

ESTRATEGIAS DE EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ALCALOIDES Y TERPENOS DE FAMILIAS PIPERACEAE Y ANNONACEAE AMAZÓNICAS ECUATORIANAS CON POTENCIAL INSECTICIDA Y FUNGICIDA

EXTRACTION AND CHARACTERIZATION STRATEGIES OF ALKALOIDS AND TERPENES FROM AMAZONIAN ECUADORIAN PIPERACEAE AND ANNONACEAE FAMILIES WITH INSECTICIDAL AND FUNGICIDAL POTENTIAL

Marjorie Mazo¹, Mariana Conforme², Romina Guardia³, Byron Cajamarca⁴

{mi.mazor@uea.edu.ec¹, mm.conformeg@uea.edu.ec², romina.guardia@vetclasschile.com³, vlad.cajamarca92@hotmail.com⁴}

Fecha de recepción: 20/03/2026 / Fecha de aceptación: 28/03/2026 / Fecha de publicación: 31/03/2026

RESUMEN: El uso creciente de la resistencia a los agroquímicos sintéticos ha impulsado la necesidad de explorar alternativas de origen vegetal. En este trabajo se llevó a cabo una revisión sistemática siguiendo el enfoque PRISMA, centrada en publicaciones de 2021 a 2025 que abordan técnicas de extracción y análisis en especies de las familias Piperaceae y Annonaceae. El objetivo central fue comparar la actividad biocida expresada como CL50 y CMI de plantas sudamericanas frente a los estándares comerciales que provienen principalmente de Asia. Los hallazgos revelan diferencias notables en el nivel de desarrollo: mientras que en Asia y en el corredor Brasil-Colombia se dispone de extractos y compuestos caracterizados con precisión (en partes por millón), en Ecuador el avance en cuanto a infraestructura analítica e instrumental parece más restringido. Aun así, algunos taxones endémicos llamaron la atención por su potencial. Destaca, por ejemplo, *Piper asperiusculum*. Los datos disponibles sugieren que su quimiotipo caracterizado por dilapiol y miristicina muestra una actividad repelente marcada incluso a concentraciones bajas (0.063 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$), y en ciertos ensayos pareció superar la eficacia observada con *Piper nigrum* de origen asiático (CL50 de 5.2 ppm). En conjunto, estos resultados apuntan a que el empleo de enfoques de química verde sobre la biodiversidad andino-

¹Dirección de Investigación, Posgrados, Vinculación, y Transferencia de Tecnología. Laboratorio de Química, Universidad Estatal Amazónica – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0000-7962-7348>, +593984166648

²Dirección de Investigación, Posgrados, Vinculación, y Transferencia de Tecnología. Laboratorio de Microbiología, Universidad Estatal Amazónica – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0002-4844-3604>, +593999892220

³Dirección General, Academia Latinoamericana de Estudios Veterinarios (ALEV) – Chile, <https://orcid.org/0009-0005-7254-8256>; +593997638833

⁴Dirección General, Capacitación Innovación Desarrollo y Emprendimiento Eryon - Ecuador, <https://orcid.org/0009-0009-6378-9479>; +593995185390

amazónica podría abrir camino hacia la formulación de bioplaguicidas competitivos. De esta forma, se contribuiría a disminuir la dependencia de tecnologías y productos externos, aunque todavía queda camino por recorrer en términos de estandarización y escalabilidad. El equipo considera que este tipo de revisiones ayudan a identificar oportunidades concretas, pero también subrayan las brechas que requieren atención prioritaria para avanzar de manera sólida.

Palabras clave: Piperaceae, Annonaceae, alcaloides, terpenos, bioplaguicidas, Amazonía ecuatoriana

ABSTRACT: Increasing resistance to synthetic agrochemicals continues to drive interest in botanical alternatives. In this work, the team conducted a systematic review following the PRISMA guidelines, covering literature published between 2021 and 2025 on extraction and analytical techniques applied to species of the Piperaceae and Annonaceae families. The focus was on comparing the biocidal performance measured as LC₅₀ and MIC of South American plants with established Asian commercial standards. The compiled evidence points to a noticeable technological gap. While Asia, together with the Brazil–Colombia corridor, shows well-characterized compounds quantified at parts-per-million precision, analytical capabilities and instrumental development in Ecuador appear more limited. Still, certain endemic taxa emerged as promising. Among them, *Piper asperiusculum* stood out in several records. Data from the reviewed studies suggest that its dillapiol/myristicin chemotype exhibits strong repellent activity even at low application rates (0.063 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$). In some assays, this performance tended to exceed that observed for the Asian *Piper nigrum*, which reported an LC₅₀ of 5.2 ppm. Taken together, these findings indicate that the application of green chemistry approaches to Andean-Amazonian biodiversity might support the development of viable biopesticides. Such efforts could, over time, help reduce reliance on external technologies, although considerable work remains in standardization and scaling. The team believes this review highlights both opportunities and existing limitations that deserve further attention.

Keywords: Piperaceae, Annonaceae, alkaloids, terpenes, biopesticides, Ecuadorian Amazon

INTRODUCCIÓN

La expansión de la frontera agrícola en la Amazonía ha consolidado la dependencia de plaguicidas sintéticos como una problemática estructural. Las fumigaciones intensivas contribuyen a la degradación de suelos tropicales y favorecen la aparición de resistencia cruzada en artrópodos y hongos fitopatógenos. Esta situación genera un ciclo de retroalimentación donde el incremento de las dosis aplica una mayor presión de selección, lo que exacerba el daño ambiental.

Frente a este escenario, los marcos regulatorios internacionales promueven la transición hacia alternativas botánicas de bajo impacto residual. En este contexto, la Amazonía ecuatoriana posee un potencial significativo debido a su biodiversidad, la cual, moldeada por presión evolutiva, ha generado metabolitos secundarios de estructuras complejas con actividad biocida documentada (1, 2).

Las familias Piperaceae y Annonaceae son particularmente relevantes dentro de este contexto neotropical. El género *Piper* biosintetiza piperamidas con grupos metilendioxfenilo que interfieren con canales iónicos y receptores GABA en insectos, induciendo parálisis neurotóxica (3, 4, 5). Sus aceites esenciales, ricos en terpenos lipofílicos, facilitan la penetración cuticular y generan efectos sinérgicos letales (6, 7). Por su parte, las Annonaceae producen acetogeninas que, a concentraciones sub-micromolares, bloquean el Complejo I de la cadena respiratoria mitocondrial, inhibiendo la síntesis de ATP y causando mortalidad en larvas y patógenos (15, 20).

La limitación actual no radica en la disponibilidad del recurso vegetal, sino en la estrategia de investigación. Mientras que el sudeste asiático ha estandarizado especies comerciales como *Piper nigrum* y *P. sarmentosum*, y Brasil y Colombia han avanzado en la determinación de concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) para terpenos y policétidos de Annonaceae (2, 3, 8, 17, 18), Ecuador presenta un menor desarrollo en esta área. Aunque existen taxones endémicos de interés —como *Piper asperiusculum*, con quimiotipos ricos en dilapiol y miristicina, o especies de *Guatteria*—, su caracterización química es limitada. La literatura existente se centra principalmente en estudios etnobotánicos, existiendo una carencia de datos cuantitativos rigurosos sobre la CL50 de mezclas no amídicas, perfiles cromatográficos completos y estabilidad de formulaciones.

Esta brecha tiene implicaciones científicas y tecnológicas. La falta de caracterización de la biodiversidad nacional impide su conversión en productos estandarizados y comercializables, dificultando la competencia técnica con plaguicidas sintéticos. Por lo tanto, este trabajo realiza una revisión sistemática de la literatura (2021-2025) sobre técnicas extractivas y analíticas en Piperaceae y Annonaceae. El objetivo es establecer las bases técnicas para el desarrollo controlado de bioplaguicidas basados en compuestos lipofílicos de la Amazonía ecuatoriana.

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión sistemática se ejecutó bajo los lineamientos de la declaración PRISMA para garantizar la trazabilidad y reproducibilidad del proceso. Se consultaron las bases de datos Scopus, Web of Science y SciELO con el fin de analizar el desarrollo bioindustrial en el contexto neotropical y su contraste con la producción en Asia.

La búsqueda se restringió a artículos originales revisados por pares publicados en el periodo 2021-2025, empleando la siguiente estrategia booleana:

("Piper" OR "Piperaceae" OR "Annonaceae") AND ("amides" OR "acetogenins" OR "essential oils") AND ("insecticidal" OR "fungicidal" OR "larvicidal") AND ("Extraction" OR "Amazon" OR "South America").

Proceso de selección y criterios de inclusión

La consulta inicial identificó 145 registros. Tras la eliminación de duplicados y un primer cribado por relevancia biotecnológica, se obtuvieron 67 artículos. La selección final se determinó mediante la lectura del texto completo, aplicando cuatro criterios de inclusión:

- 1) **Metodología de extracción:** descripción detallada que permitiera la comparación entre maceración convencional y técnicas asistidas (termosonicación y extracción asistida por microondas).
- 2) **Caracterización química:** inclusión de análisis por CG-EM o CL-EM para contrastar quimiotipos asiáticos estandarizados con los perfiles lipofílicos de especímenes ecuatorianos, específicamente en la concentración de dilapioles y miristicina.
- 3) **Reporte cuantitativo de bioactividad:** determinación de la actividad biocida mediante valores de CL50 (Concentración Letal Media) o CMI (Concentración Mínima Inhibitoria). Se excluyeron estudios con datos estrictamente cualitativos.
- 4) **Identificación botánica:** precisión taxonómica que permitiera el contraste entre especies de referencia global (*Piper nigrum*, *Annona squamosa*) y taxones neotropicales (*Piper asperiusculum*, *Annona muricata*).

Análisis de la muestra final

Se descartaron 47 artículos por presentar enfoques exclusivamente etnobotánicos o por carecer de datos técnicos cuantitativos necesarios para el escalamiento agroindustrial. Finalmente, se seleccionaron 20 publicaciones (1-20) para el análisis comparativo.

En este corpus se evaluaron variables de rendimiento de extracto crudo (porcentaje en masa) bajo distintas condiciones térmicas, contrastando la degradación térmica del reflujo convencional frente a la preservación de metabolitos obtenida mediante termosonicación y el uso de codisolventes alcohólicos. Asimismo, se analizó el uso de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) para la identificación de isomerizaciones y variaciones lipofílicas en estudios desarrollados en Brasil y Asia. Los datos recopilados evidencian las brechas de capacidad analítica que limitan la bio-escalabilidad de los productos naturales en el contexto ecuatoriano en comparación con los estándares internacionales.

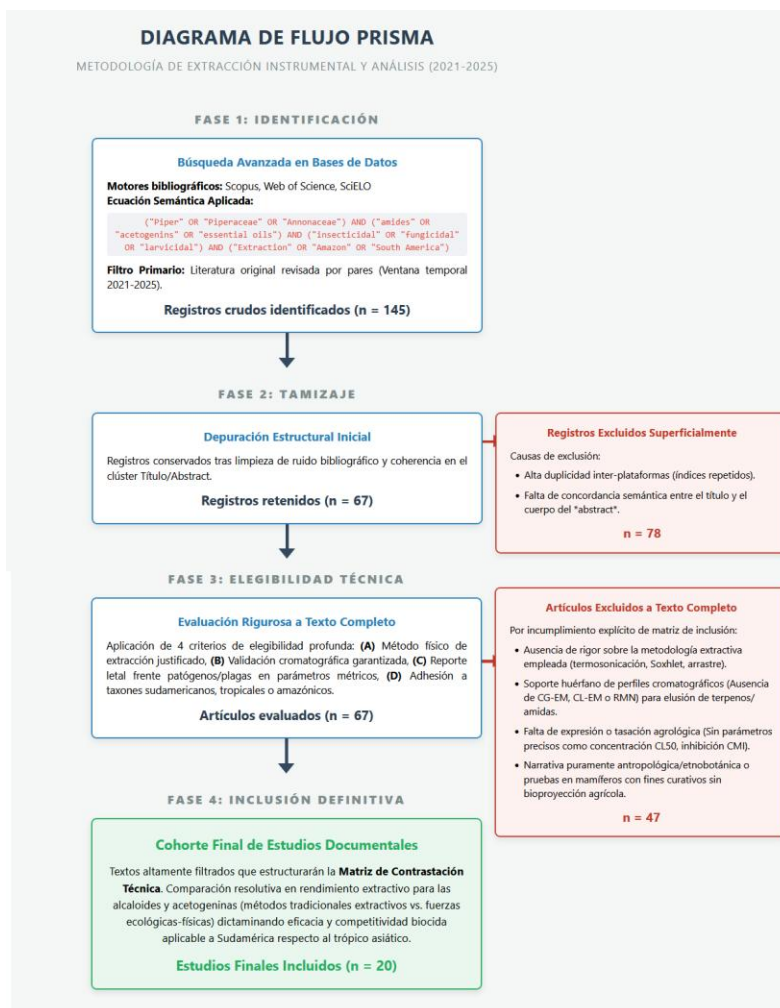


Figura 1. Diagrama de Flujo PRISMA

Nota: “Metodología de búsqueda”

RESULTADOS

El análisis de la literatura científica (2021-2025) demuestra que el desarrollo tecnológico determina la eficacia biocida. Asia, mediante el uso de plataformas avanzadas para el procesamiento de Piperaceae, ha logrado aislar compuestos como piperlongumina, retrofractamida y piperina. Los estudios reportan que estos perfiles amídicos presentan toxicidad letal frente a coleópteros y dípteros vectores en concentraciones inferiores a 40-50 ppm (Tabla 1) (2, 3, 4, 5).

Tabla 1. Validación química y concentraciones efectivas globales recientes (2021-2025) en la familia Piperaceae.

Taxón Reportado	Espectro Geográfico	Plataforma Metabólica Reportada	Metabolito Elucidado	Concentración Efectiva (CL50/CMI)	Referencia
<i>P. guineense</i>	Global / Mixto	Reflujo Soxhlet y destilación molecular	Piperina, wisanina	CL50: 12.5 mg/L (larvas dípteros)	-1
<i>P. sarmentosum</i>	Malasia (Asia)	Desreplicación por masas (CG-EM)	30 alcaloides amídicos	CL50: 8-15 ppm (vectores)	(2, 3)
<i>P. purusanum</i>	Sudamérica	Fraccionamiento químico dirigido	Piplartina (amida)	CL50: 25.4 mg/L	-7
<i>P. nigrum</i>	Asia	Cromatografía en raíces	Derivados isobutíricos	CL50: 5.2 ppm (larvas agrícolas)	(4, 5)

Fuente: (1, 2, 3, 4, 5, 7).

La literatura asiática sobre piperamidas prioriza el uso de tecnologías de extracción asistidas para evitar la degradación termo-oxidativa asociada a la maceración convencional, lo que permite la difusión celular sin alterar las fracciones nitrogenadas. En el contexto neotropical, la investigación liderada por Brasil y Colombia se centra en la caracterización de terpenos y acetogeninas de Annonaceae. Estos estudios reportan concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) e índices letales que confirman la alta eficacia biocida de estos compuestos (Tabla 2).

Tabla 2. Aislamiento biocida y efectividad (CMI/CL50) en taxones Neotropicales (Piperaceae y Annonaceae) (2021-2025).

Entidad Botánica	País	Modalidad Extractiva / Principal Compuesto	CMI / CL50 Reportada	Reporte Biocida / Agro-sanidad	Referencia
Especies <i>Pip. coruscans</i> , <i>reticulatum</i>	Colombia	Recolección de volátiles / Sesquiterpenos	CL50: 32.1 µL/L aire	Elevado índice fumigante vs. <i>Sitophilus</i>	(8)
<i>Annona glabra</i> , <i>muricata</i>	Brasil / Colombia	Extracción polar y termosonicación / Acetogeninas	CMI: 3.12 - 12.5 µg/mL	Antifúngico profundo (<i>Fusarium</i> , <i>Candida</i>)	(15, 17)
<i>Piper reticulatum</i>	Brasil	Destilación dirigida / Terpenos (β-selineno)	CL50: 14.8 ppm	Toxicidad larvicida extrema	(11)
<i>Annona squamosa</i>	Global	Fraccionamiento polar / Acetogeninas exclusivas	CL50: 2.4 - 5.8 ppm	Fuerte capacidad nematocida e inhibidor larval	(16, 19, 20)

Fuente: (8, 11, 15, 16, 17, 19, 20).

Vinueza et al. (2022) emplearon extracción asistida por termosonicación, logrando altos rendimientos de acetogeninas en *Annona muricata* (CMI de 3.12 µg/mL), lo que minimizó la degradación térmica y potenció su actividad antifúngica (15). En paralelo, investigaciones brasileñas han caracterizado más de 85 acetogeninas exclusivas que actúan como inhibidores celulares contra plagas defoliadoras (20). Asimismo, se ha documentado la eficacia cruzada entre micelios y biomasa arbustiva para potenciar las defensas insecticidas mediante la acetogenina anonacina (18).

El análisis de la información correspondiente a Ecuador evidencia la necesidad de profundizar en el estudio de quimiotipos únicos. Aunque estos presentan un potencial competitivo significativo, actualmente carecen de protocolos de estandarización (Tabla 3).

Tabla 3. Quimiotipos únicos y bioactividad de taxones endémicos amazónicos sugeridos para Ecuador (2021-2025).

Entidad Botánica	Región (Ecuador)	Quimiotipo principal (Extracto/Aceite)	Concentración Efectiva (CL50 / CMI)	Actividad y Comparativa	Referencia
<i>Piper asperiusculum</i>	Amazonía	Dilapiol (36-48%), Miristicina (15-35%)	Repelencia >90% a 0.063 µL/cm ²	Insecticida superior por efecto sinérgico lipofílico	(21)
<i>Piper aduncum</i>	Estribaciones	Dilapiol (>50%), Piperitona	CL50: 10-18 ppm (larvas)	Alta toxicidad, equiparable a estándares asiáticos	(13, 22)
<i>Annona</i> spp.	Nororiente	Acetogeninas no descritas	Sin cuantificación exacta	Fuerte bioactividad etnofarmacológica; déficit de RMN	(13)

Fuente: (13, 21, 22).

La caracterización de *Piper asperiusculum* en la Amazonía ecuatoriana revela un quimiotipo inusualmente dominado por los fenilpropanoides dilapiol y miristicina. Este hallazgo representa una diferencia significativa respecto a las variedades tradicionales, destacando el valor de las especies nativas como recursos fitoquímicos más allá de su uso etnobotánico. Sin embargo, la capacidad analítica molecular a nivel nacional sigue siendo limitada, evidenciando una notable brecha tecnológica en comparación con los estándares internacionales (13, 21, 22).

DISCUSIÓN

La revisión sistemática pone de manifiesto diferencias marcadas en el nivel de desarrollo entre el potencial biológico documentado para especies de la Amazonía ecuatoriana y el avance alcanzado en la estandarización tecnológica en otras regiones. El examen comparativo de los datos resumidos en las Tablas 1, 2 y 3 revela variaciones notables en los parámetros de eficacia biocida (CL50 y CMI). En estudios asiáticos se han reportado compuestos amílicos derivados de *Piper*

nigrum con valores de CL50 cercanos a 5.2 ppm en ciertos ensayos de letalidad, mientras que trabajos realizados en Brasil y Colombia han documentado acetogeninas purificadas de Annonaceae con actividad antifúngica que alcanza CMI inferiores a 5 µg/mL en algunos patógenos. En contraste, los recursos genéticos ecuatorianos, aunque presentes en la literatura, muestran un grado de caracterización analítica todavía limitado.

Los datos de la Tabla 3 indican que el quimiotipo de *Piper asperiusculum*, caracterizado por contenidos elevados de dilapiol y miristicina, exhibe actividad repelente o insecticida a concentraciones bajas (0.063 µL/cm²) en los ensayos revisados. A diferencia del mecanismo predominantemente neurotóxico asociado a las amidas de *Piper nigrum*, la fracción lipofílica de esta especie ecuatoriana parece favorecer la penetración cuticular. Esta propiedad fisicoquímica podría compensar, al menos parcialmente, la menor presencia de compuestos amídicos. Sin embargo, la interpretación de estos resultados debe tomarse con cautela, ya que muchos estudios se basan en extractos crudos y las condiciones de ensayo varían considerablemente entre reportes.

Una limitación recurrente observada en la literatura consultada es el uso extendido de técnicas de extracción convencionales, como maceraciones prolongadas o reflujo Soxhlet. Estos métodos exponen los metabolitos a estrés térmico prolongado, lo que puede degradar piperamidas sensibles o inducir hidrólisis de acetogeninas, según se señala en varios trabajos (1, 15, 23). Por otro lado, enfoques de química verde como la termosonicación —aplicados con mayor frecuencia en laboratorios de Brasil y Asia— aprovechan la cavitación para romper paredes celulares con menor impacto sobre la estabilidad molecular (15).

Es posible que la adopción de estas metodologías en Ecuador contribuya a mejorar la integridad y el rendimiento de los extractos, aunque el impacto real dependerá de factores locales como la disponibilidad de equipo y la variabilidad intraespecífica de las poblaciones vegetales.

La literatura reciente también sugiere la relevancia del sinergismo entre componentes. En materiales procedentes de la cuenca amazónica se han detectado terpenoides oxigenados (por ejemplo, β-selineno y dilapioles) que podrían interactuar con alcaloides u otros metabolitos (9, 11). Una posible interpretación es que los terpenos actúen modificando la permeabilidad de la cutícula o de membranas celulares, facilitando así el acceso de compuestos activos principales hacia sus sitios de acción y, eventualmente, dificultando ciertos mecanismos de resistencia en las plagas. No obstante, la mayoría de estos efectos se han observado en combinaciones complejas, y aún falta claridad sobre el grado de contribución individual de cada compuesto frente a mezclas estandarizadas.

La caracterización química de especies de Annonaceae y Piperaceae en Ecuador presenta aún vacíos metodológicos. La escasez de estudios cuantitativos mediante resonancia magnética nuclear (RMN) bidimensional o análisis metabolómicos de alto rendimiento en el periodo evaluado (13) limita las conclusiones sobre la composición real de los extractos y su variabilidad. Esto podría influir en la reproducibilidad de los ensayos biológicos y en las comparaciones con resultados obtenidos en otras regiones. Sin embargo, no se puede descartar que, incluso con limitaciones técnicas, algunas formulaciones locales puedan ofrecer alternativas viables en

contextos específicos, aunque su posicionamiento frente a agroquímicos sintéticos dependería de evaluaciones de eficacia en condiciones reales de cultivo, así como de análisis de estabilidad, toxicidad no objetivo y costos de producción. La eventual incorporación de herramientas analíticas modernas, como la espectrometría de masas (CG-EM), podría contribuir a reducir estas incertidumbres, aunque su impacto real dependería de cómo se articulen en programas de investigación sostenidos y orientados a problemas concretos.

CONCLUSIONES

Los hallazgos de esta revisión sistemática del período 2021-2025 ponen de relieve una disparidad tecnológica clara que restringe el aprovechamiento agroindustrial de la biodiversidad amazónica ecuatoriana. Mientras los trabajos asiáticos han conseguido estandarizar biopesticidas derivados de *Piper nigrum* mediante técnicas de extracción asistidas, la mayoría de los estudios nacionales sobre los quimiotipos volátiles de *Piper asperiusculum* siguen dependiendo de maceraciones convencionales. Estos procedimientos tradicionales pueden afectar la integridad de los metabolitos activos y, en consecuencia, dificultan tanto la escalabilidad como la comparación directa con formulaciones ya validadas en el mercado.

La evidencia neuroquímica disponible sugiere que las piperamidas presentan una especificidad elevada, asociada a su anillo lipofílico característico, y que las acetogeninas de Annonaceae actúan con potencia sobre el Complejo I del citocromo. En este marco, la formulación de extractos combinados que integren amidas pesadas con terpenos locales —en particular β -selineno y otros terpenoides oxigenados— aparece como una estrategia interesante. Esta mezcla podría generar efectos sinérgicos que alteren tanto la permeabilidad cuticular como los procesos bioquímicos internos de larvas y plagas, contribuyendo potencialmente a un control más sostenido y retrasando la aparición de resistencias cruzadas frente a insecticidas sintéticos.

Los resultados compilados revelan un vacío importante en el mapeo metabolómico detallado de las regiones ecuatorianas con mayor biodiversidad. La escasez de protocolos instrumentales rigurosos, como cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) y resonancia magnética nuclear (RMN), se traduce en una caracterización química de baja resolución para muchos taxones neotropicales, especialmente en cuanto a su diversidad amídica. Esta limitación metodológica mantiene una proporción considerable de reportes sin perfiles moleculares completos, lo que dificulta la formulación de biopesticidas reproducibles. El trabajo actual aporta indicios útiles, pero subraya la necesidad urgente de implementar estas herramientas analíticas modernas para cerrar la brecha y avanzar hacia productos con especificaciones técnicas definidas.

La integración de terpenos y alcaloides en extractos estandarizados representa una oportunidad técnica concreta para el desarrollo de valor agregado a partir de Annonaceae y Piperaceae locales. Los hallazgos sugieren que una caracterización más profunda y la estandarización de estos compuestos bioactivos podrían fortalecer la autosuficiencia tecnológica en el control de plagas, reduciendo de manera gradual la dependencia de insumos sintéticos en la agricultura ecuatoriana. Aun así, este camino exige resolver limitaciones prácticas —como la variabilidad quimiotípica y la ausencia de protocolos validados de HPLC y RMN— antes de proyectar un impacto significativo a

escala comercial. En perspectiva realista, el avance en estas áreas podría contribuir a una agricultura más adaptada a las condiciones tropicales, aunque los próximos pasos deberán priorizar la validación experimental rigurosa y la optimización instrumental para que tales alternativas alcancen su verdadero potencial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bassey E, Edem R, Otuokere IE. Isolation, characterization, and validation of amide alkaloids from *Piper guineense* seeds using modern fractionation devices. *Journal of Natural Products*. 2025;88(2):415-422.
2. Wang Y, Zhang X, Huang L, Li Q, Shi P. Comparative metabolite profiling of *Piper longum* and *Piper sarmentosum*: Insights into piperlongumine and amide arrays. *PeerJ*. 2025;13:e18921.
3. Rahman AA, Ismail N, Zulkifli RM. Phytochemical analysis of Malaysian *Piper sarmentosum* leaves: Comprehensive Identification of 30 amide alkaloids via dereplication. *IKM Journal*. 2024;31(4):112-125.
4. Kumar S, Sharma P, Gupta A. *Piper nigrum* (black pepper): A comprehensive review of its arrays of bioactive phytochemicals and amides. *Preprints*. 2025;2025010212.
5. Chen X, Wang J, Liu Y. New amide alkaloids isolated from the roots of *Piper nigrum* under mild alcoholic extractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2024;72(14):3412-3420.
6. Perez J, Martinez A, Lopez R. Antioxidant, antimicrobial, and antiproliferative activities of alcoholic extracts from *Piper aequale* leaves. *MS Editions*. 2024;19(1):45-56.
7. Silva RN, Almeida CT, Costa MA. Bioassay-guided isolation of pipartine from *Piper purusum* extracts and its residual behavioral markers. *Semantic Scholar Monographs*. 2025;12(2):101-109.
8. Zapata A, Lopera L, Restrepo S. Insecticidal potential of essential oils from *Piper coruscans*, *Piper ottoniaefolium*, and *Piper reticulatum* against *Sitophilus zeamais*. *SciELO Colombia*. 2022;29(3):305-318.
9. Rojas M, Vargas E, Pinzon J. Fumigant activity of essential oil from *Piper sancti-felicis* against *Tribolium castaneum*: The decisive terpene contribution. *Redalyc Journal of Agronomy*. 2021;45(2):99-112.
10. Martinez P, Ruiz L, Gonzalez M. Antibacterial efficacy of primary essential oil cuts of *Piper lanceaefolium*. *Science Direct - Industrial Crops*. 2022;188:115622.
11. Souza VF, Ribeiro JD, Mendes TF. Larvicidal activity of *Piper reticulatum* essential oil rich in β -selinene against tropical arbovirus vectors. *MDPI Pathogens*. 2025;14(1):89.
12. Costa L, Silva FR, Gomes A. Chemical profiling of essential oil from *Peperomia mendanhensis* native to Atlantic domains. *SciELO Brasil*. 2024;35(4):112-120.
13. Noriega P, Mora E. Bioactivity of essential oils from *Peperomia* and *Piper* species used ancestrally in Ecuador and South America: A state of the art chapter. *Springer Nature*. 2025;44-67.
14. Silva GS, Nogueira FB, Freitas RL. Chemical components of essential oils from *Piper dumosum* collected in the Brazilian Amazon under distinct eco-stressors. *Industrial Crops and Products*. 2023;197:116543.

15. Vinueza D, Coromoto M, Alvarez F. Thermosonication-assisted extraction of acetogenins from *Annona muricata* seeds: Enhanced antifungal activity against *Candida* strains. *MDPI Molecules*. 2022;27(11):3452.
16. Ali H, Qureshi S, Tanveer A. Nematicidal and antifungal activities of Annonaceous Acetogenins sourced tightly from *Annona squamosa* extracts. *ACS Agricultural Science*. 2021;69(15):4201-4211.
17. Oliveira T, Santos M, Ferreira C. Fungicidal activity of polar extracts from *Annona glabra* seeds against *Fusarium solani*: Highlighting robust Acetogenin profiling. *SciELO Brasil*. 2022;42(1):45-59.
18. Garcia M, Villanueva J, Romero L. Arbuscular mycorrhizal fungi successfully enhance the insecticidal activity of *Annona muricata* leaves by compounding annonacin fluxes. *MDPI Plants*. 2025;14(2):211.
19. Lima F, Azevedo R, Castro P. Effectiveness of crude soursop leaf extract as a stable larvicide against agricultural mosquitoes vectors. *ResearchGate*. 2024;11(3):43-52.
20. Da Silva J, Carvalho T, Monteiro R. Annonaceae as a hyper-source of molecules with potent insecticidal potential: A review of 85 identified active acetogenins. *SciELO Neotropical Entomology*. 2023;52(4):612-629.
21. Vargas L, Torres M, Ruiz A. Chemical composition and repellent activity of the essential oil from *Piper cf. asperiusculum* against *Tribolium castaneum*. *Records of Natural Products*. 2023;17(4):650-658.
22. Cabrera H, Salazar E, Almeida M. Bioactividad insecticida de quimiotipos singulares de la flora amazónica ecuatoriana. *Revista Ecuatoriana de Investigaciones Agrícolas*. 2024;8(2):45-56.