmente, se recomienda desarrollar estudios para evaluar el uso de sustratos para el cultivo de hongos comestibles usando plantas como el piwi (*Piptocoma discolor*) u otras especies de los géneros *Cecropia*, *Pouroma* o *Inga*, suplementado con hojas de diversas especies de palmas abundantes en la zona, como *Mauritia flexuosa* (morete), *Bactris gasipaes* (chonta) y *Astrocaryum murumuru* (palma de ramos).

Contribución y autoría

K.V-P; M.C.P.: se encargaron de la conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, redacción del borrador original, y revisión y edición del manuscrito final.

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] J. Pérez-Moreno, P. E. Mortimer, J. Xu, S. C. Karunarathna, y H. Li, «Global perspectives on the ecological, cultural and socioeconomic relevance of wild edible fungi», *Stud. Fungi*, vol. 6, n.º 1, pp. 408-424, 2021, doi: 10.5943/sif/6/1/31.

[2] H. Li *et al.*, «Reviewing the world's edible mushroom species: A new evidence-based classification system», *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 20, pp. 1982-2014, 2021, doi: 10.1111/1541-4337.12708.

[3] C. de M. Silva-Neto *et al.*, «Food and nutritional potential of two mushrooms native species to the Brazilian savanna (Cerrado)», *Food Science and Technology (Brazil)*, vol. 42, p. e64422, 2022, doi: 10.1590/FST.64422.

[4] D. J. Royse, J. Baars, y Q. Tan, «Current overview of mushroom production in the world», en *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*, Primera ed., vol. 2010, D. C. Zied y A. Pardo-Giménez, Eds., Chichester: Wiley Blackwell, 2017, pp. 5-13. doi: 10.1002/9781119149446.ch2.

[5] E. Sharma *et al.*, «Edible mushrooms trending in food: Nutrigenomics, bibliometric, from bench to valuable applications», *Heliyon*, vol. 10, p. e36963, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e36963.

[6] M. Rani *et al.*, «Edible mushroom: occurrence, management and health benefits», *Food Materials Research*, vol. 3, p. 21, 2023, doi: 10.48130/FMR-2023-0021.

[7] C. Sales-Campos, B. F. Vianez, y R. L. S. de Abreu, «Productivity and nutritional composition of Lentinus strigosus (Schwinitz) fries mushroom from the Amazon region cultivated in sawdust supplemented with soy bran», en *Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products*, vol. 11, D. Krezhova, Ed., Rijeka, Croacia: InTech, 2011, pp. 227-250.

[8] H. Rathore, S. Prasad, y S. Sharma, «Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review», *PharmaNutrition*, vol. 5, pp. 35-46, 2017, doi: 10.1016/j.phanu.2017.02.001.

[9] H. S. Mayirnao, K. Sharma, P. Jangir, S. Kaur, y R. Kapoor, «Mushroom-derived nutraceuticals in the 21st century: an appraisal and future perspectives», *Journal of Future Foods*, vol. 5, n.º 4, pp. 342-360, 2025, doi: 10.1016/j.jfutfo.2024.07.013.

[10] A. Singh, R. K. Saini, A. Kumar, P. Chawla, y R. Kaushik, «Mushrooms as Nutritional Powerhouses: A Review of Their Bioactive Compounds, Health Benefits, and Value-Added Products», *Foods*, vol. 14, p. 741, 2025, doi: 10.3390/foods14050741.

[11] M. Kapahi, «Recent advances in cultivation of edible mushrooms», en *Biology of Macrofungi*, B. P. Singh, Lallawmsanga, y A. K. Passari, Eds., Cham, Suiza: Springer Nature Switzerland AG, 2018, pp. 275-286. doi: 10.1007/978-3-030-02622-6_13.

[12] L. Scalvenzi, M. V. Chiriboga Ruilova, E. Guardado Yordi, M. Radice, R. Abreu Naranjo, y A. Pérez Maertínez, «Edible mushroom production in Ecuador: opportunities for biotechnological use of agricultural byproducts», *Bionatura Journal*, vol. 1, n.º 2, pp. 1-13, 2024, doi: 10.21931/bj/2024.02.01.15.

[13] E. Boa, *Wild edibke fungi a global overview of their use and importance to people*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004.

[14] M. P. Drewinski *et al.*, «Over 400 food resources from Brazil: evidence-based records of wild edible mushrooms», *IMA Fungus*, vol. 15, p. 40, 2024, doi: 10.1186/s43008-024-00171-8.

[15] E. R. Peña Cañón, Y. M. Niño Fernandez, y L. Enao Mejía, «Importancia cultural de hongos silvestres comestibles en cuatro municipios de Boyacá (Colombia).», *Ciencia en Desarrollo*, vol. 14, n.º 2, pp. 31-46, 2023, doi: 10.19053/01217488.v14.n2.2023.15082.

[16] K. Vicente-Pérez, A. M. Vasco-Palacios, M. G. Zurita-Benavides, y M. C. Peñuela Mora, «Edible mushrooms of peri-urban Kichwa communities in the Andes-Amazon piedmont, Ecuador», *J. Ethnobiol.*, vol. 44, n.º 2, pp. 188-204, 2024, doi: 10.1177/02780771241250116.

[17] G. de M. Rodrigues y M. H. Okura, «Cogumelos comestíveis no Brasil: uma revisão bibliográfica», *Research, Society and Development*, vol. 11, n.º 8, p. e24711830830, 2022, doi: 10.33448/rsd-v11i8.30830.

[18] L. M. Tsuji Nishikido, «Setas como hábitos alimentarios de los indios Yanomami - saberes asociados a la ciencia, a la preservación y a la defensa de la selva

amazónica», *Revista de Estudios Brasileños*, vol. 6, n.º 11, pp. 205-210, 2019, doi: 10.14201/reb2019611205210.

[19] C. E. A. Coimbra y J. R. Welch, «Enciclopédia dos Alimentos Yanomami (Sanöma): Cogumelos. Edited by R. M. Apiamö, J. Autuori, N. K. Ishikawa, M. S. Martins, N. Menolli Jr., C. Sanuma, L. R. Sanuma, M. Sanuma, O. I. Sanuma, & K. Tokimoto. 2016. Instituto Socioambiental, São Paulo. 108 pp.», *Ethnobiology Letters*, vol. 9, n.º 2, pp. 309-311, 2018, doi: 10.14237/ebl.9.2.2018.1411.

[20] C. Sales-Campos *et al.*, «Nutritional and bioactive properties of an Amazon wild oyster culinary-medicinal mushroom, Pleurotus ostreatus (Agaricomycetes): Contributions to functional food and human health», *Int. J. Med. Mushrooms*, vol. 23, n.º 7, pp. 79-90, 2021, doi: 10.1615/IntJMedMushrooms.2021038780.

[21] P. Navarro-Simarro, L. Gómez-Gómez, O. Ahrazem, y Á. Rubio-Moraga, «Food and human health applications of edible mushroom by-products», *N. Biotechnol.*, vol. 81, pp. 43-56, 2024, doi: 10.1016/j.nbt.2024.03.003.

[22] Raj. Rai y O. P. Ahlawat, «Edible fungi: Biotechnological approaches», *Applied Mycology and Biotechnology*, vol. 2, pp. 87-121, 2002, doi: 10.1016/S1874-5334(02)80007-7.

[23] R. Rai, «Production of edible fungi», en *Fungi Biotechnology in Agricultural, Food, and Environmental Applications*, D. K. Arora, Ed., New York, USA: Marcel Dekker Inc., 2004, pp. 233-246. doi: 10.1201/9780203913369.ch21.

[24] R. Vargas-Isla y N. K. Ishikawa, «Optimal conditions of in vitro mycelial growth of Lentinus strigosus, an edible mushroom isolated in the Brazilian Amazon», *Mycoscience*, vol. 49, n.º 3, pp. 215-219, 2008, doi: 10.1007/s10267-007-0404-2.

[25] A. Walker, N. Wannasawang, W. Taliam, L. Keokanngeun, T. Luangharn, y N. Thongklang, «Optimal conditions for mycelial growth and nutritional values of the Auricularia cornea», *Stud. Fungi*, vol. 8, p. 19, 2023, doi: 10.48130/SIF-2023-0019.

[26] M. K. Zakaria *et al.*, «Nutrient composition, antioxidant activities and glycaemic response of instant noodles with wood ear mushroom (Auricularia cornea) powder», *Applied Sciences*, vol. 12, n.º 24, p. 12671, 2022, doi: 10.3390/app122412671.

[27] J. L. Mau, K. T. Wu, Y. H. Wu, y Y. P. Lin, «Nonvolatile Taste Components of Ear Mushrooms», *J. Agric. Food Chem.*, vol. 46, n.º 11, pp. 4583-4586, 1998, doi: 10.1021/jf9805606.

[28] A. Kumar, S. Ali, S. B. Lal, y M. P. Sinha, «Mycochemical screening and determination of nutritive potency and antioxidant activity of edible macrofungi Dacryopinax Spathularia (Schwein) and Schizophyllum commune

(Fries)», *Journal of Pharmaceutical Research World*, vol. 7, n.º 16, pp. 1311-1321, 2018, doi: 10.20959/wjpr201816-13240.

[29] C. de M. Silva-Neto, D. D. S. Pinto, L. A. C. Santos, F. J. S. Calaça, y S. D. S. Almeida, «Food production potential of Favolus brasiliensis (Basidiomycota: Polyporaceae), an indigenous food», *Food Science and Technology*, vol. 41, pp. 183-188, 2021, doi: 10.1590/fst.12620.

[30] L. R. Dávila G, W. Murillo A, C. J. Zambrano F, H. Suárez M, y J. J. Méndez A, «Evaluation of nutritional values of wild mushrooms and spent substrate of Lentinus crinitus (L.) Fr», *Heliyon*, vol. 6, p. e03502, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03502.

[31] N. Alam *et al.*, «Nutritional Analysis of Cultivated Mushrooms in Bangladesh - Pleurotus ostreatus , Pleurotus sajor-caju , Pleurotus florida and Calocybe indica», *Mycobiology*, vol. 36, n.º 4, pp. 228-232, 2008, doi: 10.4489/myco.2008.36.4.228.

[32] S. K. Jha y N. N. Tripathi, «Comparative nutritional potential of three dominant edible and medicinal macrofungi of Kathmandu valley, Nepal», *American Journal of Pharmathec Research*, vol. 2, n.º 3, pp. 1036-1042, 2012.

[33] R. M. R. Dulay, «Oudemansiella (Physalacriaceae) mushrooms: A status review on the distribution, cultivation, composition and bioactivity profile», *Stud. Fungi*, vol. 8, p. 13, 2023, doi: 10.48130/SIF-2023-0013.

[34] M. Kakoti *et al.*, «Nutritional Properties, Antioxidant and Antihaemolytic Activities of the Dry Fruiting Bodies of Wild Edible Mushrooms Consumed by Ethnic Communities of Northeast India», *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, vol. 71, n.º 4, pp. 463-480, 2021, doi: 10.31883/pjfns/144044.

[35] J. R. Rampinelli, M. L. L. Silveira, R. M. M. Gern, S. A. Furlan, J. L. Ninow, y E. Wisbeck, «Valor nutricional de Pleurotus djamor cultivado em palha de bananeira Nutritional value of Pleurotus djamor cultivated in banana straw», *Alimentos e Nutrição*, vol. 21, n.º 2, pp. 197-202, 2010.

[36] C. Capetillo Leala, L. Ancona Méndez, C. Sandoval Castro, y G. Cetz Zapata, «Chemical composition and amino acid profile of Pleurotus djamor and Pleurotus ostreatus cultivated in Mexico», *Acta Aliment.*, vol. 39, n.º 3, pp. 249-255, 2010, doi: 10.1556/AAlim.39.2010.3.1.

[37] Â. Fernandes, L. Barros, A. Martins, P. Herbert, y I. C. F. R. Ferreira, «Nutritional characterisation of Pleurotus ostreatus (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. produced using paper scraps as substrate», *Food Chem.*, vol. 169, pp. 396-400, 2015, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.08.027.

[38] A. Kumar, S. Ali, S. B. Lal, y M. P. Sinha, «Mycochemical screening and determination of nutritive potency and antioxidant activity of edible

macrofungi Dacryopinax Spathularia (Schwein) and Schizophyllum commune (Fries)», *Journal of Pharmaceutical Research World*, vol. 7, n.º 16, pp. 1311-1321, 2018, doi: 10.20959/wjpr201816-13240.

[39] S. M. Erinoso, O. F. Aduleye, K. O. Karigidi, E. S. Akintimehin, y D. O. Aworinde, «Nutritional, phytochemical, and anti-oxidant values of mushrooms from Ikale and Ilaje communities of Ondo State, Nigeria», *Coast Journal of the School of Science*, vol. 4, n.º 2, pp. 791-800, 2022.

[40] R. Vargas-Isla, R. E. Hanada, y N. K. Ishikawa, «Sawdust and fruit residues of Central Amazonian for Panus strigellus spawn's production», *Pesqui. Florest. Bras.*, vol. 32, n.º 70, pp. 7-11, 2012, doi: 10.4336/2012.pfb.32.70.07.

[41] R. Vargas-Isla, L. K. O. Yuyama, J. P. L. Aguiar, y N. K. Ishikawa, «Production of Panus strigellus spawn using the internal sheath of peach palm (Bactris gasipaes) as a substrate», *Interciencia*, vol. 38, n.º 10, pp. 733-736, 2013.

[42] N. Menolli Jr y G. Alves-Silva, «Lentinus concavus», The IUCN Red List of Threatened Species 2024. Accedido: 17 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://redlist.info/iucn/species_view/111605/?utm_source=chatgpt.com

[43] O. I. Sanuma *et al.*, *Cogumelos: Enciclopédia dos alimentos Yanomami (Sanöma)*. Sao Paulo, Brasil: Instituto Socioambiental (ISA), 2016. [En línea]. Disponible en: www.socioambiental.org

[44] A. M. Vasco-Palacios, S. C. Suaza, M. Castaño-Betancur, y A. E. Franco-Molano, «Conocimiento etnoecólogico de los hongos entre los indígenas Uitoto, Muinane y Andoke de la Amazonía Colombiana», *Acta Amazon.*, vol. 38, n.º 1, pp. 17-28, 2008, doi: 10.1590/S0044-59672008000100004.

[45] K. S. Vicente-Perez y M. C. Peñuela, *Funga comestible de las comunidades Kichwa del cantón Arajuno*. Tena, Ecuador: Universidad Regional Amazónica, 2022.

[46] S. D. Carreño-Ruiz, S. Cappello-García, R. Gaitán-Hernández, J. Cifuentes-Blanco, y E. Rosique-Gil, «Crecimiento de tres hongos comestibles tropicales en medios de cultivo y residuos agrícolas», *Rev. Mex. De Cienc. Agric.*, vol. 5, n.º 8, pp. 1447-1458, 2014, doi: 10.29312/remexca.v5i8.822.

[47] A. R. G. Machado, M. F. S. Teixeira, L. de Souza Kirsch, M. da C. L. Campelo, y I. M. de Aguiar Oliveira, «Nutritional value and proteases of Lentinus citrinus produced by solid state fermentation of lignocellulosic waste from tropical region», *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 23, n.º 5, pp. 621-627, 2016, doi: 10.1016/j.sjbs.2015.07.002.

[48] M. C. N. de Andrade, C. Sales-Campos, C. S. M. de Carvalho, L. B. de Aguiar, y M. T. de A. Minhoni, «Uso de resíduos madeireiros da Amazônia brasileira no

cultivo in vitro de Lentinus strigosus», *Revista Ambiência*, vol. 9, n.º 1, pp. 189-196, 2013, doi: 10.5777/ambiencia.2013.01.01nt.

[49] E. L. Zent, S. Zent, y T. Iturriaga, «Knowledge and use of fungi by a mycophilic society of the Venezuelan Amazon», *Econ. Bot.*, vol. 58, n.º 2, pp. 214-226, 2004, doi: 10.1663/0013-0001(2004)058[0214:KAUOFB]2.0.CO;2.

[50] P. Gamboa-Trujillo *et al.*, «Edible mushrooms of Ecuador: Consumption, myths and implications for conservation», *Ethnobotany Research and Applications*, vol. 18, pp. 1-15, 2019, doi: 10.32859/era.18.38.1-15.

[51] C. Dávila-Arenas, L. Sulca-Quispe, y M. Pavlich-Herrera, «Estudio etnomicológico de la micobiota comestible en dos comunidades nativas de la Cuenca Alto Madre de Dios, Reserva Biósfera del Manu», *Sagasteguiana*, vol. 1, n.º 1, pp. 121-130, 2013, [En línea]. Disponible en: https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REVSAGAS/article/view/1785%0A

Anexo 1. Hongos Silvestres Comestibles reportados por grupos étnicos en Sudamérica

Género	Especies HSC reportadas	Grupos étnicos/País	Referencias
Agaricus	*Agaricus* sp.	Hotï (Venezuela)	[49]
		Tucano-Alto rio Negro (Brasil)	[41]
Amauroderma	*Amauroderma* cf. *omphalodes* (Berk.) Torrend	Hotï (Venezuela)	[49]
Auricularia	*Auricularia cornea* Ehrenb	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[50]
Auricularia	*Auricularia delicata* (Mont.) Henn.	Hotï (Venezuela)	[49]
		Kichwas de la Amazonia, Secoyas, Shiwiar, Shuar	[50]
		Sionas, Zaparas (Ecuador)	
Auricularia	*Auricularia fuscosuccinea* (Mont.) Henn.	Cofanes, Kichwas de la Amazonia, Secoyas, Shiwiar, Shuar, Sionas (Ecuador)	[50]
		Txicão, Txucarramãe (Brasil)	[41]
		Uitoto, Muinane y Andoke (Colombia)	[44]
Auricularia	*Auricularia polytricha* (Mont.) Sacc.	Hotï (Venezuela)	[49]
Bresadolia	*Bresadolia paradoxa* Speg.	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[45]
Clavulinopsis	*Clavulinopsis fusiformis* (Sowerby) Corner	Shiwiar, Shuar (Ecuador)	[50]
Collybia	*Collybia cf.hirtella* (Berk. & Broome) Dennis	Shuar (Ecuador)	[50]
Collybia	Collybia pseudocalopus (Henn.) Singer	Yanomami (Brasil)	[41]
Collybia	*Collybia subpruinosa* (Murrill) Dennis	Yanomami (Brasil)	[41]
Cookeina	*Cookeina speciosa* (Fr.) Dennis.	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[45]
Coriolopsis	*Coriolopsis caperata* (Berk.) Murrill	Hotï (Venezuela)	[49]
Coriolopsis	Coriolopsis floccosa (Jungh.) Ryvarden	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[50]
Cotylidia	*Cotylidia aurantiaca* (Pat.) A.L. Welden	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[50]
		Shiwiar, Shuar (Ecuador)	

Género	Especies HSC reportadas	Grupos étnicos/País	Referencias
Dacryopinax	*Dacryopinax spathularia* (Schwein.) G.W. Martin	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[50]
Daedalea	*Daedalea flavida* Lév.	Hotï (Venezuela)	[49]
Echinochaete	*Echinochaete brachypora* (Mont.) Ryvarden	Yanomami (Brasil)	[41]
Favolus	*Favolus tenuiculus* P.Beauv.	Hotï (Venezuela), Matsiguenka (Perú), Kichwas de la Amazonia (Ecuador), Secoyas, Shiwiar, Shuar, Sionas, Zaparas (Ecuador)	[49]
		Yanomami (Brasil)	[50]
			[45]
			[51]
			[41]
Fistulina	*Fistulina* sp.	Tucano -Alto rio Negro (Brasil)	[41]
Gloeoporus	*Gloeoporus thelephoroides* (Hook.) G. Cunn.	Nambiquara-Mato Grosso (Brasil)	[41]
Gymnopilus	*Gymnopilus cf. lepidotus* Hesler	Zaparas (Ecuador)	[50]
Gymnopilus	*Gymnopilus earlei* Murrill	Yanomami (Brasil)	[41]
Gymnopilus	*Gymnopilus hispidellus* Murrill	Yanomami (Brasil)	[41]
Gymnopilus	*Gymnopilus lepidotus* Hesler	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[50]
Hydnopolyporus	*Hydnopolyporus palmatus* (Hook.) O. Fidalgo	Yanomami (Brasil)	[41]
Hygrocybe	*Hygrocybe* sp	Kichwas de la Amazonia	[50]
Lactocollybia	*Lactocollybia aequatorialis* Singer	Yanomami (Brasil)	[41]
Lentinula	*Lentinula raphanica* (Murrill) Mata & R.H. Petersen	Uitoto, Muinane y Andoke (Caquetá)	[44]
Lentinus	*Lentinus concavus* (Berk.)	Kichwas de la Amazonia, Zaparas (Ecuador)	[45]
		Matsiguenka (Perú)	[50]
		Yanomami (Brasil)	[51]
			[41]
Lentinus	*Lentinus crinitus* (L.) Fr.	Hotï (Venezuela)	[49]

Género	Especies HSC reportadas	Grupos étnicos/País	Referencias
		Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[45]
		Txicão (Brasil)	[41]
		Uitoto, Muinaneye Andoke (Colombia)	[44]
Lentinus	*Lentinus glabratus* Mont.	Yanomami (Brasil)	[41]
Lentinus	*Lentinus sajor-caju* (Fr.) Fr.	Cofanes, Kichwas de la Amazonia, Shiwiar, Shuar (Ecuador)	[50]
Lentinus	*Lentinus scleropus* (Pers.) Fr.	Uitoto, Muinane y Andoke (Colombia)	
Lepiota	*Lepiota cheimonoceps* (Berk. & M.A.Curt.) Sacc.	Yanomami (Brasil)	[41]
Leucocoprinus	*Leucocoprinus* sp.	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[50]
Lycoperdon	*Lycoperdon pyriforme* Schaeff.	Zaparas (Ecuador)	[50]
Macrocybe	*Macrocybe titans* (H.E. Igelow & Kimbr.) Pegler, Lodge &-Nakasone	Hotï (Venezuela)	[49]
Marasmiellus	*Marasmiellus* cf. *albidus* (Murrill) Singer	Secoyas (Ecuador)	[50]
Marasmiellus	*Marasmiellus* sp. 1	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[50]
Marasmius	*Marasmius cladophyllus* Berk	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[50]
Mycena	*Mycena* spp.	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[50]
Neoclitocybe	*Neoclitocybe byssiseda* (Bres.) Sing.	Yanomami (Brasil)	[41]
Ophiocordyceps	*Ophiocordyceps melolonthae* (Tul. & C. Tul.) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones & Stapafora	Kichwas de la Amazonia, Shuar (Ecuador)	[50]
Oudemansiella	*Oudemansiella canarii* (Jungh.) Höhn	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[45]
		Matsiguenka (Perú)	[51]
Oudemansiella	*Oudemansiella cubensis* (Berk. & M.A. Curtis) R.H. Petersen	Kichwas de la Amazonia, Secoyas, Sionas, Zaparas (Ecuador)	[50]
Panus	*Panus badius* Berk.1842	Matsiguenka (Perú)	[51]
Panus		Uitoto, Muinane y Andoke (Colombia)	[44]

Género	Especies HSC reportadas	Grupos étnicos/País	Referencias
	Panus lecomtei (Fr.) Corner	Yanomami (Brasil)	
Panus	*Panus strigellus* Berk.	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[45]
Panus	*Panus velutinus* (Fr.) Sacc.	Yanomami (Brasil)	[41]
Phellinus	*Phellinus gilvus* (Schwein.) Pat. Aya	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[50]
Pholiota	*Pholiota bicolor* (Speg.) Singer	Yanomami (Brasil)	[41]
Pleurotus	*Pleurotus djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn	Matsiguenka (Perú)	[51]
		Secoyas, Sionas, Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[50]
Pleurotus	*Pleurotus ostreatus* sensu Stevenson	Matsiguenka (Perú)	[51]
Polyporus	*Polyporus alveolaris* (DC.) Bondartsev. & Sin	Yanomami (Brasil)	[41]
Polyporus	*Polyporus aquosus* Henn.	Yanomami (Brasil)	[41]
Polyporus	*Polyporus pes-simiae* Berk.	Nambiquara (Brasil)	[41]
Polyporus	*Polyporus sapurema* Möller	Nambiquara (Brasil)	[41]
Polyporus	*Polyporus tricholoma* Berk. & Cooke	Kichwas de la Amazonia, Shuar (Ecuador)	[45]
		Yanomami (Brasil)	[50]
			[41]
Pycnoporus	*Pycnoporus sanguineus* (L.) Murrill	Hotï (Venezuela)	[49]
		Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[45]
		Txucarramãe (Brasil)	[41]
Schizophyllum	*Schizophyllum commune* Fr.	Kichwas de la Amazonia (Ecuador)	[45]
		Matsiguenka (Perú)	[50]
		Sionas (Ecuador)	[51]
Thamnomyces	*Thamnomyces chordalis* Fr.	Hotï (Venezuela)	[49]
Trametes	*Trametes cubensis* (Mont.) Sacc.	Txucarramãe (Brasil)	[41]
Trametes	*Trametes ochracea* (Pers.) Gilb. & Ryvarden	Yanomami (Brasil)	[41]

Género	Especies HSC reportadas	Grupos étnicos/País	Referencias
Trichaptum	*Trichaptum trichomallum* (Berk. & Mont.) Murrill	Txucarramãe (Brasil)	[41]

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.

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].

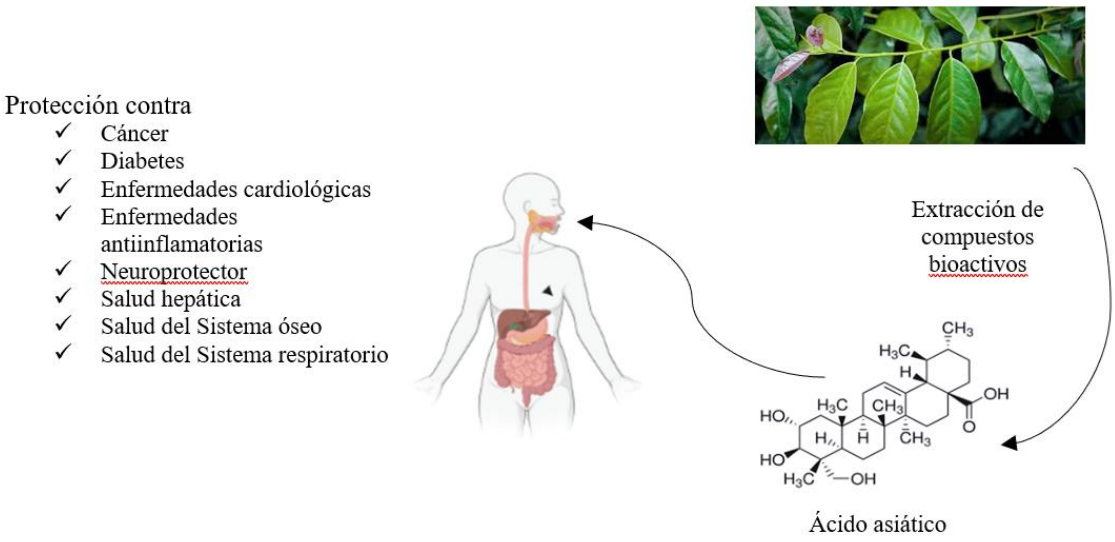


Figura 2. Planta como fuente de compuestos bioactivos, estructura química del ácido asiático y los beneficios para la salud.

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.

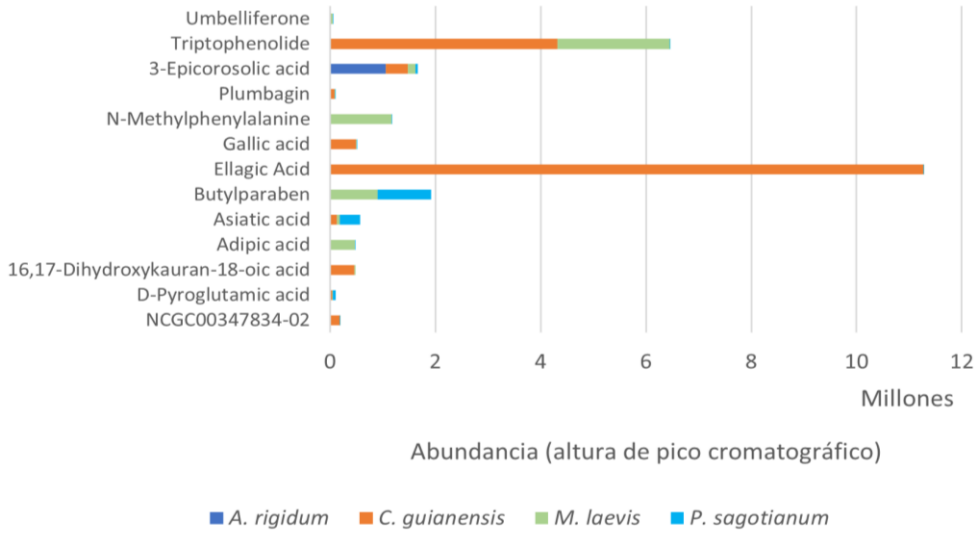


Figura 3. Abundancia relativa (con base en altura de pico cromatográfico) de los metabolitos presentes en extracto acuoso liofilizado de corteza de tallo de plantas usadas en preparados medicinales para el tratamiento de COVID-19.

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.

Integración de tradición y tecnología en la elaboración de un jarabe tradicional en Arajuno, Pastaza, Ecuador

Integrating tradition and technology in the production of a traditional syrup in Arajuno, Pastaza, Ecuador

Jair Barrionuevo[1]; Zulay M. Niño-Ruiz[2*]; Carlos Navas[3]; Jefferson V. Pastuña F.[4]; Noroska Gabriela Salazar Mogollón[5,6]

[1] Máster en Biotecnología y Bioingeniería Vegetal, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. ROR: https://ror.org/03n6nwv02
[2] Biomass to Resources Group, Universidad Regional Amazónica Ikiam Km 7, vía Tena - Muyuna, Napo, Ecuador. ROR: https://ror.org/05xedqd83
[3] Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga-Cotopaxi, Ecuador. ROR: https://ror.org/05j136930
[4] Department of Nutritional Sciences, College of Natural Sciences, The University of Texas at Austin, Austin, TX 78712, USA. ROR: https://ror.org/00hj54h04
[5] Biomolecules Discovery Group, Universidad Regional Amazónica Ikiam Km 7, vía Tena - Muyuna, Napo, Ecuador. ROR: https://ror.org/05xedqd83
[6] *Laboratorio de Productos Naturales Ikiam, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Av. Muyuna Km 7, Tena, Ecuador*. ROR: https://ror.org/05xedqd83

✉ jairojair.barrionuevo@alumnos.upm.es | ORCID: https://orcid.org/0009-0000-3983-7658
✉ zulay.nino@ikiam.edu.ec | ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2512-7548
✉ canavas3@espe.edu.ec | ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3053-966X
✉ 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
E-mail de correspondencia: zulay.nino@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 completa
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
Barrionuevo, J; Niño-Ruiz, Z.; Navas, C.; Pastuña F, J.V.; Salazar Mogollón, N.G. (2026). Integración de tradición y tecnología en la elaboración de un jarabe tradicional en 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. IV, e4). Editorial Unión Científica.
https://doi.org/10.63804/gb.v2i3.e4

Resumen

Las comunidades del cantón Arajuno sustentan su economía en el sistema agroforestal tradicional denominado *chakra*, el cual desempeñó un papel relevante como fuente de alimentos y plantas medicinales durante la pandemia de COVID-19. En ese contexto, se retomó y adaptó una formulación tradicional de jarabe a base de plantas nativas, empleada localmente para el tratamiento de afecciones respiratorias. El estudio tuvo como objetivo documentar su composición botánica y diseñar un proceso productivo técnicamente estandarizado que mejorara las condiciones de higiene, control y reproducibilidad, sin desvincularlo de su base tradicional. Se desarrolló un estudio etnobotánico y experimental en tres comunidades del cantón Arajuno (Shiwa Kucha, Chuyayaku y Nushinu Ishpinku), que incluyó entrevistas a conocedores locales y personas mayores con experiencia en medicina tradicional, identificación botánica de las especies empleadas y ensayos de extracción y formulación. Se registraron nueve especies utilizadas en la preparación del jarabe: *Monteverdia laevis*, *Myroxylon balsamum*, *Protium sagotianum*, *Couroupita guianensis*, *Aspidosperma* sp., *Mansoa alliacea*, *Piper* sp., *Cymbopogon citratus* y *Ocotea quixos*. El proceso productivo fue organizado en etapas básicas de limpieza, extracción térmica, filtración y envasado, permitiendo estandarizar proporciones y condiciones de elaboración en volúmenes piloto ampliados. El producto final mostró estabilidad física y microbiológica durante 12 meses de almacenamiento, así como actividad antioxidante asociada a su composición fitoquímica. Este estudio no evalúa eficacia

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

clínica frente al SARS-CoV-2 ni plantea el jarabe como tratamiento curativo, sino que documenta y optimiza una práctica tradicional utilizada durante la emergencia sanitaria. Los resultados evidencian la posibilidad de articular conocimientos locales con criterios técnicos de control de calidad, contribuyendo a la valorización del patrimonio biocultural amazónico y al fortalecimiento de iniciativas comunitarias de producción.

Palabras clave: *chakra*; jarabes medicinales; enfermedades respiratorias; plantas medicinales.

Abstract

Communities in Arajuno Canton base much of their economy on the traditional agroforestry system known as the *chakra*, which played an important role as a source of food and medicinal plants during the COVID-19 pandemic. Within this context, a traditional syrup formulation prepared from native plant species and locally used to manage respiratory conditions was recovered and adapted. The objective of this study was to document its botanical composition and design a technically standardized production process that improved hygiene, process control, and reproducibility while preserving its traditional foundation. An ethnobotanical and experimental study was conducted in three communities of Arajuno Canton (Shiwa Kucha, Chuyayaku, and Nushinu Ishpinku). The study included interviews with local knowledge holders and older adults experienced in traditional medicine, botanical identification of the plant species used, and extraction and formulation trials. Nine species were recorded as ingredients in the syrup: *Monteverdia laevis*, *Myroxylon balsamum*, *Protium sagotianum*, *Couroupita guianensis*, *Aspidosperma* sp., *Mansoa alliacea*, *Piper* sp., *Cymbopogon citratus*, and *Ocotea quixos*. The production process was organized into basic stages involving cleaning, thermal extraction, filtration, and packaging. This approach enabled the standardization of ingredient proportions and processing conditions at an expanded pilot scale. The final product exhibited physical and microbiological stability over 12 months of storage, as well as antioxidant activity associated with its phytochemical composition. This study did not assess clinical efficacy against SARS-CoV-2 and does not propose the syrup as a curative treatment. Rather, it documents and optimizes a traditional practice used during the public health emergency. The findings demonstrate the feasibility

of integrating local knowledge with technical quality-control criteria, thereby contributing to the recognition of Amazonian biocultural heritage and the strengthening of community-based production initiatives.

Keywords: *chakra*; medicinal syrups; medicinal plants; respiratory diseases.

Introducción

A comienzos de 2020, el mundo se paralizó por la emergencia global impulsada por el virus SARS-CoV-2, agente causante de la enfermedad COVID-19 [1]. Esta infección se caracteriza por afectar principalmente el sistema respiratorio, acompañado de síntomas como tos persistente, fiebre, dolor muscular, pérdida del olfato, además de inflamación de las vías aéreas, neumonía y, en los casos más severos, síndrome de distrés respiratorio agudo [2]. El daño pulmonar se potencia por una respuesta inmunitaria exaltada, donde ocurre una tormenta de citocinas que contribuyen a la inflamación alveolar, edema y disfunción del intercambio gaseoso [3]. En la autopsia de pacientes con COVID-19 grave se observó destrucción difusa del epitelio alveolar, infiltración inflamatoria y microtrombosis vascular, lo cual agrava la insuficiencia respiratoria [4].

Frente a este contexto, los hábitos sociales, culturales y sanitarios de la población mundial se transformaron de manera profunda, lo que obligó a la adopción de nuevas prácticas de vida, higiene y distanciamiento social para contener la propagación del virus [5]. En el caso del cantón Arajuno, provincia de Pastaza, al igual que en otras comunidades indígenas amazónicas se documentaron brotes significativos de SARS-CoV-2, con tasas de ataque que oscilaron entre 30 % y 90 % y una positividad global cercana al 49 %, lo que pone de manifiesto la alta transmisión en territorios rurales y aislados [6], [7]. Estos estudios evidencian que las poblaciones indígenas amazónicas se encontraban en situación de alta vulnerabilidad indígena, donde la aparente baja incidencia registrada en algunos territorios podría indicar limitaciones en la capacidad diagnóstica y posible subregistro de casos, más que una menor circulación del virus [6].

Desde tiempos ancestrales, las comunidades del cantón Arajuno, en la provincia de Pastaza, han desarrollado un modelo de producción sustentable basado en el sistema agropastoril denominado *chakra* [8]. Este sistema tradicional, que combina agricultura, recolección y manejo forestal, había perdido protagonismo frente a los modelos agrícolas convencionales [9]. Sin embargo, la pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2 impulsó su reactivación, ya que muchas familias recurrieron nuevamente a sus *chakras* como fuente de alimentos, medicinas naturales y bienestar integral [10].

La *chakra* se concibe como un espacio productivo integral, ubicado dentro de una propiedad o parcela familiar, donde se cultivan diversas especies de forma orgánica y sostenible, respetando el equilibrio entre naturaleza y cultura [8]. Este sistema representa un modelo agroecológico ancestral en el que confluyen especies maderables, frutales, comestibles, medicinales, ornamentales e incluso fauna silvestre y doméstica, en un entorno biodiverso y simbólicamente cargado de significados [11].

El manejo de la *chakra* recae principalmente en las *chakramamas*, mujeres conocedoras de los ciclos naturales y de la medicina tradicional y que son responsables de la siembra, el manejo de cultivos, la distribución de las cosechas y el uso racional de los recursos naturales, especialmente de las plantas medicinales [9], [12]. Su conocimiento, transmitido oralmente de generación en generación, constituye un pilar fundamental de la identidad cultural y la salud comunitaria amazónica [13].

En el contexto de la pandemia, las *chakramamas* elaboraron diversos remedios naturales basados en especies locales [14], [15]. Estas plantas, ampliamente valoradas por sus propiedades antivirales, antiinflamatorias y expectorantes, fueron utilizadas en la preparación de jarabes y brebajes medicinales destinados al tratamiento de afecciones respiratorias y cardiovasculares asociadas a la COVID-19 [16].

Las prácticas de preparación de estos jarabes varían según la experiencia y tradición familiar y generalmente, se emplean diversas partes de las plantas (corteza, flores, hojas o raíces) mediante dos métodos principales: cocción o infusión, y maceración

alcohólica [17], [18]. En el primer caso, la parte vegetal seleccionada se hierve en agua por un tiempo determinado, se deja reposar y posteriormente se consume, mientras que, en el segundo, los tejidos vegetales se sumergen en alcohol etílico durante al menos diez días, con el fin de extraer sus principios activos de manera natural [19]. Tanto las cantidades de materia prima como los tiempos de preparación dependen del criterio del shamán o curandero, y reflejan la adaptación empírica de cada familia a su entorno ecológico [20].

En este capítulo se presentan los resultados de una investigación desarrollada en el cantón Arajuno, cuyo objetivo fue estandarizar el proceso de preparación del jarabe anti-COVID y diseñar una propuesta de producción artesanal semiindustrial a partir de plantas medicinales amazónicas de mayor uso tradicional: *chuchuhuaso*, bálsamo, *animi*, *lispungo*, *challua caspi*, ajo de monte, matico, hierbaluisa e *ishpingo*. Asimismo, se incluyen los resultados del análisis bibliográfico y fitoquímico de cada una de estas especies, con el fin de sustentar científicamente su potencial terapéutico y promover su aprovechamiento responsable en el marco de la medicina intercultural amazónica.

Metodología

Expedición a las comunidades del cantón Arajuno

Como parte inicial de la investigación, se realizó una visita a tres comunidades del cantón Arajuno, las mismas que fueron seleccionadas según su ubicación geográfica en tres zonas alejadas entre sí (Figura 1). Las comunidades estudiadas fueron: Shiwa Kucha, Chuya Yaku y Nushino Ishpingo, ubicadas en el cantón Arajuno (Tabla 1). La visita fue acompañada por un grupo de botánicos para la identificación de las plantas medicinales.

Además, se realizaron entrevistas con los samanes de cada comunidad sobre las plantas medicinales utilizadas para tratar varias enfermedades. Finalmente, se realizaron ensayos, tanto de forma casera como a escala de laboratorio, sobre la preparación artesanal del jarabe tradicional a fin de estandarizar la metodología de obtención del producto deseado.

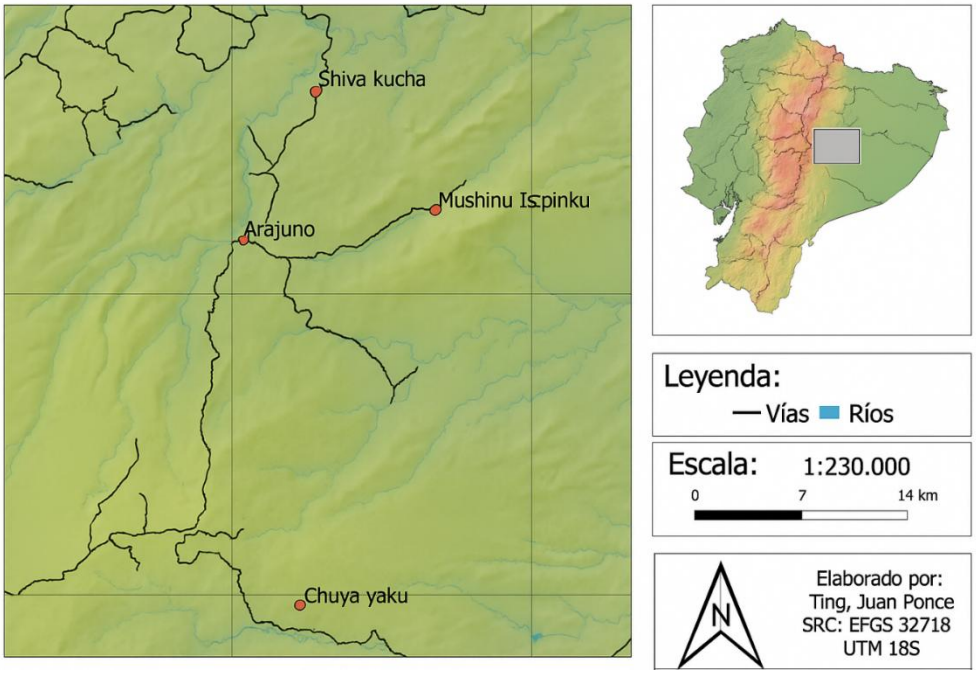


Figura 1. Comunidades kichwas visitadas (Elaborado por Juan Ponce).

Tabla 1. Localización geográfica y altitud de las comunidades de estudio

Comunidad	*Altitud (m)*	*Coordenadas*
Shiwa Kucha	*478*	*1°08'22.89"S, 77°38'17.03"W*
Chuya Yaku	*495*	*1°28'04.24"S; 77°39'24.69"W*
Nushino Ishpingo	*431*	*1°50'49"S; 78°34'16"W*

Búsqueda de fuentes bibliográficas sobre plantas medicinales y sus compuestos químicos

En esta investigación etnofarmacológica se prestó especial atención a los métodos de elaboración de remedios con base en plantas usadas dentro de la comunidad, que, de acuerdo con lo mencionado por los shamanes de la comunidad, tienen la propiedad de combatir enfermedades cardiorrespiratorias, como la provocada por el virus COVID-19. Se utilizaron varias bases de datos (Scopus [https://www.scopus.com/sources], Web of Science [https://clarivate.com/academia-government/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-referencing/web-of-science/], Latindex [https://www.latindex.org/latindex/bAvanzada] y Scielo [https://search.scielo.org/]) para confirmar la información entregada por los shamanes de las comunidades. Entre estas, se usó la información científica disponible en el National Center for

Biotechnology Information (NCBI), incluyendo artículos de Hindawi, PubMed, PudMed-Central, Google scholar, ScienceDirect y SciELO. Se utilizaron las siguiente palabras claves en inglés: Amazonía, antiviral, efecto antinflamatorio, enfermedad, metabolitos secundarios y planta medicinal. Finalmente, se seleccionaron las referencias que el artículo principal cita para identificar estudios relevantes relacionados a este trabajo. Para la verificación de los nombres científicos y la familia de plantas se usó la base de datos Trópicos, disponible en el siguiente enlace: https://www.tropicos.org/home.

Estandarización del jarabe tradicional artesanal

Para la estandarización de la receta del jarabe "anti-covid" se usaron los datos obtenidos en las encuestas a los shamanes de las comunidades y se seleccionaron las plantas con base en tres criterios: 1) frecuencia de utilización de la planta, para lo cual se consideró primero aquellas empleadas en las tres comunidades; 2) disponibilidad de la planta medicinal cerca de la *chakra*; y, 3) información disponible sobre los metabolitos secundarios de las plantas medicinales disponible en la literatura científica. Las cantidades y concentraciones estandarizadas para la preparación de la bebida medicinal fueron obtenidas a partir del promedio de lo utilizado por los shamanes de las tres comunidades visitadas al momento de hacer la preparación.

Balance de masa del proceso para la elaboración del jarabe tradicional

Para la realización del balance de masa, se seleccionó una base de cálculo de 100 L de jarabe tradicional. Se aplicó la Ley de Conservación de la Materia para contabilizar los flujos de entrada y salida del proceso y se consideró un sistema abierto y estacionario, sin acumulación [21].

Resultados y discusión

La información presentada a continuación está basada en entrevistas realizadas a los informantes claves, reforzada y sustentada con literatura científica.

Plantas utilizadas en la preparación de jarabes medicinales en las comunidades estudiadas

En la Tabla 2 se muestran las plantas utilizadas en cada comunidad para la preparación del jarabe con potencial uso terapéutico. En la comunidad de Nushiño Ishpingo, se obtuvo la información de dos recetas medicinales, una compuesta por las plantas animi y anís; y, otra por las plantas challua caspi, animi, chuchuguaza y bálsamo. Por otra parte, es preciso mencionar que la comunidad de Nushiño Ishpingo se caracterizó por usar solo cortezas de tallos, mientras que en las otras dos comunidades se usan en conjunto tanto cortezas de tallos como hojas. En general, la estructura morfológica de la planta más usada, en las tres comunidades, fueron cortezas de tallos. Las plantas de las cuales se usaron sus hojas fueron mático, hierbaluisa e ishpingo.

Tabla 2. Plantas medicinales usadas para el tratamiento del COVID-19 en las comunidades del cantón Arajuno.

N°	Especie de planta	Chuya Yaku	Shiwa Kucha	Nushiño Ishpingo
1	Challua Caspi (*Aspidosperma* sp.)	X	X	X
2	Lispungu o Sacha Mati Muyu (*Couroupita guianensis*)	X	X	-
3	Matico (*Piper* sp.)	X	X	-
4	Zaragoza (*Aristolochia* sp.)	X	-	-
5	Chuchuguaza (*Monteverdia laevis*)	-	X	X
6	Hierbaluisa (*Cymbopogon citratus*)	X	-	-
7	Animi (*Protium sagotianum*)	-	X	X
8	Isturaki o Bálsamo (*Myroxylon balsamum*)	X	-	X
9	Runa Caspi (*Sloanea synandra*)	X	-	-
10	Musuwuaska (*Tynanthus panurensis*)	-	X	-
11	Anís	-	-	X
12	Intiangu	X	-	-
13	Ishpingo (*Ocotea quixos*)	-	X	-

El símbolo "X" indica el uso de la especie en la comunidad. " -" indica que la especie no fue usada.

Al comparar los componentes de las recetas de las tres comunidades, se evidenció que algunas plantas son utilizadas en dos zonas, mientras que otras solo se utilizan para una comunidad en específico. Sin embargo, se ha logrado identificar que la challua caspi (*Aspidosperma* sp.) es la única planta utilizada en las tres comunidades, por lo que ha sido también considerada para la elaboración artesanal a escala semi-industrial del brebaje terapéutico.

Elaboración artesanal del jarabe tradicional en las tres comunidades visitadas del cantón Arajuno

La preparación del jarabe se realizó con el propósito de obtener 1,5 litros de producto final (Tablas 3-5). Para ello, en primer lugar, se encendió la leña con la antelación necesaria para disponer de un fuego constante al momento de iniciar la cocción, luego, las cortezas y hojas obtenidas de las plantas medicinales fueron pesadas en una balanza y lavadas cuidadosamente con agua limpia durante un tiempo aproximado de tres a cinco minutos, mientras se raspaban con un cuchillo para retirar la suciedad superficial y otras impurezas.

En una olla de cinco litros se colocaron tres litros de agua, cuya temperatura se controló con un termómetro hasta alcanzar la ebullición, mantenida durante diez minutos. Luego se incorporaron las cortezas y se cocieron por 45 minutos. Finalmente, se añadieron las hojas de matico e ishpingo y se prolongó la cocción durante quince minutos, hasta completar una hora de procesamiento.

Concluida la cocción, la mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente durante treinta minutos. Finalmente, se filtró el preparado para eliminar los residuos vegetales y se almacenó en un recipiente metálico limpio, conservándolo hasta su uso posterior.

Tabla 3. Plantas medicinales utilizadas y tejidos empleados en la preparación artesanal del jarabe tradiconal en la comunidad de Shiwa Kucha del cantón Arajuno

Nombre de la planta	Tejido vegetal usado	Cantidad usada (g)
Chuchuhuazo (*Monteverdia laevis*)	 Corteza	113
Challua Caspi (*Aspidosperma* sp.)	 Corteza	92

Nombre de la planta	Tejido vegetal usado	Cantidad usada (g)
Llustunda o Lispungo (*Couroupita guianensis*)	 Corteza	163
Musuwuaska (*Tynanthus panurensis*)	 Corteza	25
Animi (*Protium sagotianum*)	 Corteza	110
Ishpingo (*Ocotea quixos*)	 Hoja [1]	10
Matico (*Piper* sp.)	 Hoja [2]	6

[1] https://www.plantas.ec/product/ishps/
[2] https://costarica.inaturalist.org/taxa/538239-Piper-gaudichaudianum

En la comunidad de Chuya Yaku las plantas usadas se muestran en la Tabla 4. La preparación del extracto se realizó con el propósito de obtener 5 L de jarabe tradicional. Las cantidades correspondientes de cada tejido vegetal fueron pesadas en una balanza comercial con precisión adecuada. Posteriormente, las cortezas se lavaron cuidadosamente y se eliminaron las impurezas superficiales mediante raspado con un cuchillo estéril.

En una olla metálica con capacidad de 20 L se añadieron 10 L de agua, registrándose la temperatura inicial del líquido. A continuación, la mezcla se sometió a ebullición

sobre fuego de leña durante 16 minutos, hasta observar una reducción del volumen por efecto de la evaporación. Luego, se incorporaron 4 L adicionales de agua y se continuó la ebullición durante 141 minutos.

Finalizado el proceso de cocción, la mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente dentro del mismo recipiente y posteriormente se filtró utilizando un tamiz de malla fina hacia un contenedor plástico estéril para su almacenamiento.

Tabla 4. Plantas medicinales utilizadas y tejidos empleados en la preparación artesanal del jarabe tradicional en la comunidad de Chuya Yaku del cantón Arajuno.

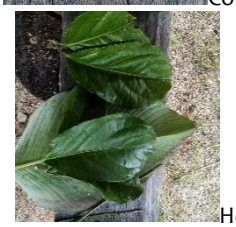
Nombre de la planta	Tejido vegetal usado	Cantidad (g)
Bálsamo *Myroxylon balsamum*	 Corteza	221
Hierba luisa *Cymbopogon citratus*	 Hoja [1]	78
Llustunda o Lispungo *Couroupita guianensis*	 Corteza	882
Matico (*Piper* sp.)	 Hoja [2]	13
Challua Caspi *Aspidosperma* sp.	 Corteza	280
Runa Caspi *Sloanea synandra*	 Corteza	52

[1] https://www.infobae.com/america/mexico/2022/11/01/cuales-son-los-beneficios-de-tomar-te-de-limon-segun-expertos/

[2] https://costarica.inaturalist.org/taxa/538239-Piper-gaudichaudianum

Finalmente, en la Tabla 5 se muestran las especies de plantas usadas en la comunidad de Nushino Ishpingo para la elaboración del jarabe. La masa de cada tejido vegetal empleado fue determinada utilizando una balanza comercial debidamente calibrada. Posteriormente, las cortezas y hojas se lavaron durante 5 minutos con un cepillo de cerdas plásticas para retirar residuos superficiales. En una olla metálica de 20 L se colocaron 9 L de agua y se registró su temperatura inicial. Los tejidos vegetales se cocinaron a fuego de leña durante 71 minutos. Finalmente, el jarabe se enfrió a temperatura ambiente en la misma olla y se filtró en un recipiente metálico limpio para su posterior almacenamiento.

Tabla 5. Plantas medicinales utilizadas y tejidos empleados en la preparación artesanal del jarabe tradicional en la comunidad de Nushino Ishpingo del cantón Arajuno.

Nombre de la planta	Tejido vegetal usado	Cantidad (g)
Chuchuhuazo (*Monteverdia laevis*)	 Corteza	170
Bálsamo (*Myroxylon balsamum*)	 Corteza	293
Animi (*Protium sagotianum*)	 Corteza	109
Anís de monte *(No identificada)*	 Corteza	52
Ajo de monte (*Mansoa alliacea*)	 Hojas	23

Nombre de la planta	Tejido vegetal usado	Cantidad (g)
Challua Caspi (*Aspidosperma* sp.)	 Corteza	280

A continuación, se describen las plantas utilizadas en las diferentes comunidades:

Aspidosperma sp. (APOCYNACEAE)

Esta especie es conocida en las tres comunidades como *Challua Caspi*, aunque también es conocida como *Challua Caspicara* en la comunidad Shiwa Kucha. De acuerdo con la descripción etnobotánica, su nombre común se atribuye al parecido del tallo con las escamas de un pez del lugar. Esta planta es un árbol de entre 15 a 20 m de altura, con tallo de crecimiento cilíndrico y recto, caracterizado por tener hojas alargadas, semejantes a las hojas del cedro.

En las tres comunidades estudiadas, se usó corteza del tallo (Figura 2). La corteza de esta planta, además de ser un ingrediente de las medicinas ancestrales contra el COVID-19, se utiliza para tratar otras enfermedades, como la diarrea, diabetes, gastritis y paludismo. El shamán Héctor López, de la comunidad Nushiño Ishpingo, mencionó que, el extracto de esta planta es muy agrio y podría combatir directamente al virus del COVID-19 (SARS-CoV-2), ya que se utiliza de manera común para tratar enfermedades respiratorias. Este tipo de uso también ha sido reportado por los shamanes de otras comunidades, lo que sugiere que su aplicación forma parte del conocimiento ancestral compartido en el cantón Arajuno.



Figura 2. Corteza de Challua Caspi (Aspidosperma sp.) (Muestra suministrada por el shamán Edgar Vargas, de la comunidad Chuya Yacu. Foto por: Jefferson Pastuña).

Protium sagotianum (Marchand) (BURSERACEAE)

La planta conocida localmente como *animi* ocupa un lugar destacado en el acervo botánico tradicional de las comunidades Shiwa Kucha y Nushiño Ishpingo. Los shamanes y portadores de conocimiento ancestral la identifican como un árbol de porte imponente, cuyas hojas son parecidas a las del cedro, aunque de menor tamaño. Su corteza, de textura rugosa, desprende un aroma penetrante y refrescante, comparable al de la menta o el mentol, rasgo que facilita su reconocimiento en el entorno selvático.

En la cosmovisión medicinal de estas comunidades, la corteza del *animi* ha sido tradicionalmente empleada para aliviar dolores abdominales y corporales, siendo también valorada por sus propiedades frente enfermedades respiratorias. Durante la reciente pandemia, los shamanes recurrieron nuevamente a este conocimiento

ancestral para combatir los síntomas asociados al COVID-19, reafirmando su importancia dentro de la medicina tradicional amazónica.

En la Figura 3 se presenta una fotografía de la corteza de la planta *animi*, la cual constituye un testimonio visual de este valioso saber etnobotánico.



Figura 3. Corteza de animi (P. sagotianum) (Muestra suministrada por el shamán Remigio Andi de la comunidad Shiwa Kucha). Foto por: Jefferson Pastuña.

Monteverdia laevis (Reissek) Biral (CELASTRACEAE)

Esta planta, comúnmente conocida como chuchuguaso, ocupa un lugar relevante dentro del conocimiento medicinal ancestral de las comunidades amazónicas. En la comunidad Nushiño Ishpingo, esta especie también recibe el nombre de *Curi Caspicara*, que alude al tono amarillento de la corteza del tallo, un rasgo distintivo que facilita su reconocimiento. Al desprender la corteza, se muestra un color rojo característico, empleado por los shamanes como otro indicador de identificación.

En la comunidad Shiwa Kucha, los shamanes y *chakra*mamas reconocen esta planta por el sabor amargo intenso de su savia, lo que es considerado un signo de su fuerza curativa. Según los conocimientos transmitidos por generaciones, en ambas comunidades se distinguen dos tipos de *M. laevis*: uno de corteza gruesa, identificado como la planta macho, y otro de corteza delgada, conocido como la planta hembra. Para la elaboración de los preparados medicinales tradicionales, se prefiere el uso de la corteza de la planta macho, a la cual se le atribuyen mayores propiedades terapéuticas.

Tradicionalmente, el chuchuguaso ha sido empleada en el tratamiento de cólicos, diarreas, dolores estomacales y corporales, así como en rituales de purificación de la sangre. En tiempos recientes, este saber ancestral ha cobrado nuevo valor al ser utilizada también como recurso complementario frente a los síntomas asociados al COVID-19, reafirmando su importancia en la medicina tradicional amazónica.

En la Figura 4 se presenta una fotografía de la corteza de chuchuguaza, la cual constituye un testimonio visual del conocimiento etnobotánico conservado por las comunidades Shiwa Kucha y Nushiño Ishpingo.



Figura 4. Corteza de chuchuguazo (M. laevis) (Muestra suministrada por el shamán Remigio Andi de la comunidad Shiwa Kucha. Foto por Jefferson Pastuña).

Couroupita guianensis Aubl. (LECYTHIDACEAE)

En la comunidad Chuya Yacu, esta especie es conocida con los nombres de *Lispungu* o *Sacha Mati Muyu*, mientras que en la comunidad Shiwa Kucha recibe la denominación de *Llustunda*. Esta planta es ampliamente reconocida por los shamanes de ambas comunidades y puede ser reconocida por su tallo cubierto de frutos redondos y de gran tamaño que se observan desde etapas tempranas de crecimiento y que persiste hasta los estados maduros. A diferencia de otros árboles amazónicos, esta especie no suele cubrirse de lianas ni bejucos, lo que facilita su reconocimiento en el bosque.

Los chamanes de Shiwa Kucha emplean preferentemente la corteza fresca en sus preparados medicinales, mientras que en Chuya Yacu se recomienda utilizarla seca,

conforme a prácticas heredadas de sus ancestros. Esta diferencia evidencia la diversidad de criterios presentes dentro de una misma tradición curativa.

En el marco de la medicina tradicional amazónica, la corteza de *C. guianensis* ha sido utilizada no solo para aliviar afecciones respiratorias, sino también como cicatrizante de heridas superficiales y profundas, incluyendo heridas producidas por intervenciones quirúrgicas. También se le atribuyen propiedades antiinflamatorias, antihipertensivas y analgésicas, siendo empleada para mitigar dolores de cabeza, musculares y óseos.

En la Figura 5 se presenta una fotografía de la especie *Couroupita guianensis*, la cual constituye un testimonio visual del valioso conocimiento etnobotánico conservado por las comunidades Chuya Yacu y Shiwa Kucha.



Figura 5. Corteza de Llustunda (C. guianensis) (Muestra suministrada por el shamán Remigio Andi de la comunidad Shiwa Kucha. Foto por: Jefferson Pastuña).

Myroxylon balsamum (L.) Harms (FABACEAE)

Esta planta es comúnmente conocida como Bálsamo en las comunidades Chuya Yacu y Nushiño Ishpingo, mientras que en la comunidad Chuya Yacu es conocida como *Isturaki*. Esta especie se caracteriza por ser un árbol de porte alto y recto, de color blanquecino y con una copa ancha y ramificada que le da una imagen imponente en el paisaje forestal. El bálsamo es cultivado por su valor medicinal y espiritual. A diferencia de otras especies amazónicas, este árbol no se enreda con bejucos ni lianas, lo cual facilita su reconocimiento entre los shamanes y recolectores locales.

Sus hojas, semejantes a las de la guayusa (*Ilex guayusa*), son otro rasgo que permite su identificación en el bosque.

En la Figura 6A se observa la corteza del bálsamo, considerada representativa de la especie. De acuerdo con el conocimiento ancestral transmitido en las comunidades amazónicas, la corteza de este árbol se emplea tradicionalmente para combatir enfermedades respiratorias, para tratar la fiebre, el mareo, los dolores corporales y la tos, ya que se le atribuye la capacidad de expulsar la flema y limpiar los pulmones.

a. *Tynanthus panurensis* (Bureau) Sandwith (BIGNONEACEAE)

La planta conocida localmente como *Musuwuaska* es utilizada por los shamanes de la comunidad Shiwa Kucha dentro de sus prácticas de medicina tradicional. Esta planta se distingue por su crecimiento en bejuco o liana y por el aroma dulce de su corteza, lo que facilita su identificación (Figura 6B).

Los shamanes de la comunidad, portadores de los saberes ancestrales, reconocen la existencia de dos tipos de esta planta: la planta macho y la planta hembra, las cuales son diferenciadas por pequeñas variaciones en la textura y el grosor de la corteza. En la cosmovisión curativa amazónica, esta distinción guarda relación con el equilibrio de energías que cada tipo aporta en los procesos de sanación.



Figura 6. Estructuras morfológicas de plantas usadas en preparados medicinales para el tratamiento del COVID-19. **A**, cortezas del tallo de *M. balsamum*; **B**, cortezas del tallo de *T. panurensis* (imagen tomada del repositorio de Ecured); **C**, corteza del tallo de S. *synandra*; **D**, tallos/ramas de *Aristolochia* sp.; **E**, hojas de *Piper* sp.; **F**, tallo/rama de anís; **G**, cortezas del tallo de Intiangu (Foto por: Jefferson Pastuña).

Tradicionalmente, la corteza de *Musuwuaska* ha sido empleada para aliviar dolores del cuerpo y tratar inflamaciones y tumores, especialmente en casos de afecciones mamarias. Más recientemente, el conocimiento ha asociado su uso con posibles efectos antivirales frente al COVID-19, reforzando el valor de esta especie dentro del sistema médico tradicional amazónico.

Sloanea synandra Spruce ex Benth (ELAEOCARPACEAE)

En la comunidad Chuya Yacu, esta especie es conocida con el nombre común de *Runa Caspi*, mientras que en otras regiones amazónicas se la denomina Mamey, según refirió el shamán local Edgar Vargas. Los ejemplares silvestres de estas especies (Figura 6C) son difíciles de encontrar, pues crecen en zonas apartadas de la comunidad.

La especie se distingue por ser un árbol de copa amplia y frondosa, de color amarillento, con hojas anchas y alargadas, características que facilitan su identificación entre los shamanes conocedores de la flora amazónica. En la medicina ancestral, la corteza de la *Runa Caspi* ha sido empleada no solo para aliviar el cansancio físico y espiritual, sino también para fortalecer el sistema cardiorrespiratorio y prevenir afecciones del corazón y los pulmones.

Aristolochia sp. (ARISTOLOCHIACEAE)

En la comunidad Chuya Yacu, los shamanes conocen a esta planta Zaragoza o *Ulla Wanka Anku*. Esta especie es una planta trepadora de tipo bejuco o liana, ampliamente reconocida por su relevancia dentro de la medicina tradicional amazónica (Figura 6D).

Aunque existen otras cuatro especies similares en el entorno selvático, la Zaragoza o *Ulla Wanka Anku* se distingue por presentar la hoja de color verde intenso en el haz y grisáceo en el envés. Un aspecto notable, mencionado por los shamanes de la comunidad, es que su tallo o rama cumple la función de semilla, pues al ser colocada en la tierra germina y da origen a una nueva planta, lo cual refleja la capacidad regenerativa que también se le atribuye simbólicamente en los tratamientos curativos.

En el ámbito de la medicina ancestral, los tallos y ramas de la *Ulla Wanka Anku* han sido tradicionalmente empleados para aliviar dolores abdominales y disminuir la fiebre. Además, se le reconoce un uso reciente en el manejo de afecciones cardiorrespiratorias, incluidas aquellas asociadas al virus COVID-19, reforzando su papel como recurso terapéutico valioso dentro del repertorio botánico amazónico.

Piper sp. (PIPERACEAE)

Esta planta es un tipo de arbusto y es conocida comúnmente como matico (Figura 6E). A diferencia de las plantas mencionadas anteriormente, en este caso las estructuras morfológicas empleadas para la elaboración del jarabe de uso tradicional fueron las hojas.

En las comunidades de Chuya Yacu y Shiwa Kucha, el matico constituye un ingrediente fundamental de los jarabes medicinales, especialmente de aquellos

preparados para aliviar afecciones respiratorias. Además de su uso reciente como coadyuvante durante la COVID-19, sus hojas se han empleado tradicionalmente como descongestionante nasal y para aliviar el dolor de garganta, la fiebre y los escalofríos.

Anís

El género y especie de esta planta no pudieron ser identificados. Esta planta se caracteriza por su crecimiento en forma de liana y/o bejuco (Figura 6F). La información etnobotánica sobre esta especie fue limitada, debido a que la muestra fue obtenida a través de intermediarios y no mediante observación directa en campo. No obstante, según el testimonio del shamán Guido Grefa, perteneciente a la comunidad Nushiño Ishpingo, el tallo o rama de esta planta son utilizados como recurso terapéutico en el tratamiento del COVID-19 y, más tradicionalmente, para aliviar afecciones renales.

Esta referencia, aunque breve, refleja la transmisión oral del conocimiento ancestral y la importancia de los informantes locales en la recuperación de saberes tradicionales que podrían perderse con el tiempo.

Intiangu

Esta planta tampoco pudo ser identificada hasta los niveles de género y especie; sin embargo, en la Figura 6G se presenta una fotografía del espécimen recolectado. Se trata de una planta trepadora del tipo bejuco o liana, con numerosas ramificaciones, hojas redondeadas con una coloración verde intenso que permiten su reconocimiento por los conocedores locales.

De acuerdo con los saberes tradicionales transmitidos en las comunidades amazónicas, la corteza de esta planta ha sido empleada para aliviar la fiebre y frente a episodios de enfermedades cardiorrespiratorias, incluidas aquellas asociadas al virus COVID-19. Pese a la falta de una identificación botánica formal, el uso persistente de este bejuco en la práctica curativa local evidencia su relevancia dentro del sistema médico ancestral.

Ocotea quixos Kosterm ex O.C. Schmidth (LAURACEAE)

Esta planta es conocida comúnmente como *Ishpingo* y es valorada dentro de la cosmovisión amazónica tanto en el ámbito gastronómico como medicinal. En la

comunidad Shiwa Kucha, las hojas frescas de esta especie son empleadas como condimento aromático en la preparación de jarabes medicinales tradicionales, aportando un sabor distintivo y agradable al remedio natural.

Según el testimonio de los shamanes del cantón Arajuno, el Ishpingo es utilizado para mejorar el aroma y la aceptación del jarabe "anti-COVID", elaborado con plantas locales de uso terapéutico.

Cymbopogon citratus (D.C) Stapf (POACEAE)

Esta planta es una hierba conocida como hierbaluisa, tradicionalmente usada en la comunidad Chuya Yacu para mejorar el aroma de los jarabes medicinales elaborados con otras plantas de la amazonia. Según el shamán Edgar Vargas, esta variedad se distingue de otras especies de hierbaluisa por poseer propiedades medicinales específicas, además de su función aromática.

De acuerdo con las entrevistas realizadas a los shamanes de las comunidades amazónicas, se reconocen dos tipos de hierbaluisa: una denominada "hierbaluisa medicinal", cuyas hojas son anchas y se asocian a usos terapéuticos, y otra de hojas delgadas, apreciada por su aroma intenso y agradable, empleada como ingrediente aromático y espiritual en la preparación de remedios naturales. Esta diferenciación local refleja cómo el conocimiento botánico ancestral basado en las variaciones morfológicas y organolépticas orientan el uso curativo de las plantas.

Fitoquímica de las plantas medicinales

De las plantas utilizadas por los shamanes en la preparación del jarabe medicinal, solo se encontró información de estudios previos de los metabolitos secundarios presentes en tres especies: chuchuhuaso (*Monteverdia macrocarpa*), ajo de monte (*Mansoa alliacea* (Lam) A.H. Gentry) y matico (*Piper* sp.). De acuerdo con el análisis realizado a estas plantas, se determinó que 11 compuestos tienen actividad antiviral y antiinflamatoria.

Chuchuhuaso (*Monteverdia macrocarpa* (Ruiz y Pav.) Biral)

Es un árbol que alcanza unos 30 m de altura y que se caracteriza por tener una corteza rojiza con altos contenidos de metabolitos secundarios con actividad antiviral, como

el 22-epi-ácido triptotriterpenónico A, ácido triptotriterpenónico A y el 22-*epi*-ácido maytenfólico [22]. Ensayos *in vitro* han demostrado que estos compuestos pueden inhibir las infecciones virales, bloquear la proliferación del virus dentro del cuerpo debido a que inhiben la actividad de la fusión y transcriptasa inversa del virus de la inmunodeficiencia humana (VIH-1) [23], [24].

Con relación a la especie *M. laevis*, estudios realizados por Ascate-Pasos et al. [25] revelaron una alta diversidad de metabolitos secundarios de uso terapéutico, entre los que se incluyen los alcaloides sesquiterpénicos derivados de la piridina, del tipo dihidro-β-agarofurano, como Laevisina A y B, Mayteína, Wilforina, Ebenifolina (E-I, E-II, E-III) y Euonina, los cuales son compuestos químicos presentes en la familia Celastraceae. Estas moléculas poseen reconocidas actividades antiinflamatorias, inmunosupresoras y citotóxicas, al inhibir mediadores proinflamatorios como TNF-α e interleucinas.

Asimismo, la planta contiene abundantes triterpenos pentacíclicos, especialmente de los tipos friedelano, lupano y oleanano, entre los cuales destacan Pristimerina, Tingenona, 22β-hidroxitingenona y ácidos oleanánicos, a los que se ha conferido propiedades antioxidantes, analgésicas, hepatoprotectoras y antitumorales, con efectos comprobados en la inducción de apoptosis en células cancerígenas. El β-sitosterol, uno de los esteroles más abundantes, presenta efectos antiinflamatorios, hipolipemiantes y antimicrobianos, mientras que los iridoides derivados del ajugol fortalecen la capacidad antioxidante y hepatoprotectora de los extractos. A su vez, compuestos fenólicos como catequinas metoxiladas, flavonoides y proantocianidinas ejercen una marcada acción antioxidante y gastroprotectora frente al daño celular causado por radicales libres.

A pesar de la amplia gama de usos medicinales de *M. laevis* en las comunidades amazónicas, hasta la fecha, no se han desarrollado ensayos e investigaciones de la planta chuchuhuaso y sus compuestos para garantizar la eficacia fitoquímica para obtener un fármaco contra el virus COVID-19.

Por otro lado, el celastrol, 3-(E)- cafeoil betulina, Lupeo y Friedelin, un grupo de metabolitos presentes en el chuchuhuaso, han demostrado tener propiedades antiinflamatorias. Por ello, el conocimiento empírico de los shamanes los ha llevado

a usar su corteza no solo para el tratamiento del COVID-19, sino también para tratar algún tipo de cáncer o inflamaciones de tipo respiratorio. En ensayos *in vitro*, se ha demostrado la inhibición de la liberación de interleucinas y disminución del factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), que intervienen en la inflamación relacionado a la artritis reumatoide [24], [26], [27], [28]. Adicionalmente, otros estudios han demostrado la actividad neuroinflamatoria y neuroprotectora de esta planta en experimentos realizados en células cerebelosas [24], [29], [30].

El celastrol es un triterpeno quinónico, derivado de especies de la familia Celastraceae, ha demostrado una destacada capacidad para modular los procesos neuroinflamatorios y conferir neuroprotección en distintos modelos experimentales. En condiciones de isquemia cerebral y trauma craneoencefálico, el compuesto reduce significativamente la producción de citoquinas proinflamatorias (TNF-α, IL-1β, IL-6) y eleva los niveles de mediadores antiinflamatorios (IL-10) [31]. De forma paralela, el celastrol restablece el equilibrio oxidativo al activar los sistemas antioxidantes endógenos (GSH, SOD y CAT) e inhibir la vía NF-κB, mediante la preservación de su inhibidor IκBα. Estos mecanismos se relacionan con menor edema cerebral, protección de la barrera hematoencefálica, mejora cognitiva y reducción de la apoptosis neuronal. Además, favorece la expresión de proteínas de choque térmico (HSP70 y HSP110) y la autofagia adaptativa, facilitando la eliminación de organelos dañados y proteínas mal plegadas, lo que contribuye a la supervivencia neuronal [32].

En el ámbito de la neuroinmunidad periférica, el celastrol ejerce un efecto inmunorregulador al repolarizar los macrófagos hacia un fenotipo M2, caracterizado por la liberación de IL-4 e IL-10 y la disminución de TNF-α e IL-6. En modelos de neuritis autoinmune experimental (AIDP/GBS), esta acción se traduce en una menor infiltración inflamatoria y una evolución clínica más favorable. A nivel molecular, este efecto se relaciona con la activación de NRF2 y la inhibición de HIF-1α, lo que evidencia una interacción entre las vías redox e hipóxica en la regulación del equilibrio M1/M2 [33].

Desde una perspectiva química, varios análogos estructurales del celastrol, como la pristimerina, la tingenona y los norfriedelanos (por ejemplo, las salaquinonas), comparten propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Estos compuestos

constituyen una base para el desarrollo de derivados con mejor solubilidad y perfil farmacocinético, orientados a optimizar su eficacia neuroprotectora [32].

Ajo de monte (*Mansoa alliacea* (Lam) A.H. Gentry)

Las hojas del ajo de monte son ampliamente utilizadas como recurso medicinal y gastronómico en la Amazonía ecuatoriana. Desde el punto de vista medicinal, esta planta es utilizada en el tratamiento de la fiebre, convulsiones, dolores de cabeza, cuello, dolor a las articulaciones y enfermedades de tipo respiratorio [34], [35]. Además, la presencia de ácido cafeico y ácido clorogénico en el ajo de monte le confiere propiedades antiinflamatorias, anticonceptivas y el efecto de supresión de la producción de macrófagos tratados con lipopolisacáridos (LPS) [36], [37].

Matico (*Piper* sp.)

Dado que no se logró identificar la especie de matico recolectado en las *chakras* de las comunidades del cantón Arajuno, se decidió hacer una revisión de la información sobre la fitoquímica en el género *Piper* [38]. Las especies del género *Piper* son conocidas por su característico aroma, por lo que son empleadas en la elaboración de alimentos pero actualmente, ha despertado el interés puesto que algunos compuestos dentro del grupo de las piperamidas (piperina, piperlongumina y guineensina) tiene propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias, hipoglucemiantes, neuroprotectoras y despigmentantes, actuando sobre enzimas clave como la acetilcolinesterasa, glucosidasa y tirosinasa, con potencial aplicación en el tratamiento de diabetes, Alzheimer y trastornos de hiperpigmentación [39] (Figura 7).

Licencia: CC-BY-NC-SA 4.0

https://doi.org/10.63804/gb.v2i3.e4

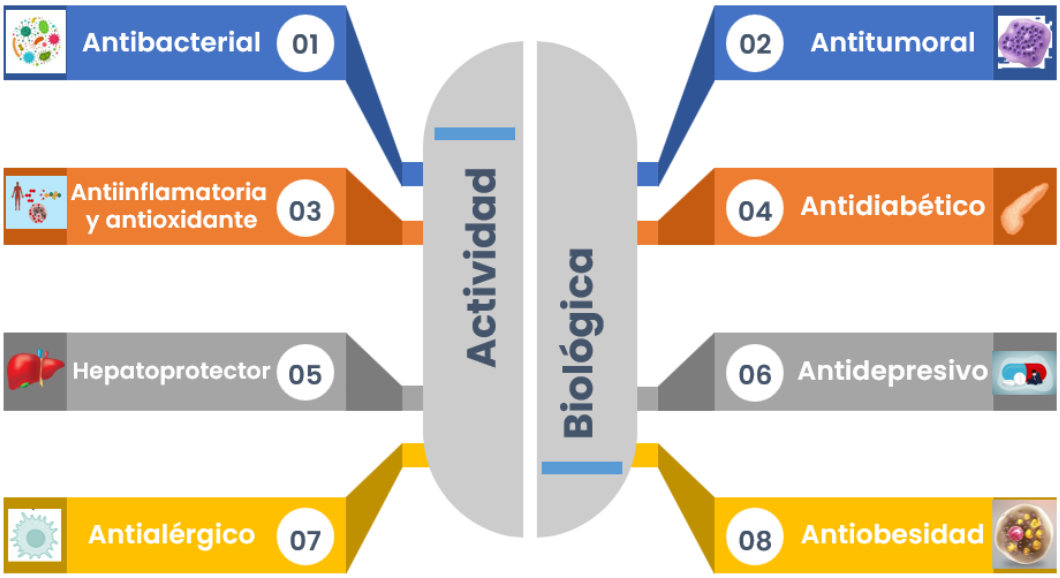


Figura 7. Diferentes actividades biológicas del producto natural piperina. Adaptado de [40].

Por otro parte, en un experimento *in vivo* en ratas inyectadas con carragenina, molécula que produce inflamaciones abdominales, se evidenció que el *β*-sitosterol logra inhibir y regular la inflamación en las primeras horas [41].

Por último, la piperina, piperlongumina y derivados fenólicos, han demostrado una potente actividad anticancerígena mediante la inducción de apoptosis mediada por caspasas y la modulación de las rutas de señalización P38/JNK y PI3K/AKT, que promueven la autofagia y apoptosis, contribuyendo a la eliminación selectiva de células tumorales [42].

Ingredientes de la receta del jarabe artesanal estandarizado

La selección de los ingredientes para la elaboración del jarabe, se consideraron los siguientes criterios: la frecuencia de usos de las especies de plantas por un mayor número de comunidades, la cercanía a la *chakra* y la disponibilidad de información sobre los metabolitos secundarios presentes en esas especies de planta. En tal sentido, fueron seleccionadas las plantas que se muestran en la Tabla 6. Inicialmente, se tomó en cuenta un promedio de las cantidades utilizadas de cada planta, en cada comunidad, para un volumen base de 5 L de brebaje medicinal. Posterior a esto, se calculó la cantidad requerida para una base de 100 L de producto a obtener, mediante un escalado del valor de 5 a 100 L. Las cantidades obtenidas también se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Especies vegetales amazónicas seleccionadas para la estandarización del jarabe tradicional artesanal "anti-COVID" y cantidades empleadas para producciones de 5 y 100 L.

Especie de planta medicinal	Razón de su selección	Cantidad (g) por cada 5 L	Cantidad (g) por cada 100 L de jarabe
Chuchuhuaso (*Monteverdia laevis*)	Información bibliográfica disponible	273,3	5466,7
Bálsamo (*Myroxylon balsamum*)	Usada en más de una comunidad	257,0	5140,0
Animi (*Protium sagotianum*)	Usada en más de una comunidad	237,8	4756,7
Llustunda o Lispungo (*Couroupita guianensis*)	Usada en más de una comunidad	712,7	14253,3
Challua Caspi (*Aspidosperma* sp.)	Usada en más de una comunidad	288,9	5777,8
Ajo de monte (*Mansoa alliacea*)	Información bibliográfica disponible	23,0	460,0
Matico (*Piper* sp.)	Información bibliográfica disponible	16,5	330,0
Hierbaluisa (*Cymbopogon citratus*)	Cercanía a la *chakra*	78,0	1560,0
Ishpingo (*Ocotea quixos*)	Cercanía a la *chakra*	10,0	200,0

Procedimiento para la elaboración del jarabe medicinal "anti-COVID"

El proceso propuesto para la elaboración del jarabe medicinal "anti-COVID" se presenta en la Figura 8. La propuesta articula saberes tradicionales amazónicos con criterios técnicos de control y calidad sanitaria, orientados a asegurar la inocuidad, estabilidad y reproducibilidad del producto final.

Recepción, inspección y clasificación de la materia prima

El proceso comienza con la recepción de cortezas y hojas de plantas medicinales amazónicas, seleccionadas por sus posibles propiedades antivirales, antiinflamatorias y expectorantes. Entre las especies utilizadas se encuentran *Monteverdia laevis* (chuchuguaza), *Piper* sp. (matico), *Myroxylon balsamum* (bálsamo) y *Couroupita guianensis* (sacha mati muyo), entre otras.

Las proporciones del material vegetal (cortezas y hojas) total ingresado se detallan en la Tabla 7. Durante la inspección visual se identifican posibles signos de infección fitopatógena, deterioro o contaminación que pudieran afectar el sabor, aroma o composición del jarabe. Se considera un 5 % de pérdida por material no apto (Etapa

2). Las cantidades efectivas a procesar se definen como etapas 3 (cortezas) y 4 (hojas).

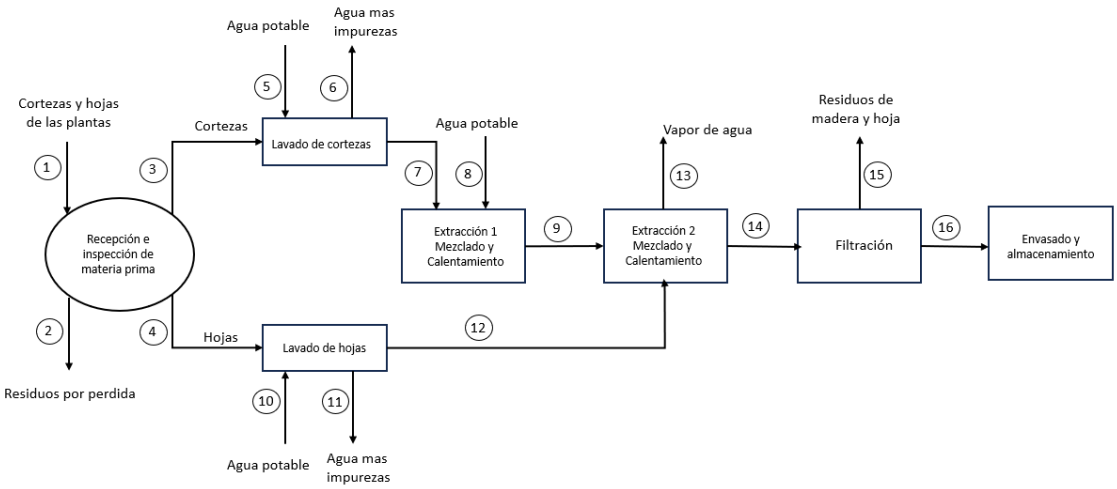


Figura 8. Diagrama de flujo de bloques del proceso para producción de jarabe tradicional.

Lavado y preparación de materia prima

La etapa de lavado se divide en dos secciones:

En la primera, las cortezas se limpian individualmente con 20 L de agua potable y una solución de hipoclorito de sodio al 1 % por especie, garantizando la eliminación de microorganismos superficiales y materia extraña.

En la segunda, las hojas se lavan conjuntamente en un recipiente con 10 L de agua potable, sin cloro, para preservar sus aceites esenciales.

Durante el lavado se observa una disminución de masa asociada a la higroscopicidad de las plantas, es decir, su capacidad de absorber humedad del medio [43]. Aunque no se determinó experimentalmente el coeficiente higroscópico de cada especie, se consideró una pérdida estimada del 15 % en cortezas y del 9 % en hojas.

Extracción, mezclado y calentamiento

Las cortezas lavadas ingresan al tanque de procesamiento donde se realiza la extracción primaria, empleando agua potable como disolvente. La mezcla se calienta durante 90 minutos a 98,1 °C para promover la liberación de metabolitos solubles.

Después de 75 minutos, se agregan las hojas, manteniendo el calentamiento por otros 15 minutos para permitir la integración de compuestos fenólicos, triterpenos y alcaloides procedentes de ambas fracciones vegetales. Durante esta etapa, aproximadamente el 20 % del volumen inicial de agua se evapora, generándose vapor como subproducto.

Una vez completado el calentamiento, la mezcla se enfría gradualmente hasta alcanzar temperatura ambiente, conservando los compuestos termolábiles.

Filtración, clarificación y envasado

El jarabe se filtra mediante un tamiz de acero inoxidable acoplado al tanque de almacenamiento, con el fin de retirar restos de madera y hojas. El filtrado permanece en recipientes metálicos esterilizados para favorecer la decantación de partículas finas y su clarificación.

Después, se envasa en frascos de vidrio ámbar, previamente desinfectados y esterilizados a 80 °C durante 10 minutos, para proteger los metabolitos de la fotodegradación. Los recipientes se sellan herméticamente y se almacenan en lugares oscuros, sin exposición solar directa. Estas condiciones reducen la oxidación y preservan la estabilidad organoléptica del jarabe.

La proyección de producción establecida es de 100 L por corrida, equivalentes a 200 botellas de 500 mL.

Control de calidad

Para asegurar la calidad, seguridad y eficacia del jarabe, se realizan los siguientes controles:

- ✓ pH: entre 5,5 y 6,5, óptimo para la estabilidad de compuestos fenólicos y flavonoides.
- ✓ Grados Brix: 60 - 65 °Brix, determinados mediante refractómetro, para verificar la densidad y consistencia del jarabe.
- ✓ Turbidez: menor de 10 NTU, como indicador de homogeneidad visual.
- ✓ Estabilidad térmica: ausencia de cambios de color o precipitación tras 7 días a 40 °C.

- ✓ Recuento microbiológico: <100 UFC/mL, de acuerdo con los límites establecidos [44].
- ✓ **Ensayos funcionales:** se recomienda determinar la capacidad antioxidante mediante DPPH y ABTS, así como la actividad antiinflamatoria *in vitro* mediante inhibición de COX-2 o producción de NO, para caracterizar su potencial biológico.

Conservación y vida útil

El producto final debe presentar una vida útil estimada de 12 meses, siempre que se mantenga en envases herméticos, en lugares frescos (15 -25 °C) y protegidos de la luz. Se aconseja agitar suavemente antes de su uso para homogenizar posibles sedimentos naturales.

Resultados del balance de masa del proceso

Mediante el empleo de la ecuación general del balance de masa, considerando una producción de 100 L de jarabe y atendiendo a los criterios indicados en la descripción del proceso, se determinó la masa de cada componente en cada corriente. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Distribución de la planta, equipos e instrumentos

Para la distribución de la planta, se consideró una producción en serie, donde los equipos e instrumentos se han agrupado en una misma área, con el fin de ordenar el proceso de producción de jarabe tradicional [45].

El plano y diseño de la planta fue realizado, de manera conjunta, entre el área de ingeniería y un arquitecto, para lo cual se definió el espacio de la distribución de los equipos e instrumentos.

La planta semiindustrial propuesta se encuentra distribuida en un solo piso y cuenta con un espacio apropiado en el área de producción para ubicar de manera continua cada uno de los equipos, separados por un espacio considerable con el fin de reducir riesgos con el uso de gas licuado de petróleo (GLP), utilizado como combustible para el proceso de calentamiento. Además, el espacio establecido para la planta de producción, cuenta con las siguientes zonas:

- Área de recepción, baños, *lockers* y vestidores

- Bodega de planta
- Área de lavado y clasificación de cortezas y hojas.
- Área de acopio de la materia prima
- Área de producción
- Área de empaquetamiento
- Área de almacenamiento y producto final
- Para el proceso de extracción, es recomendable utilizar equipos de acero inoxidable por sus propiedades anticorrosivas e higiénicas [46]. En el caso de tuberías se recomienda cobre o acero inoxidable, dependiendo del presupuesto. Para la esterilización de las botellas, se necesita una cámara de desinfección UV con capacidad de procesar 10 botellas de manera continua. Por otra parte, para contar con un proceso automatizado, es necesario contar con válvulas de control y sensores que regulen el nivel del agua al momento de llenar los tanques, temperatura y tiempo de cocción. La distribución en planta se muestra en la Figura 9.

Tabla 7. Resultados del balance de masa del proceso de producción de 100 L de jarabe.

Componente	Masa en cada corriente de cada componente (g)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Chuchuhuaso	5467	273	5193				5193		5193					5193		
Bálsamo	5140	257	4883				4883		4883					4883		
Animi	4757	238	4519				4519		4519					4519		
Llustunda	14253	713	13541				13541		13541					13541		
Challua Caspi	5778	289	5489				5489		5489					5489		
Ajo de monte	460	23		437								437		437		
Matico	330	17		314								314		314		
Hierba luisa	1560	78		1482								1482		1482		
Ishpingo	200	10		190								190		190		
Agua					20000	17000	3000	220000	223000	10000	9100	900	120000	103900		
Hipoclorito de sodio					200	200										
Residuos															39885	
Jarabe																100062
Total	**37944**	**1897**	**33625**	**2423**	**20200**	**17200**	**36625**	**220000**	**256625**	**10000**	**9100**	**3323**	**120000**	**139947**	**39885**	**100062**

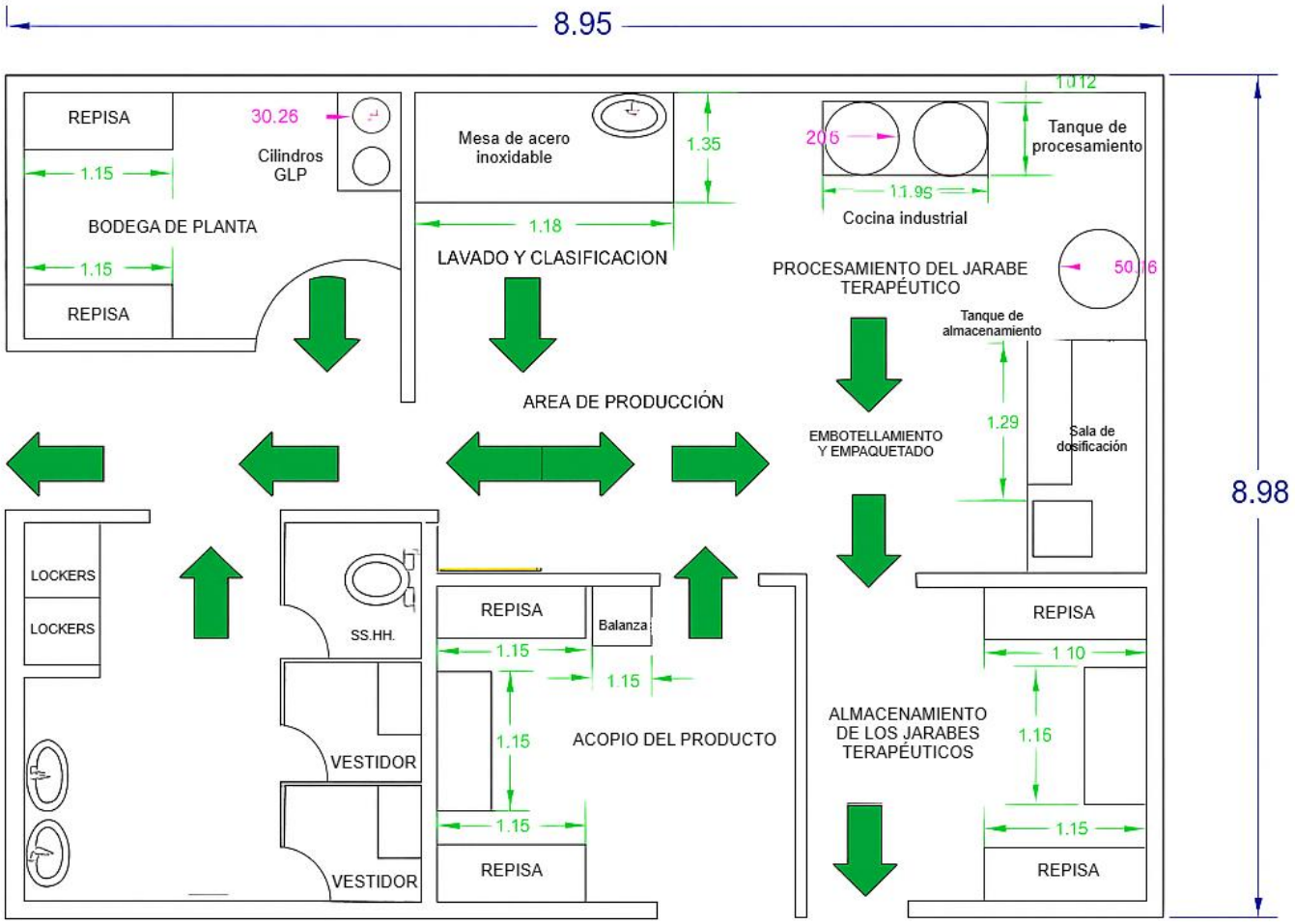


Figura 9. Diseño de la planta y distribución de los equipos e instrumentos.

Conclusiones

La elaboración y estandarización del jarabe tradicional denominado "anti-COVID" en el cantón Arajuno muestra cómo los saberes ancestrales pueden articularse con la ciencia contemporánea para fortalecer iniciativas sostenibles de salud comunitaria. El proceso permitió recuperar conocimientos de las *chakramamas* y reconocer la vigencia de la *chakra* como sistema agroecológico que integra alimentación, medicina y manejo responsable del entorno.

Los resultados indican que las prácticas tradicionales, cuando se documentan y sistematizan con rigor, pueden traducirse en procedimientos técnicos más seguros y reproducibles, sin perder su significado cultural. Asimismo, la propuesta de producción semiindustrial podría contribuir a la autonomía comunitaria, generar oportunidades económicas y favorecer la conservación de especies vegetales de interés medicinal.

Más allá de la formulación estudiada, este trabajo destaca la necesidad de proteger el patrimonio biocultural de los pueblos indígenas y reconocerlo como fuente de conocimiento e innovación. La experiencia de Arajuno demuestra que el diálogo entre ciencia, cultura y territorio puede orientar modelos de bienestar más equitativos, participativos y resilientes.

Contribución y autoría

Todos los autores intervinieron en la conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, redacción del borrador original, y revisión y edición del manuscrito final.

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] N. Zhu *et al.*, "A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019," *New England Journal of Medicine*, vol. 382, no. 8, pp. 727–733, 2020, doi: 10.1056/nejmoa2001017.

[2] P. G. Gibson, L. Qin, and S. H. Puah, "COVID-19 acute respiratory distress syndrome (ARDS): clinical features and differences from typical pre-COVID-19 ARDS," *Medical Journal of Australia*, vol. 213, no. 2, pp. 54–56, 2020, doi: 10.5694/mja2.50674.

[3] S. Montazersaheb *et al.*, "COVID-19 infection: an overview on cytokine storm and related interventions," *Virol. J.*, vol. 19, p. 92, 2022, doi: 10.1186/s12985-022-01814-1.

[4] E. A. Middleton and G. A. Zimmerman, "COVID-19-associated acute respiratory distress syndrome: lessons from tissues and cells," *Crit. Care Clin.*, vol. 37, pp. 777–793, 2021, doi: 10.1016/j.ccc.2021.05.004.

[5] I. S. S. L. Venkata, K. M. Naveen, K. Prasanna, A. G. Bhavani, L. N. V. Shiva, and L. Harshitha, "A review on Corona Virus," *UPI Journal of Pharmaceutical Medical, and Health Sciences*, vol. 8, no. 1, pp. 14–21, 2025.

[6] A. R. Henriquez-Trujillo *et al.*, "Covid-19 outbreaks among isolated amazonian indigenous people, Ecuador," *Bull. World Health Organ.*, vol. 99, pp. 478-478A, 2021, doi: 10.2471/BLT.20.283028.

[7] D. Morales-Jadán *et al.*, "COVID-19 outbreaks in endangered Indigenous groups from the Amazonia during the first wave of the COVID-19 pandemic in Ecuador: a retrospective cross-sectional study," *Rural Remote Health*, vol. 24, p. 8868, 2024.

[8] C. Coral-Guerrero, A. Espinosa, W. Vásquez-Castillo, D. Patricio, and L. Vargas, "Chakra system in the ecuadorian Amazon: A space of global transformations," *Journal of Cultural Analysis and Social Change*, vol. 11, no. 1, pp. 2263–2275, 2026.

[9] Corporación de Asociaciones de la Chakra Amazónica, "La Chakra Amazónica, un sistema agroforestal tradicional gestionado por comunidades indígenas en la provincia de Napo - Ecuador.," 2023.

[10] A. Sirén *et al.*, "Resiliencia contra la pandemia de covid-19 en comunidades indígenas kichwa en la Amazonía ecuatoriana," *Mundos Plurales - Revista Latinoamericana de Políticas y Acción Pública*, vol. 7, no. 2, pp. 101–107, 2020, doi: 10.17141/mundosplurales.2.2020.4738.

[11] D. Coq-Huelva, A. Higuchi, R. Alfalla-Luque, R. Burgos-Morán, and R. Arias-Gutiérrez, "Co-evolution and bio-social construction: The kichwa agroforestry

systems (Chakras) in the ecuadorian amazonia," *Sustainability*, vol. 9, p. 1920, 2017, doi: 10.3390/su9101920.

[12] C. X. Luzuriaga-Quichimbo, M. H. del Barco, J. Blanco-Salas, C. E. Cerón-Martínez, and T. Ruiz-Téllez, "Plant biodiversity knowledge varies by gender in sustainable Amazonian agricultural systems called chacras," *Sustainability*, vol. 11, p. 4211, 2019, doi: 10.3390/su11154211.

[13] C. Echezuría Fernández, "Cosmovisión kichwa, sistemas agroforestales y alternativas sustentables para la Amazonía. La experiencia del Grupo chakra en Archidona, Ecuador," *Entorno Geográfico*, no. 25, p. e21912613, 2023, doi: 10.25100/eg.v0i25.12613.

[14] G. B. León Montoya, M. Acosta Román, M. E. Saavedra Chinchayán, and S. Almonacid Quispe, "Traditional medicine as a treatment for COVID-19 in students and family members at a university in the mountains of Peru," *Aten. Primaria*, vol. 55, p. 102526, 2023, doi: 10.1016/j.aprim.2022.102526.

[15] D. Isrrael, G. Córdova, Á. Ramón, S. García, A. Juliana, and Z. García, "Medicina tradicional y COVID-19: influencia en la recuperación y satisfacción de la nacionalidad Tsáchila," *Revista Información Científica*, vol. 103, pp. 1–16, 2024.

[16] EFE, "Indígenas de Ecuador buscan combatir el coronavirus con saberes ancestrales," Primicias, el periodismo comprometido. Accessed: Oct. 11, 2025. [Online]. Available: https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/indigenas-ecuador-buscan-combatir-coronavirus-con-saberes-ancestrales/

[17] R. E. Martinez-Gonzalez, F. M. Huerta Martinez, C. Neri Luna, and L. Barrientos Ramirez, "Ethnobotany of the old neighborhoods from Guadalajara, Jalisco, Mexico: the use of medicinal plants," *Bol. Latinoam. Caribe Plantas Med. Aromat.*, vol. 23, no. 1, pp. 75–110, Jan. 2024, doi: 10.37360/blacpma.24.23.1.6.

[18] J. García-Díaz *et al.*, "Caracterización etnobotánica de plantas medicinales en dos comunidades de la Región Suroriental de Cuba," *Caldasia*, vol. 45, no. 2, May 2023, doi: 10.15446/caldasia.v45n2.95613.

[19] J. G. Páscoa Jr. and C. L. L. de Souza, "Medicinal plants used in the Amazon region: a systematic review," *Research, Society and Development*, vol. 10, no. 14, p. e163101419965, 2021, doi: 10.33448/rsd-v10i14.19965.

[20] C. T. C. da S. Miranda, S. D. Soares, W. Q. de Oliveira, A. de S. Lima, I. A. Neri Numa, and G. M. Pastore, "Unconventional edible plants of the Amazon: Bioactive compounds, health benefits, challenges, and future trends," *Foods*, vol. 13, p. 2925, 2024, doi: 10.3390/foods13182925.

[21] R. M. Felder and R. W. Rousseau, *Elementary Principles of Chemical Processes*, Tercera ed. Nueva Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005. doi: 10.1016/s1385-8947(00)00231-x.

[22] Jiménez-Grados Lyane, K.-S. Niurka, Jara-Huancaya Ursula, Meléndez-Aquino José, Jiménez-Cabezudo Carlos, and S.-G. Alberto, "Referencia de los usos medicinales del chuchuhuasi (Maytenus macrocarpa) por curanderos del distrito de Santa María de Huachipa, Lurigancho, Lima - Perú: un estudio cualitativo," *Horiz. Med. (Barcelona).*, vol. 20, no. 3, p. e1245, 2020, doi: 10.24265/horizmed.2020.v20n3.08.

[23] S. Piacente, L. C. Dos Santos, N. Mahmood, and C. Pizza, "Triterpenes from maytenus macrocarpa and evaluation of their anti-HIV activity," *Nat. Prod. Commun.*, vol. 1, no. 12, pp. 1073–1078, 2006, doi: 10.1177/1934578x0600101201.

[24] M. Malaník *et al.*, "Maytenus macrocarpa (Ruiz & Pav.) Briq.: Phytochemistry and pharmacological activity," *Molecules*, vol. 24, p. 2288, 2019, doi: 10.3390/molecules24122288.

[25] M. E. Ascate-Pasos, M. L. Ganoza-Yupanqui, L. A. Suárez-Rebaza, F. R. León-Vargas, and R. W. Bussmann, "Traditional use, chemical constituents, and pharmacological activity of Maytenus laevis Reissek," *Ethnobotany Research and Applications*, vol. 24, p. 25, 2022, doi: 10.32859/era.24.25.1-20.

[26] R. Cascão *et al.*, "Effective treatment of rat adjuvant-induced arthritis by celastrol," *Autoimmun. Rev.*, vol. 11, pp. 856–862, 2012, doi: 10.1016/j.autrev.2012.02.022.

[27] R. Cascão *et al.*, "Celastrol efficacy by oral administration in the adjuvant-induced arthritis model," *Front. Med. (Lausanne).*, vol. 7, p. 455, 2020, doi: 10.3389/fmed.2020.00455.

[28] Y. Takaishi *et al.*, "Triterpenoid inhibitors of interleukin-1 secretion and tumour-promotion from Tripterygium wilfordii var. regelii," *Phytochemistry*, vol. 45, no. 5, pp. 969–974, 1997, doi: 10.1016/S0031-9422(96)00859-X.

[29] C. C. Veloso, G. L. Soares, A. C. Perez, V. G. Rodrigues, and F. C. Silva, "Pharmacological potential of maytenus species and isolated constituents, especially tingenone, for treatment of painful inflammatory diseases," *Revista Brasileira de Farmacognosia*, vol. 27, no. 4, pp. 533–540, 2017, doi: 10.1016/j.bjp.2017.02.006.

[30] S. Tewtrakul, P. Tansakul, C. Daengrot, C. Ponglimanont, and C. Karalai, "Anti-inflammatory principles from Heritiera littoralis bark," *Phytomedicine*, vol. 17, no. 11, pp. 851–855, 2010, doi: 10.1016/j.phymed.2010.02.011.

[31] D. Liu *et al.*, "Neuroprotective effects of celastrol in neurodegenerative diseases-unscramble its major mechanisms of action and targets," *Aging Dis.*, vol. 13, no. 3, pp. 815–836, 2022, doi: 10.14336/AD.2021.1115.

[32] M. A. A. Yusri *et al.*, "Celastrol: A potential natural lead molecule for new drug design, development and therapy for memory impairment," *Drug Des. Devel. Ther.*, vol. 17, pp. 1079–1096, 2023, doi: 10.2147/DDDT.S389977.

[33] Y. Qian *et al.*, "Celastrol ameliorates experimental autoimmune neuritis by shifting the polarization of M1/M2 macrophages," *Bol. Latinoam. Caribe Plantas Med. Aromat.*, vol. 24, no. 4, pp. 612–628, 2025, doi: 10.37360/blacpma.25.24.4.43.

[34] E. Pagani, J. F. L. de Santos, and E. Rodrigues, "Culture-Bound Syndromes of a Brazilian Amazon Riverine population: Tentative correspondence between traditional and conventional medicine terms and possible ethnopharmacological implications," *J. Ethnopharmacol.*, vol. 203, pp. 80–89, 2017, doi: 10.1016/j.jep.2017.03.024.

[35] F. R. Hamann *et al.*, "Mansoa alliacea extract presents antinociceptive effect in a chronic inflammatory pain model in mice through opioid mechanisms," *Neurochem. Int.*, vol. 122, pp. 157–169, 2019, doi: 10.1016/j.neuint.2018.11.017.

[36] D. Zielińska, H. Zieliński, J. M. Laparra-Llopis, D. Szawara-Nowak, J. Honke, and J. A. Giménez-Bastida, "Caffeic acid modulates processes associated with intestinal inflammation," *Nutrients*, vol. 13, p. 554, 2021, doi: 10.3390/nu13020554.

[37] D. Bagdas, Z. Gul, J. A. Meade, B. Cam, N. Cinkilic, and M. S. Gurun, "Pharmacologic Overview of Chlorogenic Acid and its Metabolites in Chronic Pain and Inflammation," *Curr. Neuropharmacol.*, vol. 18, pp. 216–228, 2019, doi: 10.2174/1570159x17666191021111809.

[38] C. M. F. B. Roersch, "Piper umbellatum L.: A comparative cross-cultural analysis of its medicinal uses and an ethnopharmacological evaluation," *J. Ethnopharmacol.*, vol. 131, pp. 522–537, 2010, doi: 10.1016/j.jep.2010.07.045.

[39] S. V. Luca *et al.*, "Insights into the phytochemical and multifunctional biological profile of spices from the genus piper," *Antioxidants*, vol. 10, p. 1642, 2021, doi: 10.3390/antiox10101642.

[40] N. Wu *et al.*, "Structural modification, total synthesis, and biological activity of natural product piperine: A review," *J. Funct. Foods*, vol. 128, p. 106827, 2025, doi: 10.1016/j.jff.2025.106827.

[41] B. Salehi *et al.*, "Piper species: A comprehensive review on their phytochemistry, biological activities and applications," *Molecules*, vol. 24, p. 1364, 2019, doi: 10.3390/molecules24071364.

[42] C. K. Woon, F. B. Ahmad, and N. H. Zamakshshari, "Chemical constituents and biological activities of Piper as anticancer agents: A review," *Chem. Biodivers.*, vol. 20, no. 9, p. e202300166, 2023, doi: 10.1002/cbdv.202300166.

[43] A. Ilek, C. M. Siegert, and A. Wade, "Hygroscopic contributions to bark water storage and controls exerted by internal bark structure over water vapor absorption," *Trees - Structure and Function*, vol. 35, no. 3, pp. 831–843, 2021, doi: 10.1007/s00468-021-02084-0.

[44] G. E. Alejandro, "Control microbiológico de jarabes de origen natural para trastornos gastrointestinales, de la ciudad de Quito.," Universidad Central Del Ecuador, 2018.

[45] E. J. Avilés, "Diseño y distribución en planta para la Empresa REENCAVI Compañía Anónima," Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, 2019.

[46] A. K. Dewangan, A. D. Patel, and A. G. Bhadania, "Stainless steel for dairy and food industry: A review," *Journal of Material Science & Engineering*, vol. 4, no. 5, p. 1000191, 2015, doi: 10.4172/2169-0022.1000191.

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.