

Resumen

Los Productos Forestales No Maderables (PFNM) representan recursos estratégicos para la transición hacia una bioeconomía circular. Sin embargo, la información sobre tecnologías de transformación se encuentra dispersa, limitando su aprovechamiento agroindustrial. El estudio tuvo como objetivo desarrollar una matriz de materias primas, tecnologías y productos para el aprovechamiento agroindustrial de PFNM. La metodología se basó en la aplicación parcial de la declaración PRISMA 2020, con apoyo de *Bibliometrix* en R, consultando *Scopus* y *Web of Science* (2021–2026), y análisis de tendencias con *Google Trends*. Se consolidaron 18 artículos, identificando 30 materias primas y 34 productos finales a través de 52 rutas tecnológicas codificadas como TAG-PFNM. La mayoría de las tecnologías se concentran en TRL 3-4, indicando validación experimental, mientras que tecnologías asociadas a productos alimenticios alcanzan TRL 7-9. Operaciones transversales como extracción, molienda y secado constituyen el núcleo operativo del procesamiento. La matriz desarrollada constituye una herramienta para construir rutas de valorización y oportunidades de integración productiva. Las investigaciones provienen principalmente de Brasil, México, Colombia y Malasia, mientras que Ecuador presenta participación limitada, evidenciando la necesidad de fortalecer capacidades locales para aprovechar su biodiversidad y contribuir al desarrollo sostenible.

Palabras clave

productos forestales no maderables; matriz tecnológica; aprovechamiento agroindustrial; nivel de madurez tecnológica; Amazonía ecuatoriana

Abstract

Non-Timber Forest Products (NTFPs) represent strategic resources for the transition to a circular bioeconomy. However, information on processing technologies is scattered, limiting their agro-industrial use. This study aimed to develop a matrix of raw materials, technologies, and products for the agro-industrial use of NTFPs. The methodology was based on the partial application of the 2020 PRISMA statement, supported by *Bibliometrix* in R, consulting *Scopus* and *Web of Science* (2021–2026), and analyzing trends with *Google Trends*. Eighteen articles were consolidated, identifying 30 raw materials and 34 final products through 52 technological pathways coded as TAG-NTFPs. Most technologies are concentrated at Technology Readiness Levels (TRLs) 3–4, indicating experimental validation, while technologies associated with food products reach TRLs 7–9. Cross-cutting operations such as extraction, milling, and drying constitute the core of the processing. The developed matrix serves as a tool for constructing value chains and opportunities for productive integration. The research originates primarily from Brazil, Mexico, Colombia, and Malaysia, while Ecuador's participation is limited, highlighting the need to strengthen local capacities to leverage its biodiversity and contribute to sustainable development.

Keywords

non-timber forest products; technology matrix; agro-industrial utilization; technology readiness level; Ecuadorian Amazon

Direcciones

¹Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Pastaza, Ecuador. Email: nb.trianam@uea.edu.ec, sv.munozc@uea.edu.ec, amperez@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia Cómo citar

Noelly Britney Triana Muñoz. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Pastaza, Ecuador. Email: nb.trianam@uea.edu.ec

TRIANA MUÑOZ, Noelly Britney, MUÑOZ CERREZO, Shessit Vett and PÉREZ MARTÍNEZ, Amaury 2026. Matriz de tecnologías y productos forestales no maderables para el aprovechamiento agroindustrial. PrePrint UEA. Vol. AGI2626. p. ep01–1228. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2626ep01-1228>

Editores Académicos

Billy Daniel Coronel Espinoza

Editorial

Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA. 

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.

Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

A nivel global, los PFNM contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria y a los medios de vida de millones de personas, especialmente en regiones megadiversas como América Latina, África y el Sudeste Asiático (Shackleton et al. 2024). Se estima que aproximadamente 2.770 millones de personas en el Sur Global utilizan PFNM de alguna manera, y estos productos pueden representar hasta el 24,41 % del ingreso de los hogares rurales en países en desarrollo (Boyapati et al. 2025). Los PFNM cumplen funciones vita-

les como fuentes de alimentos, medicinas y materiales de construcción, representando una alternativa sostenible para la diversificación de ingresos en comunidades rurales (Arancibia Alfaro et al. 2024).

Los Productos Forestales No Maderables (PFNM) son bienes de origen biológico, distintos de la madera, que se obtienen de los bosques y otras tierras arboladas (Frey et al. 2023). Estos productos incluyen una amplia gama de recursos como frutos, semillas, resinas, fibras, cortezas, hongos y plantas medicinales, entre otros, que han sido utilizados tradicionalmente por comunidades rurales para la alimentación, la

medicina y la generación de ingresos (Min et al. 2024).

En la actualidad, los PFNM son reconocidos como recursos estratégicos para la transición hacia una bioeconomía circular, debido a su capacidad para sustituir productos de origen fósil y promover el uso eficiente de los recursos naturales (Maximo et al. 2022). La versatilidad de estos recursos se evidencia en la diversidad de productos que se pueden obtener a partir de sus diferentes partes. Por ejemplo, Rosa et al. (2024) y Meinhold et al. (2022) han demostrado que frutos como el cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) y el baobab (*Adansonia digitata*) poseen un alto potencial agroindustrial para la obtención de alimentos funcionales, cosméticos y productos farmacéuticos. De manera similar, Rojas et al. (2020) y de Oliveira Moreira et al. (2021) señalan que especies como la candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*) y la copaiba (*Copaifera* spp.) son fuentes valiosas de compuestos bioactivos con aplicaciones en las industrias cosmética y farmacéutica. Asimismo, el ratán (*Calamus* spp.) ha sido ampliamente estudiado por sus aplicaciones en biocompuestos y materiales sostenibles (Hamid 2025).

La demanda creciente de productos naturales y sostenibles ha impulsado el desarrollo de tecnologías de transformación aplicadas a los PFNM, permitiendo la obtención de productos con alto valor agregado (Sacchelli et al. 2021). Sin embargo, la información sobre estas tecnologías se encuentra dispersa y carece de una organización sistemática que permita identificar las mejores rutas tecnológicas y optimizar los procesos productivos (Rosa et al. 2024). Esta ausencia de sistematización dificulta la identificación de oportunidades de innovación y la generación de nuevos productos, especialmente en el contexto de la valorización de subproductos y residuos agroindustriales (Janceva et al. 2025).

En este contexto, las matrices tecnológicas han demostrado ser herramientas valiosas para la toma de decisiones en sistemas productivos complejos, al permitir una visión integral de las rutas de transformación y sus interacciones. Vinocunga-Pillajo et al. (2025) destacan que su construcción requiere un análisis detallado de las operaciones unitarias, los insumos requeridos y los productos obtenidos, lo que facilita la estandarización de procesos y la identificación de cuellos de botella tecnológicos. En el caso particular de los PFNM, donde la información tecnológica se encuentra dispersa, estas matrices cumplen un rol fundamental al organizar el conocimiento disponible y orientar la inversión en investigación aplicada (Manning 2023). La aplicación de este tipo de herramientas en el contexto de los PFNM permite identificar las operaciones unitarias más recurrentes, los niveles de madurez tecnológica y las oportunidades de escalamiento industrial (Lopes et al. 2025).

A pesar de los avances en la investigación sobre PFNM, la información sobre sus tecnologías de procesamiento y productos derivados se encuentra dispersa, lo que dificulta identificar oportunidades de valor agregado (Chauhan et al. 2021; Jiménez González et al. 2025). Esta situación es particularmente relevante en países megadiversos como Ecuador, donde existe un alto potencial de aprovechamiento de recursos forestales no maderables que aún no ha sido sistematizado. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar una matriz de materias primas, tecnologías y productos para el aprovechamiento agroindustrial

de los Productos Forestales No Maderables, que sirva como herramienta de planificación y gestión para la toma de decisiones en el sector.

2. Metodología

La información necesaria para la elaboración de la matriz fue recuperada siguiendo de forma parcial las directrices establecidas en la declaración PRISMA 2020 (Page et al. 2021), adaptando los criterios de elegibilidad e inclusión al contexto de esta investigación. Sin embargo, no fue posible dar cumplimiento a la totalidad de los ítems metodológicos (evaluación del riesgo de sesgo, medidas de efecto, métodos de síntesis estadística, evaluación de sesgos de publicación y certeza de la evidencia), debido a que el propósito del estudio es contar con la información sobre las materias primas, tecnologías y productos que se pueden obtener de los PFNM.

El proceso de recuperación se realizó siguiendo las directrices establecidas, con el apoyo de la herramienta *Bibliometrix* en el entorno de programación R para la gestión y depuración de los registros documentales, como se detalla en la **Figura 1**. Adicionalmente, se realizó un análisis exploratorio de tendencias de búsqueda mediante la plataforma *Google Trends* para contextualizar el interés global sobre el aprovechamiento agroindustrial de los Productos Forestales No Maderables (PFNM).

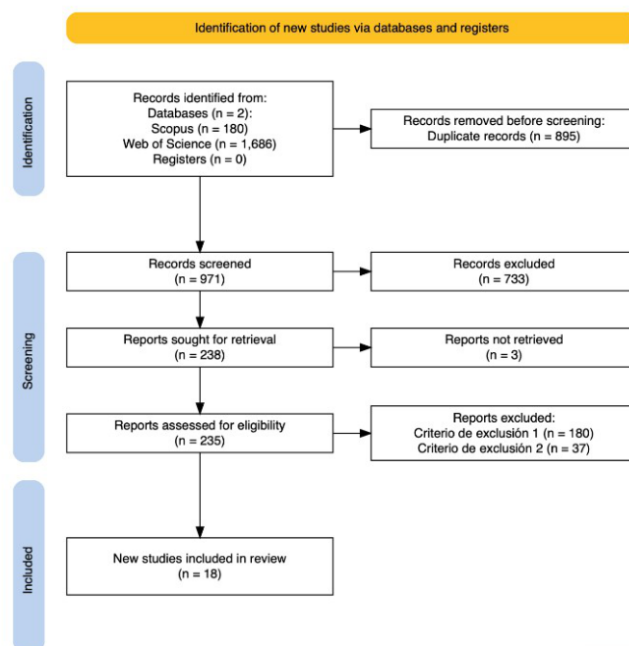


Figura 1 | Diagrama PRISMA. Modificado (Page et al. 2021).

La **Tabla 1** muestra los métodos utilizados para la verificación de la metodología PRISMA, abarcando los criterios de elegibilidad, fuentes de información, estrategias de búsqueda, procesos de selección de estudio, extracción de datos y la lista de datos organizada cronológicamente.

La información recuperada fue organizada en matrices que permitieron identificar y estructurar las diferentes rutas tecnológicas asociadas al aprovechamiento de los PFNM. Para la codificación de las rutas, se empleó el sistema TAG-PFNM (Tecnología Agroindustrial para Productos Forestales No Maderables), asignando un número secuencial del 01 al 52 a cada trayectoria operativa identificada, siguiendo la metodología propuesta por Vinocunga-Pillajo et al. (2025).

Tabla 1 | Métodos para la verificación PRISMA. Modificado de Page et al. (2021).

Método	Descripción
Criterios de elegibilidad	Se incluyeron artículos de investigación y revisión publicados entre 2021 y 2026, en idioma inglés, relacionados con el aprovechamiento agroindustrial de PFNM y sus tecnologías de transformación. Se excluyeron documentos sin acceso completo, con información insuficiente, sin descripción de procesos tecnológicos agroindustriales, publicados en otros idiomas o enfocados exclusivamente en recursos forestales maderables.
Fuentes de información	La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos <i>Scopus</i> y <i>Web of Science</i> (WoS), empleando términos relacionados con PFNM y su aprovechamiento agroindustrial. Tras la eliminación de registros duplicados se obtuvieron 971 documentos para evaluación inicial.
Estrategias de búsqueda	La recopilación de información se realizó mediante una ecuación de búsqueda conformada por combinaciones de palabras clave vinculadas a los PFNM y sus procesos de transformación. Se utilizó el término troncal " <i>non-timber forest products</i> " combinado con cada una de las dieciocho industrias objetivo, entre ellas " <i>food industry</i> " (<i>Scopus</i> : 56; <i>WoS</i> : 138), " <i>pharmaceutical industry</i> " (<i>Scopus</i> : 24; <i>WoS</i> : 87), " <i>cosmetics industry</i> " (<i>Scopus</i> : 17; <i>WoS</i> : 120), " <i>textile industry</i> " (<i>Scopus</i> : 2; <i>WoS</i> : 104), " <i>biofuel industry</i> " (<i>Scopus</i> : 1; <i>WoS</i> : 100), " <i>chemical industry</i> " (<i>Scopus</i> : 17; <i>WoS</i> : 114), " <i>energy industry</i> " (<i>Scopus</i> : 8; <i>WoS</i> : 106), " <i>beverage industry</i> " (<i>Scopus</i> : 4; <i>WoS</i> : 102), " <i>rubber and plastic articles industry</i> " (<i>Scopus</i> : 0; <i>WoS</i> : 100), " <i>medical devices industry</i> " (<i>Scopus</i> : 0; <i>WoS</i> : 100), " <i>agronomic industry</i> " (<i>Scopus</i> : 0; <i>WoS</i> : 100), " <i>animal feed industry</i> " (<i>Scopus</i> : 0; <i>WoS</i> : 9), " <i>electrical industry</i> " (<i>Scopus</i> : 0; <i>WoS</i> : 100), " <i>extractive industry</i> " (<i>Scopus</i> : 8; <i>WoS</i> : 104), " <i>construction materials industry</i> " (<i>Scopus</i> : 4; <i>WoS</i> : 104), " <i>agrochemical industry</i> " (<i>Scopus</i> : 0; <i>WoS</i> : 68), " <i>wood industry</i> " (<i>Scopus</i> : 39; <i>WoS</i> : 126) y " <i>phytopharmaceutical industry</i> " (<i>Scopus</i> : 0; <i>WoS</i> : 4). Se aplicaron filtros de periodo (2021–2026), idioma (inglés) y tipo de documento (artículos de investigación y de revisión) para asegurar la pertinencia de los estudios seleccionados.
Procesos de selección de estudio	La búsqueda inicial identificó 1 866 registros (<i>Scopus</i> = 180; <i>WoS</i> = 1 686). Tras la eliminación de 895 duplicados mediante <i>Bibliometrix</i> , se evaluaron 971 registros. Posteriormente, se excluyeron 733 documentos por filtros de idioma, fecha y tipo de publicación según se indicó anteriormente, obteniendo 238 registros. De estos, no fue posible recuperar tres documentos debido a restricciones de acceso. Se obtuvieron 235 documentos restantes, los cuales se evaluaron mediante dos criterios. Criterio 1: se excluyeron 180 documentos porque las materias primas estudiadas no contaban con tecnologías de transformación. Criterio 2: se excluyeron 37 documentos porque no describían las operaciones.
Estudios incluidos finalmente	Se consolidaron un total de 18 artículos después de todos los filtros de elegibilidad y exclusión definidos en el diagrama PRISMA. Para la estructuración de la matriz de diversificación, se desarrolló un procedimiento de codificación alfanumérico adaptado específicamente para este estudio, el cual permite identificar de forma secuencial y estructurada las distintas trayectorias operativas, desde la recepción de la fracción vegetal hasta la obtención del producto final. Por su parte, la asignación del Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) no fue arbitraria; se basó en la escala estandarizada de nueve niveles, adaptada metodológicamente a contextos agroindustriales.
Procesos de extracción de datos	Se sistematizó la información relevante de cada estudio seleccionado, considerando aspectos como el tipo de tecnología aplicada al PFNM, las condiciones operativas reportadas, los niveles de aprovechamiento de las distintas fracciones (corteza, frutos, semillas, resinas, fibras, hojas, etc.), así como los impactos en eficiencia productiva, rendimiento energético y sostenibilidad ambiental. También se tomó en cuenta la calidad y características de los productos obtenidos. Los datos recopilados fueron organizados en matrices comparativas para facilitar su análisis y posterior estructuración dentro de la propuesta metodológica.
Lista de datos	Como resultado de este proceso, se consolidó un total de 18 artículos que aportaban información pertinente para la construcción de la matriz de tecnologías y productos.

La asignación del Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) se realizó considerando el nivel de madurez experimental reportado en cada estudio, conforme a la escala estandarizada de nueve niveles de la NASA descrita por Manning (2023) en el *Space Communications and Navigation (SCaN) Program*, la cual va desde la observación de principios científicos básicos (TRL 1) hasta la demostración de un sistema completo y probado en condiciones operativas reales (TRL 9), pasando por la prueba de concepto (TRL 1–3), la validación en laboratorio o entorno simulado (TRL 4–6) y la demostración en entorno operativo (TRL 7–9). Este nivel se determinó a partir de la escala de desarrollo del proceso (laboratorio, planta piloto o escala industrial), el grado de implementación en el sector productivo y la disponibilidad tecnológica documentada (evidencia experimental, prototipos funcionales o sistemas ya comercializados).

El uso del TRL en el presente estudio se justifica como una herramienta que permite diferenciar tecnologías emergentes de aquellas ya consolidadas, facilitando el análisis comparativo y la identificación de alternativas con mayor viabilidad de implementación en sistemas agroindustriales (Manning 2023). Con el propósito de examinar la evolución reciente

del conocimiento sobre el aprovechamiento agroindustrial de los PFNM, se desarrolló un análisis que integró la revisión de tendencias digitales mediante *Google Trends* y la exploración sistemática de literatura científica publicada entre 2021 y 2026. La búsqueda y descarga de los registros bibliográficos en *Scopus* y *Web of Science* se realizó el 17 de junio de 2026. Se analizaron términos relacionados con transformación industrial, valorización de subproductos, bioenergía y obtención de derivados, lo que permitió identificar variaciones en el interés y en la producción investigativa a nivel internacional. Esta información fue contrastada con los artículos seleccionados en bases de datos académicas, permitiendo relacionar la dinámica de búsqueda con la evidencia científica disponible.

Durante el proceso se observó que, aunque diversas investigaciones mencionan niveles de desarrollo o escalamiento tecnológico, en muchos casos no se detallan los criterios empleados para su clasificación, lo que justificó la necesidad de una matriz estructurada que permita organizar y evaluar de manera más consistente las tecnologías aplicadas al sector. La construcción de dicha matriz siguió la metodología propuesta por Vinocunga-Pillajo et al. (2025), adaptada

al contexto de los PPNM, lo que permitió establecer una relación sistemática entre materias primas, operaciones unitarias y productos finales.

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis del comportamiento de las tendencias de búsquedas para los productos forestales no maderables y comportamiento de las publicaciones.

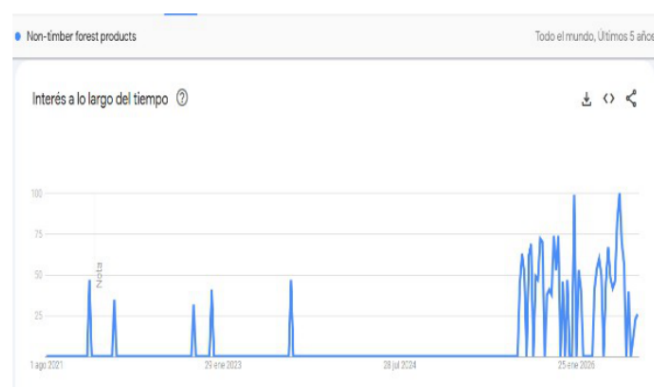
En la **Figura 2** se sistematizan los datos estadísticos sobre el interés de búsqueda relacionado con los Productos Forestales No Maderables (PFNM). La información fue extraída de la plataforma *Google Trends* y de la revisión sistemática de literatura científica.

La **Figura 2A** muestra un comportamiento creciente del interés por los PPNM a nivel global. Durante los primeros años (2021–2024), el interés se mantuvo en niveles relativamente bajos y estables. A partir del segundo semestre de

2025, se evidencia un crecimiento exponencial. El interés alcanza su punto máximo en noviembre de 2025 con un valor de 100 en la escala de *Google Trends*. Este comportamiento sugiere una creciente relevancia global de los PPNM. Este fenómeno podría estar asociado a la consolidación de estrategias de bioeconomía y economía circular (Maximo et al. 2022; Sacchelli et al. 2021).

La **Figura 2B** muestra que los países con mayor interés relativo en las búsquedas son Zimbabwe, Etiopía, Camerún, Nepal y Nigeria. Esta distribución evidencia que el interés se concentra en África subsahariana y Asia meridional. En estas regiones, los PPNM contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria y los ingresos de comunidades rurales (Shackleton et al. 2024; Min et al. 2024).

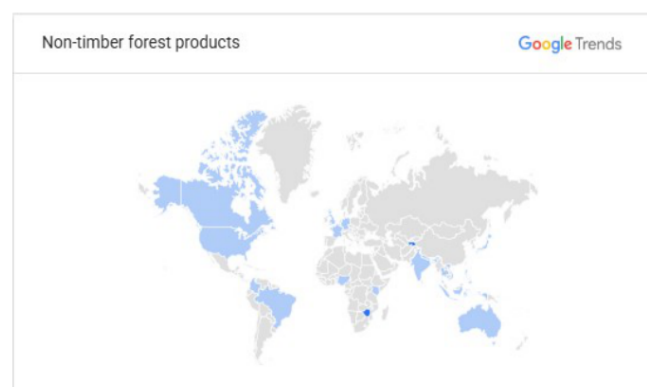
Al comparar la **Figura 2A** con la **Figura 2C**, se observa una tendencia ascendente tanto en el interés público como en la producción científica. Sin embargo, el crecimiento del interés en *Google Trends* (2025) es más pronunciado que el aumento de publicaciones científicas en el mismo periodo.



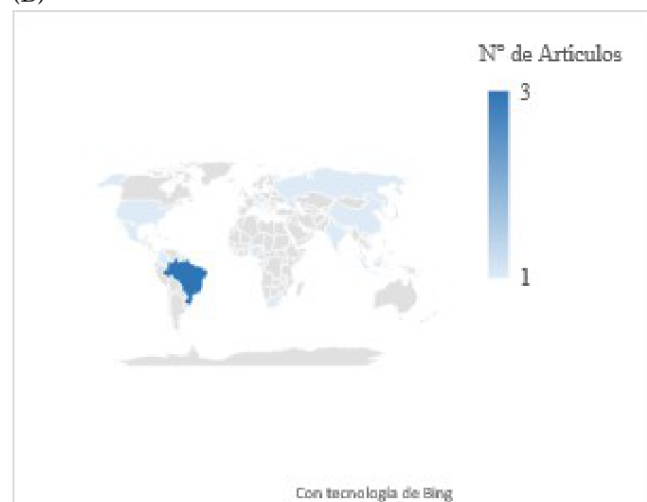
(A)



(C)



(B)



(D)

Figura 2 | Comportamiento del interés de búsqueda y de las publicaciones científicas sobre materias primas, tecnologías y productos forestales no maderables. (A) Evolución temporal del interés de búsqueda a nivel mundial para el término "*non-timber forest products*"; (B) distribución geográfica mundial del interés de búsqueda por país; (C) producción científica anual de los artículos analizados; (D) distribución geográfica de los países de filiación de los artículos científicos analizados.

Este desfase sugiere que el interés social y mediático por los PPNM está creciendo a un ritmo mayor que la generación de conocimiento científico. La brecha entre el interés público y la producción académica evidencia la necesidad de fortalecer la investigación aplicada en el campo de los PPNM.

La **Figura 2D** evidencia una ausencia total de publicaciones sobre aprovechamiento agroindustrial de PPNM originadas en Ecuador, dentro de la literatura recuperada bajo los criterios de búsqueda utilizados. Este hallazgo contrasta con la presencia de múltiples estudios provenientes de países

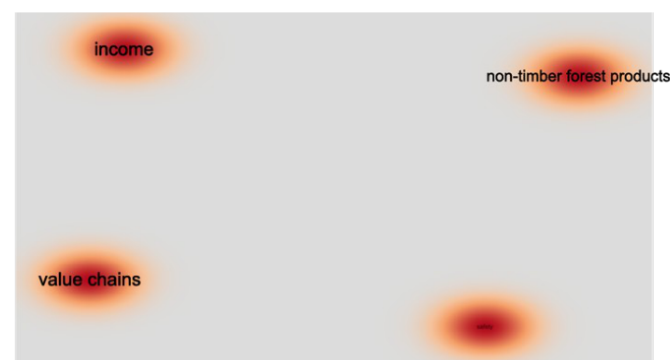
vecinos como Brasil, Colombia y Bolivia.

La Amazonía ecuatoriana alberga una alta diversidad de especies con potencial agroindustrial. Sin embargo, la ausencia de producción científica en el país evidencia una brecha crítica entre el potencial biológico y el desarrollo tecnológico local. Esta situación justifica la necesidad de fortalecer las investigaciones aplicadas en el país.

3.1.1. Análisis de las palabras claves de co-ocurrencia de los estudios incluidos.



(A)



(B)

Figura 3 | (A) Red de co-ocurrencia (B) Densidad de la red de co-ocurrencia. Generado en Biblioshiny (Aria et al. 2026).

3.2 Identificación de materias primas, tecnologías y productos obtenidos a partir de PFM.

La **Tabla 2** sistematiza las operaciones unitarias y condiciones de proceso para la transformación de 30 materias primas distribuidas en la matriz en 34 productos finales. Las operaciones varían desde acondicionamiento mecánico como corte, molienda, tamizado hasta procesos fisicoquímicos y biotecnológicos. La diversidad de partes vegetales aprovechadas como cortezas, frutos, semillas, hojas, fibras y resinas evidencia que la valorización de PFM no solo depende de un tipo de recurso, definiendo según su naturaleza las operaciones y los productos a obtener. Las tecnologías identificadas pueden agruparse en dos enfoques. El primero en cortezas y hojas, se basa en tecnologías de extracción química para la obtención de compuestos bioactivos. El estudio de Muñoz-Acevedo et al. (2024) demuestran que las Lauraceae amazónicas requieren un abordaje dual: la maceración con acetato de etilo durante siete días a 25 °C recupera alcaloides aporfínicos, mientras que la destilación-extracción simultánea durante dos horas se orienta a sesquiterpenos volátiles. Esto se complementa con Silva et al. (2021), quienes reportan que la extracción secuencial con solventes de polaridad creciente en cortezas de la Caatinga permite un fraccionamiento efectivo de metabolitos, aunque los rendimientos varían según el solvente empleado.

El segundo enfoque, en frutos y semillas, recurre a operaciones mecánicas y biotecnológicas como despulpado, prensado, fermentación y secado. Rosa et al. (2024) describen que el copoazú (*Theobroma grandiflorum*) se procesa mediante un esquema de aprovechamiento integral: la pulpa se congela para consumo directo, las semillas se fermentan durante siete días y se tuestan a 180 °C para obtener manteca y cupulate, mientras que la cáscara se transforma en hari-

El análisis de co-ocurrencia de palabras clave, generado mediante *Bibliometrix* a partir de los 18 estudios incluidos, permitió identificar la estructura temática de la literatura sobre PFM como se muestra en la **Figura 3**. La red de co-ocurrencia que se observa en la **Figura 3A** y su correspondiente mapa de densidad en la **Figura 3B** revelan dos asociaciones conceptuales claramente diferenciadas: la primera vincula *nontimber forest products* con *safety*, mientras que la segunda relaciona *income* con *value chains*.

na y pectina. En contraste, el procesamiento de la marula (*Sclerocarya birrea*) reportado por Shackleton et al. (2024) se limita a la fermentación para producción de vino, evidenciando que el grado de diversificación productiva varía significativamente entre especies.

Un hallazgo importante es el aprovechamiento de la biomasa como lo describen Rojas et al. (2020) con la candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*): del tallo se obtiene cera microencapsulada, del bagazo se extraen compuestos fenólicos y mediante fermentación en estado sólido se produce la enzima elagitanasa, mientras que el residuo lignocelulósico se convierte en nanocrisales de celulosa. Este modelo, aunque desarrollado a escala de laboratorio, evidencia cómo una misma materia prima puede generar varios ingresos. Sin embargo, muchas de estas tecnologías requieren condiciones controladas y reactivos que limitan su transferencia directa a entornos rurales, lo que subraya la necesidad de identificar operaciones básicas (molienda, prensado, secado solar) que sean viables con infraestructura mínima.

La Tabla 2 evidencia que los PFM ofrecen un amplio espectro de oportunidades para la diversificación agroindustrial. Las operaciones de molienda, secado y extracción son transversales a la mayoría de las rutas. La diversidad de productos obtenidos a partir de una misma materia prima demuestra que el enfoque de aprovechamiento integral maximiza el valor económico. La concentración de estudios en Brasil, México, Colombia y Malasia refleja una tradición consolidada en la investigación de PFM, mientras que Ecuador presenta una participación limitada, a pesar de compartir ecosistemas similares. Esta brecha representa una oportunidad para desarrollar líneas de investigación que permitan adaptar y validar estas tecnologías.

Tabla 2 | Materias primas, partes vegetales y tecnologías de los productos forestales no maderables. (NR: No reportado)

Materia prima	Parte	Tecnología	Condiciones de operación	TRL	Producto	Referencias
Planta		Operaciones				
<i>Aniba panurensis</i> , <i>Nectandra cuspidata</i> , <i>Ocotea cymbarum</i> y <i>Ocotea myriantha</i>	Hojas, ramas jóvenes y material foliar seco	Corte	0,5–2 mm, reducción de tamaño inicial.	3	<i>Aniba panurensis</i> : Extracto rico en alcaloides aporfinicos y derivados fenólicos <i>Nectandra cuspidata</i> : Extracto lipofilico con alta concentración de metabolitos polares/semipolares no volátiles <i>Ocotea cymbarum</i> : Extracto resinoso con trazas de fenilpropanoides complejos. <i>Ocotea myriantha</i> : Extracto crudo enriquecido en alcaloides y compuestos fenólicos lipofilicos	(Muñoz-Acevedo et al. 2024)
		Molienda	Molienda mecánica hasta obtener un tamaño de partícula fino y uniforme.			
		Dosificación	Muestra exacta de 30 g de partes molidas.			
		Extracción por maceración simple	Volumen de 100 mL de acetato de etilo y agitación constante a 25 °C durante 7 días.			
<i>Aniba panurensis</i> , <i>Nectandra cuspidata</i> , <i>Ocotea cymbarum</i> y <i>Ocotea myriantha</i>	Hojas, ramas jóvenes y material foliar seco	Filtración	Medio filtrante para separar el residuo sólido de madera del extracto líquido.	3	<i>Aniba panurensis</i> : Fracción concentrada en ésteres aromáticos benzenoides y sesquiterpenos. <i>Nectandra cuspidata</i> : Fracción rica en sesquiterpenos (ej. α-copaeno y α-cubebeno). <i>Ocotea cymbarum</i> : Fracción con presencia marcada de monoterpenos oxigenados (ej. α-terpineol y eucaliptol). <i>Ocotea myriantha</i> : Fracción dominada por sesquiterpenos hidrocarbureados (ej. biciclogermacreno). Aceite esencial	(Muñoz-Acevedo et al. 2024)
		Evaporación	Evaporación del acetato de etilo mediante rotavapor a presión reducida hasta obtener el extracto total seco/viscoso.			
		Corte	0,5–2 mm, reducción de tamaño inicial.			
		Molienda	Reducción mecánica de tamaño de partícula.			
		Dosificación	Muestra exacta de 10 g de madera homogeneizada.			
		Extracción simultánea (SDE; fracción Volátil)	Disposición de muestra acuosa 2 mL de diclorometano (CH ₂ Cl ₂) en el matraz del solvente dentro de un aparato Likens-Nickerson. Destilación por arrastre con vapor y extracción líquido-líquido simultánea. Tiempo de operación continuo de 2 horas.			
<i>Euphorbia antispyhilitica</i> Zucc.	Tallo	Selección	NR	3	Cera microencapsulada	(Rojas et al. 2020)
		Extracción	Por hidrólisis térmica, usando H ₂ SO ₄ al 2 %.			
		Atomización	Encapsulación mediante enfriamiento por atomización para matrices de liberación lenta.			
	Bagazo	Molienda	Reduce de tamaño la partícula.	3	Extractos bioactivos (ácido elágico, candelitanino y polifenoles)	
		Lixiviación	Extracción sólido-líquido utilizando mezclas de etanol/agua o metanol para liberar compuestos fenólicos y taninos.			
	Bagazo	Selección	Obtención del residuo lignocelulósico tras la extracción de cera.	3	Fibra de bagazo (CBF) y nanocristales de celulosa (NCC)	
		Fermentación	En estado sólido (FES) Cultivo fúngico sobre soporte de fibra de candelilla como sustrato sólido para producir la enzima elagitanasa.			
		Mezclado	Fundido con polipropileno (PP) con estabilidad térmica hasta aproximadamente 200 °C.			
<i>Amorphophallus bulbifer</i>	Tubérculo	Acondicionamiento químico	Caracterización estructural mediante FT-IR, TGA, XRD y SEM para la síntesis de nanocristales.	8	Paste o pastel alimenticio (Batema)	(Min et al. 2024)
		Lavado	Limpieza física de tierra y suciedad.			
		Prensado	NR			
		Cocción	Tratamiento térmico tradicional			
<i>Euterpe precatoria</i> Mart. <i>Oenocarpus bataua</i> Mart.	Fruto	Moldeo	Cuajado del pastel alimenticio	7	Pulpa de fruta	(Arancibia Alfaro et al. 2024)
		Selección	NR			
		Desinfección	NR			
		Despulpado	NR			
		Empacado	NR			
		Congelación	NR			

<i>Sclerocarya birrea</i>	Fruto	Extracción	NR	4	Vino de marula	(Shackleton et al. 2024)
		Fermentación	NR			
<i>Euterpe oleracea</i> / <i>Euterpe edulis</i>	Fruto	Recepción	NR	7	Pulpa de fruta	(Shackleton et al. 2024)
		Despulpado	NR			
<i>Adansonia digitata</i> L.	Fruto	Despulpado	NR	9	Pulpa de fruta	(Meinhold et al. 2022)
		Filtrado	NR			
	Fruto	Extracción	NR	3	Extracto líquido depectinizado	(Meinhold et al. 2022)
		Depectinización	NR			
	Semillas	Prensado	NR	7	Aceite de semilla de baobab	(Meinhold et al. 2022)
					Ungüento antifúngico	(Jiménez González et al. 2025)
<i>Bixa orellana</i> L.	Hojas	Selección	NR	3		
		Lavado	NR			
		Secado	NR			
		Triturado	NR			
		Extracción sólido-líquido	Agua y etanol (extraíbles hidroalcohólicos).			
		Filtración	NR			
		Formulación	Dosificación: Extracto al 25% en la formulación.			
<i>Irvingia gabonensis</i>	Semillas	Envasado	NR			
		Triturado	Acondicionamiento mecánico inicial de la semilla.	5	Manteca	(Koumba Ibinga et al. 2022)
		Prensado	Mecánico continuo tornillo sin fin: Flujo del alimentador: 1 kg/h. Geometría: Boquilla de 7 mm (distancia al tornillo de 0,5 cm). Temperatura del anillo térmico: 40 °C. Temperatura del cabezal de extrusión: 90–120 °C. Temperatura de salida del Aceite: 60 C. Temperatura de la torta: 70 °C.			
		Reprensado	Segundo paso de la torta residual por el tornillo para maximizar extracción.			
		Licuefacción	Equipamiento: Horno/estufa térmica. Temperatura: 50°C (para fundir sólidos suspendidos).			
		Centrifugación	Fuerza centrífuga: 10 000×g. Temperatura: 30°C. Tiempo de residencia: 10 min (para remoción de impurezas).			
<i>Rhododendron arboreum</i> Sm.	Flores (pétalos)	Clasificación	Según tamaño y estado sanitario.	8	Jugo puro y squash (jarabe concentrado) de flor de <i>Rhododendron</i>	(Chauhan et al. 2021)
		Separación	Separación manual de estambres y pétalos.			
		Lavado	Lavado de los pétalos.			
		Molienda	Trituración de los pétalos en trozos pequeños.			
		Ebullición	De la masa de pétalos en agua, durante 1 hora.			
		Enfriamiento	Enfriamiento a temperatura ambiente.			
		Filtración	Filtración del jugo puro a través de un lienzo de lino.			
		Concentración	Hervido de aproximadamente 2 kg de azúcar en 1 litro de agua.			
		Mezclado	Adición de 1 litro de jugo puro y una pequeña cantidad de ácido cítrico (10 g por cada 2 kg de azúcar) al jarabe.			
		Ebullición	Nuevamente durante 30 minutos.			
		Enfriamiento final	Enfriamiento de la mezcla a temperatura ambiente.			
		Filtración	Filtración del concentrado final a través de un lienzo de lino.			
		Adición	Incorporación de pequeñas cantidades de benzoato de sodio y saborizante (vainilla) para almacenamiento prolongado y mejora de aroma.			
<i>Pinus sylvestris</i> y	Hojas, ramas	Dispersión	Reducción de tamaño del follaje.	6	Aceite esencial puro de pino	(Kunickaya et al. 2022)
		Ebullición	Calentamiento y ebullición de agua,			

<i>Pinus abies.</i>		Destilación	mediante la combustión de la biomasa/ramas leñosas en el generador de vapor integrado. Rango de temperatura ambiente operativa del equipo: desde –10 °C hasta +20 °C. Arrastre de Vapor: Paso de vapor a través del primer destilador y posterior, paso por el segundo destilador, 2 horas (dentro de un ciclo global de 3 h por lote).			
		Condensación	Condensador refrigerado por aire impulsado por ventilador. Capacidad de enfriamiento requerida: 40 kg de vapor/h.			
		Separación	Matraz de separación (recirculación de agua en circuito cerrado).			
<i>Pinus brutia</i>	Corteza / Xilema del tronco (fuste)	Selección	NR	9	Oleorresina de pino	(Lopes et al. 2025)
		Incisión	Incisiones periódicas sobre la corteza.			
		Exudación	Temperatura ambiental óptima entre 23 °C y 27 °C.			
<i>Pinus elliotii</i>	Corteza / Xilema del tronco (fuste)	Drenaje	NR	7	Oleorresina de pino	(Lopes et al. 2025)
		Selección	Árboles en pie en temporada productiva.			
		Incisión	Cortes en corteza/xilema a intervalos programados.			
		Exudación	Evaluación estacional con flujos durante intervalos de 4 horas.			
<i>Pinus merkusii</i>	Tronco	Drenaje	NR	2	Colofonia modificada maleica (MMR) y Éster de colofonia glicérica (GRE)	(Siregar et al. 2022)
		Calentamiento	NR			
		Evaporación	Separación de la fracción volátil y la fracción sólida			
<i>Betula pendula</i> Roth.	Corteza	Picado	Reducción a astillas.			
		Secado	Secado al aire a temperatura ambiente durante 2 semanas.			
		Molienda	Molino de martillos hasta obtener polvo.			
		Tamizado	Tamizado por vibración; fracción de tamaño de partícula <500 µm.			
		Extracción asistida por ultrasonido (UAE)	Solvente: metanol. Relación S/L: 5 g de polvo de corteza en 50 mL de metanol (1:10 w/v). Frecuencia: 35 kHz. Temperatura: 50 °C. Tiempo: 3 horas.			
		Filtración	Filtro de vidrio poroso ROBU Por.4 (tamaño de poro 10–16 µm). Separación sólido-líquido.			
		Evaporación	Evaporador rotatorio al vacío a 60°C y presión de 337 para remoción del metanol.			
		Secado	Secado en estufa a 103 °C hasta peso constante.			
<i>Pinus</i> spp.	Tronco	Sangrado/ extracción de goma-resina	Tasa de extracción promedio de 3,8 kg/año por árbol (o 4,2 t/ha anuales).			
		Destilación	NR	9	Trementina y colofonia	(Maximo et al. 2022)
		Modificación química	NR			
<i>Acacia mearnsii</i>	Corteza	Descortezado	NR	4	Taninos	(Maximo et al. 2022)
		Extracción	NR			
		Reacción de poliadición	Catálisis ácida con alcohol furfurílico.			
<i>Eucalyptus</i> spp.	Corteza	Pretratamiento	Uso de líquido iónico.			
		Hidrólisis enzimática	NR	3	Bioetanol de segunda generación (2G)	(Maximo et al. 2022)
		Fermentación	NR			
		Destilación	NR			
<i>Rattan fiber</i>	Fibra del tallo	Mezclado	Dosificación de fibras al 12.5% en matriz de poliéster GP-7150, con 2 % de cobalto y 3 % de MEKP.			
		Secado al aire	Exposición a temperatura ambiente durante 24 horas.			

<i>Theobroma grandiflorum</i>	Fibra del tallo	Curado térmico	Temperatura de 70°C durante 2 horas en horno.	4	Tablero Aglomerado de Partículas	(Hamid 2025)
		Mezclado	Adición del 10 % de resina de Fenol-formaldehído (PF) respecto al peso seco.			
	Pulpa	Prensado	Temperatura: 150 °C; presión: 25 kgf/cm ² ; tiempo: 10 min (densidad objetivo: 0,7 g/cm ³).	9	Pulpa de copoazú	(Rosa et al. 2024)
		Curado	Enfriamiento y estabilización a temperatura ambiente.			
		Selección	NR			
		Lavado	Operaciones iniciales de acondicionamiento de los frutos cosechados para su limpieza y selección cualitativa.			
		Despulpado	Separación mecánica de la pulpa respecto de las semillas y la cáscara (la cáscara queda como residuo).			
		Formulación	Formulación mediante la adición de azúcar y acidulante a la pulpa pura separada.			
		Escaldado	Empaque de la pulpa formulada en bolsas plásticas seguido de un tratamiento térmico de escaldado.			
		Congelación	Enfriamiento rápido y almacenamiento bajo congelación (el proceso genera una pérdida significativa de vitamina C).			
	Semillas	Fermentación	Equipo: Caja de madera de tres compartimentos. Duración: 7 días. Inoculación: Hojas de banano picadas. Cobertura: Sacos de arpillera. Volteos y transferencia: A las 48 h (segundo compartimento) y a las 72 h (tercer compartimento). Propósito: Inhibición de la germinación y transformación a almendras (kernels).	8	Manteca de copoazú. Cupulate (producido como alternativa sostenible a partir del aprovechamiento de la torta residual de prensado)	(Rosa et al. 2024)
		Secado	Secado natural al sol sobre una barcaza de madera hasta alcanzar una humedad final de entre el 7 y 8%.			
		Tostado	Tratamiento térmico en horno a una temperatura promedio de 180 °C.			
		Descascarillado	NR			
		Trituración	NR			
		Molienda	Reducción mecánica de tamaño de los nibs hasta obtener una pasta fluida o licor de copoazú.			
		Prensado en frío	Separación mecánica por presión del licor de almendras para dividir la fase grasa de la fase sólida residual.			
		Filtración	NR	8	Cupulate (Chocolate de copoazú)	(Rosa et al. 2024)
		Refrigeración	NR			
		Molienda	NR			
		Refinación	Procesamiento mecánico de la torta sólida resultante del prensado para obtener polvo de chocolate de copoazú.			
		Formulación	Adición e incorporación lenta de azúcar, agua, leche en polvo, grasas (grasa de copoazú, grasa vegetal o manteca de cacao) y lecitina de soya como emulsionante.			
		Conchado	Mezclado, agitación y aeración intensa y prolongada de la masa bajo calentamiento.			
	Cáscara	Atemperado	Estabilización térmica de la grasa para evitar manchas blanquecinas.	4	Harina de cáscara de copoazú	(Rosa et al. 2024)
		Moldeo	Vertido en moldes y enfriamiento final.			
		Separación mecánica	Remoción y aislamiento de la corteza exterior leñosa durante la etapa inicial de despulpado.			
		Secado	NR			

		Molienda Extracción	NR Pectina.	3	Pectina comercial.	(Rosa et al. 2024)
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Corteza de ramas jóvenes	Pre-secado	Exposición al aire libre.	3	Extracto acuoso final Rendimiento: 1,87 % m/m; carbohidratos y proteínas	(Silva et al. 2021)
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.		Fragmentación	Reducción mecánica a fragmentos de entre 5 a 10 mm.			
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> a		Deshidratación	Uso de horno/estufa de secado a 55 ± 5 °C por 48-72 horas o hasta peso constante.			
		Molienda	Molino de cuchillas tipo Willey con malla de selección de partículas de 2 mm.			
		Extracción Soxhlet (acuosa)	Reflujo utilizando agua destilada como solvente; relación de 200 g de corteza por 1 L de solvente.			
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Ramas y hojas	Pre-secado	Exposición al aire libre.	3	Extracto etanólico final Rendimiento: 2,23 % m/m; grupos hidroxilo e hidrocarburos	(Silva et al. 2021)
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.		Fragmentación	Reducción mecánica a fragmentos de entre 5 a 10 mm.			
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> a		Deshidratación	55 ± 5°C por 48-72 horas o hasta peso constante.			
		Molienda	Molino de cuchillas tipo Willey con malla de selección de partículas de 2 mm.			
		Extracción Soxhlet (etanólica)	Reflujo utilizando alcohol etílico (P.A.) como solvente; relación de 200 g de corteza por 1 L de solvente.			
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Corteza	Pre-secado	Exposición al aire libre.	3	Extracto hexánico final Rendimiento: 3,05 % m/m; ácidos grasos y complejos aromáticos	(Silva et al. 2021)
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.		Fragmentación	Reducción mecánica a fragmentos de entre 5 y 10 mm.			
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> a		Deshidratación	Uso de horno/estufa de secado a 55 ± 5°C por 48-72 horas o hasta peso constante.			
		Molienda	Molino de cuchillas tipo Willey con malla de selección de partículas de 2 mm.			
		Extracción Soxhlet (hexánica)	Reflujo utilizando hexano (P.A.) como solvente; relación de 200 g de corteza por 1 L de solvente.			
<i>Calamus caesi</i> us	Corteza	Acondicionamiento	Tejido de rattan: ligamento plano bidireccional. Aramida: tejido comercial sin modificación.	4	Compuesto polimérico híbrido laminado de matriz epóxica reforzado	(Pazlin et al. 2025)
		Laminación híbrida	Configuraciones evaluadas.			
		Impregnación de resina	Uso de resina epoxi termoestable insaturada con catalizador.			
		Moldeo	Consolidación por vacío para impregnación homogénea y eliminación de burbujas.			
		Mecanizado	Mecanizado final de probetas y muestreo según norma ASTM D6110 e ISO.			

3.3 Análisis de la madurez tecnológica de los productos forestales no maderables

El Nivel de Madurez Tecnológica constituye un sistema de nueve niveles que permite evaluar el grado de desarrollo de una tecnología, desde la formulación del concepto hasta su aplicación comercial plena (Manning 2023). Para este estudio, la escala fue adaptada metodológicamente a contextos agroindustriales, permitiendo clasificar los procesos según su etapa de validación y escalamiento.

La **Figura 4** presenta la distribución de los niveles de madurez tecnológica para las 34 tecnologías identificadas a partir de los productos de la **Tabla 2**. Es importante aclarar que el número de tecnologías evaluadas con TRL es menor que el de rutas codificadas, debido a que varias materias primas comparten las mismas operaciones unitarias y fueron agrupadas en un solo nivel de TRL. Por ejemplo, el producto Extracto puede obtenerse a partir de diferentes especies de Lauraceae mediante maceración simple, todas con TRL 3.

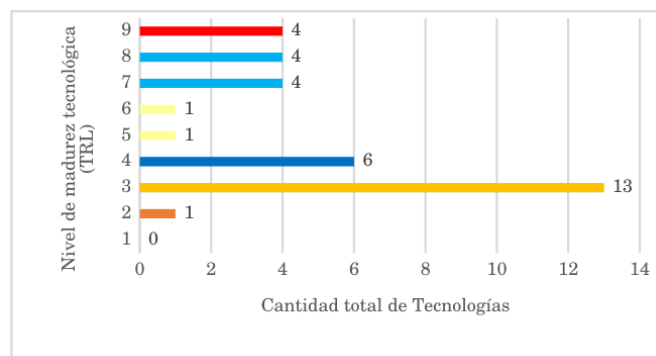


Figura 4 | Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) de los productos forestales no maderables para el aprovechamiento agroindustrial

La mayoría de las tecnologías se concentran en los niveles 3 y 4 (19 tecnologías, 55.8%), lo que indica que una parte importante de los procesos se encuentra en fases de validación experimental o en entornos controlados. Los niveles más altos, comprendidos entre el 7 y el 9, son alcanzados por 12 tecnologías (35,3 %), lo que evidencia una brecha entre las tecnologías consolidadas y aquellas en desarrollo.

En el nivel 9 se ubican 4 tecnologías: polvo de pulpa de baobab, oleorresina de pino, pulpa congelada de copoazú y aceite de semillas de baobab, presentan procesos documentados y un mayor grado de desarrollo tecnológico (Meinhold et al. 2022; Lopes et al. 2025; Rosa et al. 2024). Los niveles 7 y 8 concentran pulpas de açaí y majo, jugo de *Rhododendron ar-*

boreum y Cupulate, productos que ya se encuentran en producción comercial. La presencia de productos alimenticios en estos niveles superiores sugiere que el sector alimentario ha sido el principal impulsor del desarrollo tecnológico de los PFNM (Maximo et al. 2022).

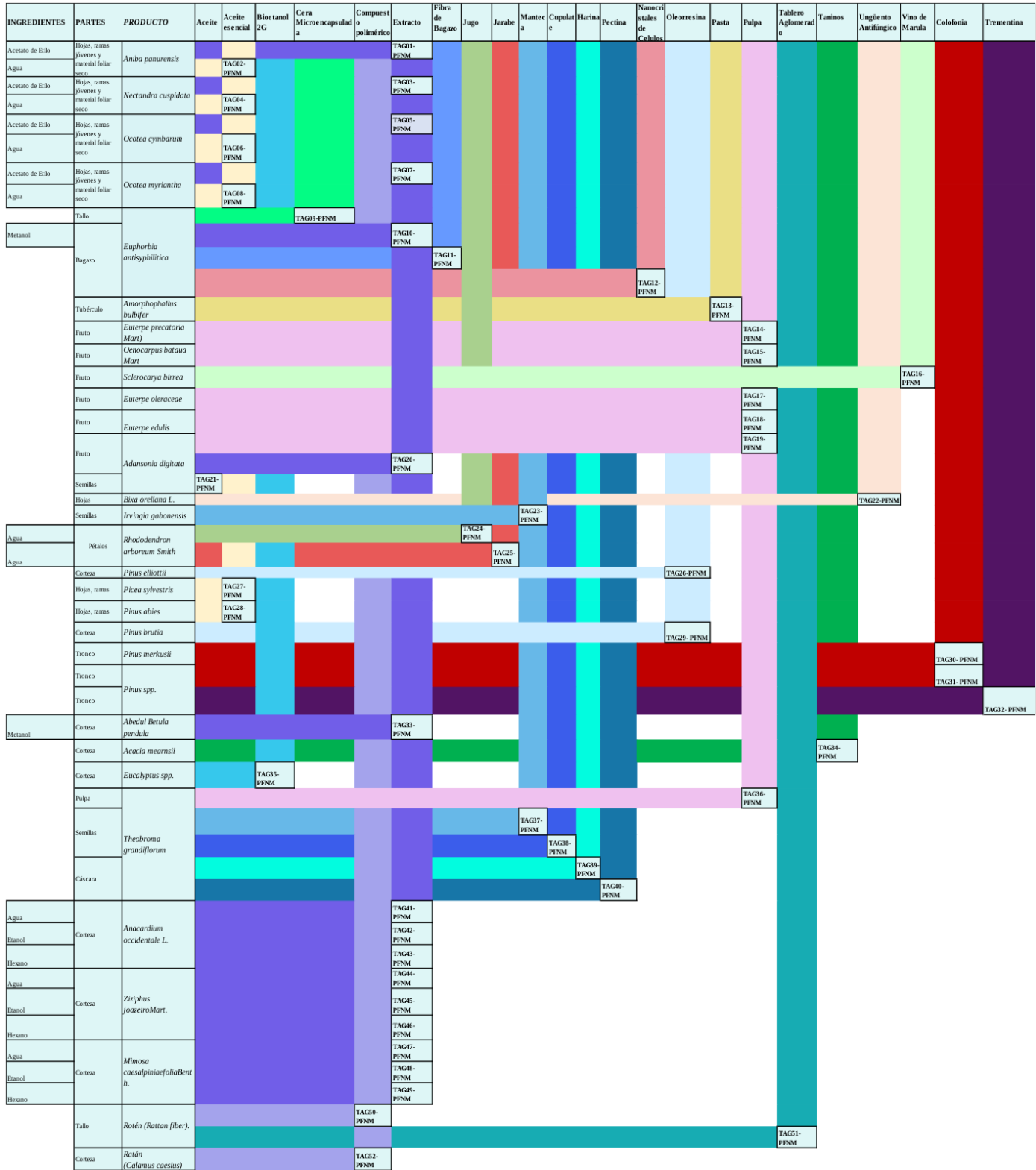


Figura 5 | Matriz de materias primas, tecnología y productos de los PFNM agrupados y codificados mediante las siglas TAGXX-PFNM (Tecnologías agroindustriales – Productos Forestales no maderables). Nota: Los colores se utilizan exclusivamente como guía visual para identificar la intersección o unión entre la materia prima y el producto final correspondiente, no representan ninguna variable química ni tecnológica

Planta	Código	Tecnologías															Producto
Aniba panurensis	TAG01-PFNM	Corte	Molienda	Dosificación	Extracción por maceración simple	Filtración	Evaporación										Extracto
	TAG02-PFNM	Corte	Molienda	Dosificación	Extracción Simultánea (SDE - Fracción Volátil)	Deshidratación											Aceite esencial
Nectandra caspidata	TAG03-PFNM	Corte	Molienda	Dosificación	Extracción por maceración simple	Filtración	Evaporación										Extracto
	TAG04-PFNM	Corte	Molienda	Dosificación	Extracción Simultánea (SDE - Fracción Volátil)	Deshidratación											Aceite esencial
Ocotea cymbarum	TAG05-PFNM	Corte	Molienda	Dosificación	Extracción por maceración simple	Filtración	Evaporación										Extracto
	TAG06-PFNM	Corte	Molienda	Dosificación	Extracción Simultánea (SDE - Fracción Volátil)	Deshidratación											Aceite esencial
Ocotea myriantha	TAG07-PFNM	Corte	Molienda	Dosificación	Extracción por maceración simple	Filtración	Evaporación										Extracto
	TAG08-PFNM	Corte	Molienda	Dosificación	Extracción Simultánea (SDE - Fracción Volátil)	Deshidratación											Aceite esencial
Euphorbia antisyphilitica	TAG09-PFNM	Selección	Extracción	Atomización													Cera Microencapsulada
	TAG10-PFNM	Molienda	Lixivación														Extracto
	TAG11-PFNM	Selección	Fermentación	Mezclado	Acondicionamiento químico												Fibra de Bagazo Nanocristalinos de Celulosa
	TAG12-PFNM	Selección	Fermentación	Mezclado	Acondicionamiento químico												
Amorphophallus bulbifer	TAG13-PFNM	Lavado	Presado	Cocción	Moldeo												Pasta
Euterpe precatoria (Muri)	TAG14-PFNM	Selección	Desinfección	Despulpado	Empacado	Congelación											Pulpa
Oenocarpus batatau Mart	TAG15-PFNM	Selección	Desinfección	Despulpado	Empacado	Congelación											Pulpa
Sclerocarya birrea	TAG16-PFNM	Extracción	Fermentación														Vino de Marula
Euterpe oleracea	TAG17-PFNM	Recepción	Despulpado														Pulpa
Euterpe edulis	TAG18-PFNM	Recepción	Despulpado														Pulpa
Adansonia digitata	TAG19-PFNM	Despulpado	Filtrado														Pulpa
	TAG20-PFNM	Extracción	Despectinización														Extracto
Bixa orellana L.	TAG21-PFNM	Presado															Aceite
	TAG22-PFNM	Selección	Lavado	Secado	Triturado	Extracción sólido-líquido	Filtración	Formulación	Envasado								Unguento Anti-fúngico
Irvingia gabonensis	TAG23-PFNM	Triturado	Presado	Represado	Licuefacción	Centrifugación											Manteca
Rhododendron arboreum Smith	TAG24-PFNM	Clasificación	Separación	Lavado	Molienda	Ebullición	Enfriamiento	Filtración	Concentración	Mezclado	Ebullición	Enfriamiento final	Filtración	Adición	Envasado		Jugo
	TAG25-PFNM	Clasificación	Separación	Lavado	Molienda	Ebullición	Enfriamiento	Filtración	Concentración	Mezclado	Ebullición	Enfriamiento final	Filtración	Adición	Envasado		Jarabe
Pinus eliottii	TAG26-PFNM	Selección	Incisión	Exudación	Drenaje												Oleoresina
Picea sylvestris	TAG27-PFNM	Dispersión	Ebullición	Destilación	Condensación	Separación											Aceite esencial
Pinus abies	TAG28-PFNM	Dispersión	Ebullición	Destilación	Condensación	Separación											Aceite esencial
Pinus brutia	TAG29-PFNM	Selección	Incisión	Exudación	Drenaje												Oleoresina
Pinus merkusii	TAG30-PFNM	Calentamiento	Evaporación	Destilación													Colofonia
Pinus spp.	TAG31-PFNM	Sangrado / Extracción de goma resina	Destilación	Modificación química													Colofonia
	TAG32-PFNM	Sangrado / Extracción de goma resina	Destilación	Modificación química													Trementina
Abrus Betula pendula	TAG33-PFNM	Picado	Secado	Molienda	Tamizado	Extracción Asistida por Ultrasonido (UAE)	Filtración	Evaporación									Extracto
Acacia mearnsii	TAG34-PFNM	Descortezado	Extracción	Reacción de poladición													Taninos
Eucalyptus spp.	TAG35-PFNM	Pretratamiento	Hidrólisis enzimática	Fermentación	Destilación												Biotanol 2G
Theobroma grandiflorum	TAG36-PFNM	Selección	Lavado	Despulpado	Formulación	Escaldado	Congelación	Congelación									Pulpa
	TAG37-PFNM	Fermentación	Secado	Tostado	Descascarillado	Trituración	Molienda	Presado en Frio									Manteca
	TAG38-PFNM	Filtración	Refrigeración	Molienda	Refinación	Formulación	Conchado	Atemperado	Moldeo								Cupulate
	TAG39-PFNM	Separación Mecánica	Secado	Molienda													Harina
Anacardium occidentale L.	TAG40-PFNM	Extracción															Pectina
	TAG41-PFNM	Pre-secado	Fragmentación	Deshidratación	Molienda	Extracción Soxhlet (Acuosa)											Extracto
	TAG42-PFNM	Pre-secado	Fragmentación	Deshidratación	Molienda	Extracción Soxhlet (Etanólica)											Extracto
	TAG43-PFNM	Pre-secado	Fragmentación	Deshidratación	Molienda	Extracción Soxhlet (Hidráulica)											Extracto
Ziziphus joazeiro Mart.	TAG44-PFNM	Pre-secado	Fragmentación	Deshidratación	Molienda	Extracción Soxhlet (Acuosa)											Extracto
	TAG45-PFNM	Pre-secado	Fragmentación	Deshidratación	Molienda	Extracción Soxhlet (Etanólica)											Extracto
	TAG46-PFNM	Pre-secado	Fragmentación	Deshidratación	Molienda	Extracción Soxhlet (Hidráulica)											Extracto
	TAG47-PFNM	Pre-secado	Fragmentación	Deshidratación	Molienda	Extracción Soxhlet (Acuosa)											Extracto
Mimosa caesalpiniaeefoliaenth.	TAG48-PFNM	Pre-secado	Fragmentación	Deshidratación	Molienda	Extracción Soxhlet (Etanólica)											Extracto
	TAG49-PFNM	Pre-secado	Fragmentación	Deshidratación	Molienda	Extracción Soxhlet (Hidráulica)											Extracto
	TAG50-PFNM	Mezclado	Secado al aire	Curado													Compuesto polimérico
Rosén (Rattan fiber)	TAG51-PFNM	Mezclado	Presado	Curado													Tablero Aglomerado
Ratón (Calamus caesiis)	TAG52-PFNM	Acondicionamiento	Laminación híbrida	Impregnación de resina	Moldeo	Mecanizado											Compuesto polimérico

Figura 6 | Operaciones unitarias involucradas en cada tecnología

El nivel 6 corresponde al aceite esencial de pino, mientras que el nivel 5 alberga la manteca de *Irvingia gabonensis*, ambos en proceso de optimización para su escalamiento

(Kunickaya et al. 2022; Koumba Ibinga et al. 2022). En el nivel 4 se agrupan tecnologías como compuestos de fibra de ratán y taninos de acacia negra, que han sido validadas

en laboratorio y requieren pruebas en entornos relevantes (Hamid 2025; Maximo et al. 2022). El nivel 3 concentra la mayor cantidad de tecnologías (13), incluyendo extractos de Lauraceae, nanocrisales de celulosa y bioetanol de segunda generación, lo que refleja que la mayoría de las innovaciones se encuentran en etapas tempranas de desarrollo.

Según Lopes et al. (2025), la transición desde la investigación básica hasta la aplicación comercial en sectores basados en recursos naturales enfrenta barreras significativas. Esta situación explica por qué los productos tradicionales han alcanzado altos niveles de madurez gracias a décadas de optimización industrial, mientras que las innovaciones emergentes aún enfrentan desafíos técnicos y económicos. La coexistencia de tecnologías con distintos TRL dentro de la misma matriz sugiere oportunidades de hibridación, donde los excedentes de procesos maduros podrían impulsar el desarrollo de rutas emergentes.

El limitado número de tecnologías en los niveles 6 a 8 indica que el escalamiento de procesos para PFNM enfrenta barreras significativas. Antunes et al. (2021) señalan que la variabilidad de la materia prima y la falta de infraestructura en zonas rurales son obstáculos recurrentes en el aprovechamiento de recursos forestales no maderables. La presencia de productos alimenticios en los niveles más altos de TRL, en contraste con los biocompuestos y bioenergéticos, refleja que el sector alimentario ha liderado el desarrollo tecnológico, mientras que las aplicaciones industriales aún son incipientes. Esta brecha subraya la necesidad de fortalecer la investigación aplicada en PFNM para promover la diversificación productiva y el desarrollo sostenible de territorios con alta dependencia de recursos forestales.

La parte vegetal utilizada condiciona de manera determinante la selección tecnológica. Las cortezas leñosas (TAG33-TAG35, TAG41-TAG49) se asocian sistemáticamente a procesos de extracción química de bioactivos y taninos, mientras que las fibras de ratán (TAG50-TAG52) y los troncos de *Pinus* (TAG26-TAG32) se orientan hacia la manufactura de materiales y resinas. Esta división entre extracción química y manufactura física responde directamente a la fisiología y composición mecánica de cada biomasa (Silva et al. 2021; Hamid 2025).

La matriz también revela vacíos tecnológicos significativos. No se registran rutas para la producción de bioplásticos a partir de almidones de PFNM, ni procesos sistematizados para colorantes naturales a escala industrial, con la excepción puntual del ungüento de *Bixa orellana* (TAG22). Asimismo, la ausencia de valorización de residuos lignocelulósicos de coníferas (TAG27-TAG28) representa una oportunidad desaprovechada para la recuperación de lignina y compuestos fenólicos, lo que delimita líneas de investigación prioritarias (Jiménez González et al. 2025; Gruber et al. 2021)

En la **Figura 5**, se detallan las tecnologías agrupadas a partir de procesos unitarios utilizados para la elaboración de los distintos productos forestales no maderables. Se presentan los códigos asignados a cada ruta tecnológica, junto con las operaciones unitarias agrupadas que las componen. El desglose operativo permite dimensionar la complejidad de cada ruta y la viabilidad de estandarizar módulos productivos. Mientras que los extractos (TAG01, TAG03, TAG05, TAG07, TAG20, TAG33, TAG41-TAG49) convergen en la secuencia molienda-extracción-separación, los derivados de frutos y semillas (TAG13-TAG40) se estructuran en torno al despulpado, prensado y fermentación.

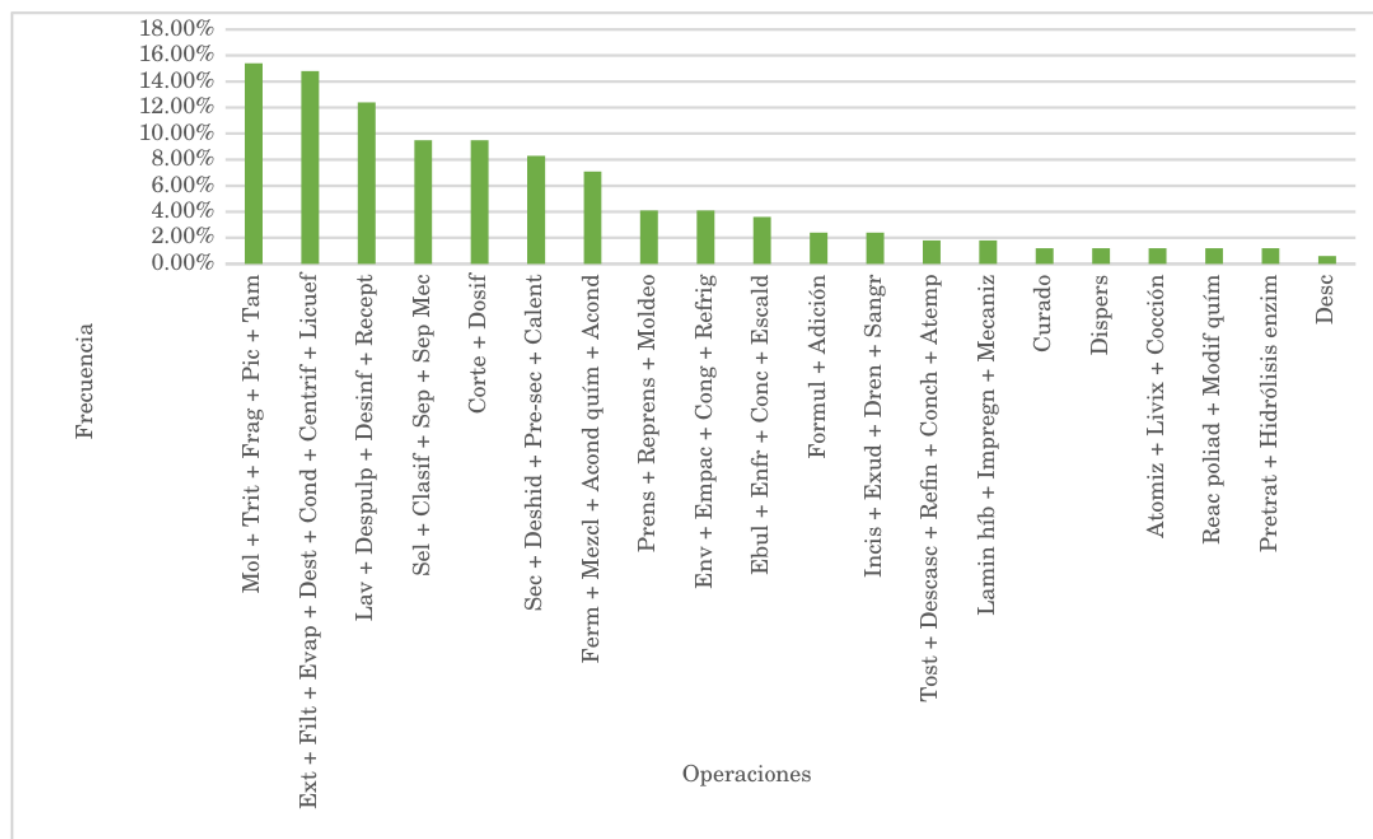


Figura 7 | Operaciones unitarias involucradas en cada tecnología

Esta homogeneidad procesual sugiere que la estandarización de estos módulos es viable, lo que reduciría los costos de implementación de plantas multipropósito en zonas (Vinocunga-Pillajo et al. 2025). Las cortezas de la Caatinga (TAG41-TAG49), por ejemplo, presentan una secuencia de operaciones equivalente de pre-secado, fragmentación, deshidratación y molienda, variando únicamente el solvente de extracción.

Esta repetición operativa evidencia que los módulos de pretratamiento y extracción poseen una alta versatilidad para adaptarse a diferentes biomásas. A su vez, el desglose operativo revela la complejidad inherente de los procesos. Las rutas que involucran etapas de fermentación, acondicionamiento químico o reacciones de polimerización (TAG34, TAG38) requieren condiciones controladas y equipos específicos, lo que limita su implementación en contextos rurales. (Antunes et al. 2021; Maximo et al. 2022).

La **Figura 6** detalla las tecnologías agrupadas a partir de procesos unitarios, mientras que la **Figura 7** cuantifica su frecuencia de aparición en las 52 rutas. La molienda, trituración y fragmentación concentran la mayor frecuencia operativa (15,40%), lo que confirma que el pretratamiento mecánico constituye una de las operaciones más recurrentes para facilitar etapas posteriores de transformación. Esta predominancia responde a la necesidad de reducir el tamaño de partícula para maximizar la superficie de contacto y facilitar la transferencia de masa.

Le siguen en frecuencia la extracción, filtración, evaporación y el lavado, seguido del despulpado y la desinfección, evidenciando que los módulos de extracción química y de procesamiento húmedo de frutos son los pilares técnicos del sector. En contraste, operaciones altamente especializadas como la reacción de poli adición, la modificación química, la hidrólisis enzimática o la destilación presentan frecuencias inferiores al 3%.

Esta baja recurrencia refleja un desarrollo tecnológico aún incipiente en estas áreas, lo que se explica por la necesidad de condiciones controladas y equipos costosos que limitan su implementación en contextos rurales (Antunes et al. 2021). La predominancia de operaciones mecánicas y de extracción sugiere que el escalamiento del sector debe ser gradual, priorizando la consolidación de la infraestructura básica antes de incorporar procesos bioquímicos avanzados (Lopes et al. 2025; Shackleton et al. 2024).

3.4.1 Rutas Tecnológicas de los PFM para el aprovechamiento Agroindustrial

La **Figura 8** sintetiza visualmente las 52 rutas previamente sistematizadas, organizando el flujo desde la materia prima hasta el producto final mediante los códigos TAG-PFM. A diferencia de la matriz, este diagrama permite observar de manera directa la trazabilidad de los procesos. El diagrama revela una estructura de redes convergentes, donde múltiples materias primas desembocan en un mismo producto final.

Los extractos, por ejemplo, concentran rutas provenientes de especies de Lauraceae, abedul y de la Caatinga (TAG01, TAG03, TAG05, TAG07, TAG20, TAG33, TAG41-TAG49). Esta convergencia tecnológica es un hallazgo clave para la

ingeniería de procesos, ya que sugiere que la estandarización de los módulos de extracción podría facilitar la implementación de plantas multipropósito en territorios rurales (Maximo et al. 2022).

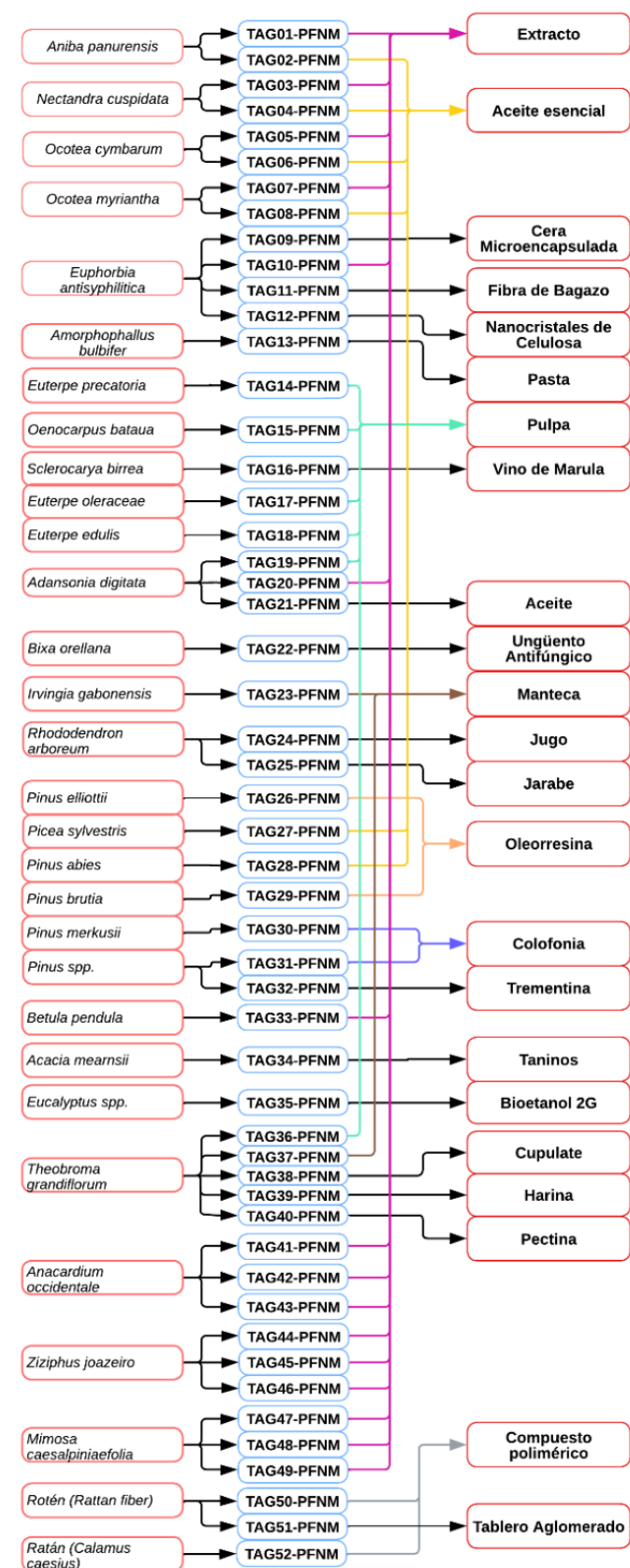


Figura 8 | Rutas tecnológicas para la obtención de diferentes productos a partir de PFM

Asimismo, la disposición de los flujos evidencia una gradación en la complejidad tecnológica entre productos. Los

derivados de frutos (pulpa, jugo, vino) presentan trayectorias cortas y directas, mientras que los productos químicos y materiales (colofonia, taninos, nanocristales) requieren etapas más numerosas. Esta gradación sugiere que el escalamiento del sector debe abordarse de manera escalonada, priorizando las rutas de baja complejidad para validar mercados (Lopes et al. 2025; Kunickaya et al. 2022).

Esto permite visualizar cómo los residuos de una ruta se convierten en insumos de otra, evidenciando una interconexión entre sistemas productivos. Las etapas de pretratamiento y extracción son compartidas por múltiples rutas, lo que sugiere el potencial para implementar plantas multipropósito. Esta integración de etapas optimiza la eficiencia global y reduce la dependencia de insumos externos, alineándose con los principios de la bioeconomía circular (Shackleton et al. 2024; Maximo et al. 2022).

4. Conclusiones

La construcción de la matriz permitió sistematizar la información disponible sobre el aprovechamiento agroindustrial de los productos forestales no maderables (PFNM), identificando 52 rutas tecnológicas, 30 materias primas y 34 productos finales. Las investigaciones sobre los PFNM se concentraron principalmente en Brasil, México, Colombia y Malasia, mientras que no se identificaron publicaciones provenientes de Ecuador dentro de la literatura recuperada, evidenciándose una brecha importante en la investigación

aplicada y desarrollo tecnológico sobre PFNM.

La evaluación de la madurez tecnológica mostró un predominio de tecnologías ubicadas en los niveles TRL 3 y 4, lo que indica que gran parte de los procesos aún se encuentran en etapas de validación experimental. En contraste, los productos alimenticios alcanzaron los mayores niveles de desarrollo (TRL 7-9). Asimismo, las operaciones de extracción (33), secado (12) y molienda (11) fueron las más recurrentes dentro de las rutas identificadas, constituyendo la base tecnológica para la transformación de los PFNM.

Los resultados obtenidos demuestran el potencial de los PFNM para la generación de productos alimenticios, cosméticos, energéticos y materiales con valor agregado, en concordancia con los principios de la bioeconomía y la economía circular. La similitud ecosistémica entre la Amazonía ecuatoriana y otras regiones amazónicas donde se han desarrollado estas tecnologías sugiere la posibilidad de adaptar y validar las materias primas, tecnologías, rutas identificadas en el contexto nacional, contribuyendo al aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y al desarrollo del sector de los productos forestales no maderables en Ecuador.

El desarrollo de la matriz resalta el potencial no explotado de los PFNM y la generación de rutas tecnológicas que permitan aumentar el desarrollo agroindustrial. Estas dos herramientas constituyen una base para la planificación y proyección del desarrollo social, industrial y económico del territorio.

Contribuciones de los autores

Noelly Britney Triana Muñoz: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Shessit Vett Muñoz Cerezo: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Amaury Pérez Martínez: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Todos los autores aprobaron la versión enviada y editada.[0.5em]

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

ANTUNES, Aghane, SIMMONS, Cynthia S. and VEIGA, Joao Paulo, 2021. Non-Timber Forest Products and the Cosmetic Industry: An Econometric Assessment of Contributions to Income in the Brazilian Amazon. *Land*. Online. 2 June 2021. Vol. 10, no. 6, p. 588. DOI: 10.3390/land10060588. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/6/588>

ARANCIBIA ALFARO, Andrea V., SCHUNKO, Christoph and CALLO-CONCHA, Daniel, 2024. Uncovering the Potential for the Sustainable Commercialization of Non-Timber Forest Products: Palm Fruits in Pando, Bolivia. *Small-scale Forestry*. Online. 31 May 2024. Vol. 23, no. 3, p. 313–350. DOI: 10.1007/s11842-024-09562-6. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s11842-024-09562-6>

ARIA, Massimo, CUCCURULLO, Corrado, D'ANIELLO, Luca and SPANO, Maria, 2026. Biblioshiny and the SAAS Workflow: An integrated framework for transparent and reproducible science mapping. A demonstration through the replication of a study. *Journal of Informetrics*. Online. September 2026. Vol. 20, no. 3, p. 101837. DOI: 10.1016/j.joi.2026.101837. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1751157726000702>

BOYAPATI, Tejaswi and MUTHUKUMARAPPAN, Kasiviswanathan, 2025. Non-timber forest products and the bioeconomy: linking livelihood security and biodiversity conservation (2015–2025 trends). *Frontiers in Sustainable Food Systems*. Online. 6 November 2025. Vol. 9. DOI: 10.3389/fsufs.2025.1714576. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2025.1714576/full>

CHAUHAN, D. S., LAL, Pankaj and SHRAMA, A. K., 2021. Extraction of Rhododendron arboreum Smith flowers from the forest for the livelihood and rural income in Garhwal Himalaya, India. *Scientific Reports*. Online. 21 October 2021. Vol. 11, no. 1, p. 20844. DOI: 10.1038/s41598-021-00257-y. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-00257-y>

DE OLIVEIRA MOREIRA, Alessandro César and BRAGA, Jez Willian Batista, 2021. Authenticity Identification of Copaiba Oil Using a Handheld NIR Spectrometer and DD-SIMCA. *Food Analytical Methods*. Online. 5 May 2021. Vol. 14, no. 5, p. 865–872. DOI: 10.1007/s12161-020-01933-x. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s12161-020-01933-x>

FREY, Gregory E., CHAMBERLAIN, James L. and JACOBSON, Michael G., 2023. Producers, production, marketing, and sales of non-timber forest products in the United States: a review and synthesis. *Agroforestry Systems*. Online. 14 March 2023. Vol. 97, no. 3, p. 355–368. DOI: 10.1007/s10457-021-00637-3. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s10457-021-00637-3>

GRUBER, Lukas, SEIDL, Lukas, ZANETTI, Michela and SCHNABEL, Thomas, 2021. Calorific Value and Ash Content of Extracted Birch Bark. *Forests*. Online. 28 October 2021. Vol. 12, no. 11, p. 1480. DOI: 10.3390/f12111480. Available from: <https://www.mdpi.com/1999-4907/12/11/1480>

HAMID, Norul Hisham, 2025. Rattan resources, properties, biocomposites, and chemical modification: A review. *BioResources*. Online. 10 July 2025. Vol. 20, no. 3. DOI: 10.15376/biores.20.3.Hamid.

Available from: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/rattan-resources-properties-biocomposites-and-chemical-modification-a-review/>

JANCEVA, Sarmite, SVARTA, Agrita, NIKOLAJEVA, Vizma, ZAHAROVA, Natalija, RIEKSTS, Gints and ANDERSONE, Anna, 2025. Forest Logging Residue Valorization into Valuable Products According to Circular Bioeconomy. *Forests*. Online. 4 September 2025. Vol. 16, no. 9, p. 1418. DOI: 10.3390/f16091418. Available from: <https://www.mdpi.com/1999-4907/16/9/1418>

JIMÉNEZ GONZÁLEZ, Alfredo, MAGALLÁN, Maverick, ROMERO, Yajhaira and PINARGOTE, Jesús, 2025. Evaluación ecológica, cultural y económica de Bixa orellana L. (Bixaceae) como producto forestal no maderable. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. Online. 2025. Vol. 13, no. 1, p. e859. Available from: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/859/1260> [Accessed 17 August 2026].

KOUMBA IBINGA, Sidrine Kerthy, CERNY, Muriel, LACROUX, Eric, FABRE, Jean-François, VALENTIN, Romain, MERAH, Othmane, BIKAN-GA, Raphaël and MOULOOUNGUI, Zéphirin, 2022. Extraction and Physicochemical Composition of Irvingiagabonensis Almond Oil: A Potential Healthy Source of Lauric-Myristic Oil. *Separations*. Online. 8 August 2022. Vol. 9, no. 8, p. 207. DOI: 10.3390/separations9080207. Available from: <https://www.mdpi.com/2297-8739/9/8/207>

KUNICKAYA, Olga, POMIGUEV, Aleksandr, KRUCHININ, Igor, STORODUBTSEVA, Tamara, VORONOVA, Anna, LEVUSHKIN, Dmitry, BORISOV, Vyacheslav and IVANOV, Viktor, 2022. Analysis of modern wood processing techniques in timber terminals. *Central European Forestry Journal*. Online. 1 March 2022. Vol. 68, no. 1, p. 51–59. DOI: 10.2478/forj-2021-0017. Available from: <https://reference-global.com/article/10.2478/forj-2021-0017>

LOPES, Dalila, SANDIM, André, LOUZADA, José Luís and SILVA, Maria Emília, 2025. Resin Production in Pinus: A Review of the Relevant Influencing Factors and Silvicultural Practices. *Forests*. Online. 16 September 2025. Vol. 16, no. 9, p. 1470. DOI: 10.3390/f16091470. Available from: <https://www.mdpi.com/1999-4907/16/9/1470>

MANNING, Catherine G., 2023. Technology Readiness Levels. *NASA*. Online. 2023. Available from: <https://www.nasa.gov/directorates/somd/spacecommunications-navigation-program/technology-readinesslevels/> [Accessed 17 August 2026].

MAXIMO, Yasmin Imparato, HASSEGAWA, Mariana, VERKERK, Pieter Johannes and MISSIO, André Luiz, 2022. Forest Bioeconomy in Brazil: Potential Innovative Products from the Forest Sector. *Land*. Online. 11 August 2022. Vol. 11, no. 8, p. 1297. DOI: 10.3390/land11081297. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/8/1297>

MEINHOLD, Kathrin, DUMENU, William Kwadwo and DARR, Dietrich, 2022. Connecting rural non-timber forest product collectors to global markets: The case of baobab (*Adansonia digitata* L.). *Forest Policy and Economics*. Online. January 2022. Vol. 134, p. 102628. DOI: 10.1016/j.forpol.2021.102628. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389934121002343>

MIN, Suyeon, KIM, Eunsoo, DAYANDANTE, Pinky B. and PARK, Mi Sun, 2024. Diagnosing the status and trend of research on traditional knowledge related to non-timber forest products as food. *Trees, Forests and People*. Online. September 2024. Vol. 17, p. 100646. DOI: 10.1016/j.tfp.2024.100646. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666719324001535>

MUÑOZ-ACEVEDO, Amner, LÓPEZ-CAMACHO, René, GONZÁLEZ, María C., CASTILLO, Osneider J., CERVANTES-DÍAZ, Martha and CELIS, Marcela, 2024. Prospecting for non-timber forest products by chemical analysis of four species of Lauraceae from the Amazon region of Colombia. *Journal of Wood Science*. Online. 20 July 2024. Vol. 70, no. 1, p. 33. DOI: 10.1186/s10086-024-02148-y. Available from: <https://jwoodscience.springeropen.com/articles/10.1186/s10086-024-02148-y>

PAGE, Matthew J., MCKENZIE, Joanne E., BOSSUYT, Patrick M., BOUTRON, Isabelle, HOFFMANN, Tammy C., MULROW, Cynthia D., SHAMSEER, Larissa, TETZLAFF, Jennifer M., AKL, Elie A., BRENNAN, Sue E., CHOU, Roger, GLANVILLE, Julie, GRIMSHAW, Jeremy M., HRÓBJARTSSON, Asbjörn, LALU, Manoj M., LI, Tianjing, LODER, Elizabeth W., MAYOWILSON, Evan, MCDONALD, Steve, MCGUINNESS, Luke A., STEWART, Lesley A., THOMAS, James, TRICCO, Andrea C., WELCH, Vivian A., WHITTING, Penny, MOHER, David, YEPES-NUÑEZ, Juan José, URRÚTIA, Gerard, ROMERO-GARCÍA, Marta and ALONSO-FERNÁNDEZ, Sergio, 2021. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*. Online. September 2021. Vol. 74, no. 9, p. 790–799. DOI: 10.1016/j.recsp.2021.06.016. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300893221002748>

PAZLIN, M. S., YUHAZRI, M.Y. and HASSAN, N., 2025. HOW TOUGH IS RATTAN? INSIGHTS FROM CHARPY IMPACT TESTING ON SINGLE FIBRES. *JOURNAL OF MECHANICS OF CONTINUA AND MATHEMATICAL SCIENCES*. Online. 20 August 2025. Vol. 20, no. 8. DOI: 10.26782/jmcms.2025.08.00009. Available from: <https://www.journalimcms.org/journal/how-tough-is-rattan-insights-from-charpy-impact-testing-on-single-fibres/>

ROJAS, Romeo, TAFOLLA-ARELLANO, Julio César and MARTÍNEZ-ÁVILA, Guillermo C. G., 2020. Euphorbia antisiphilitica Zucc: A Source of Phytochemicals with Potential Applications in Industry. *Plants*. Online. 23 December 2020. Vol. 10, no. 1, p. 8. DOI: 10.3390/plants10010008. Available from: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/1/8>

ROSA, Jeane Santos da, OLIVEIRA MOREIRA, Paula Isabelle, CARVALHO, Ana Vânia and FREITAS-SILVA, Otniel, 2024. Cupuassu Fruit, a Non-Timber Forest Product in Sustainable Bioeconomy of the Amazon—A Mini Review. *Processes*. Online. 28 June 2024. Vol. 12, no. 7, p. 1353. DOI: 10.3390/pr12071353. Available from: <https://www.mdpi.com/2227-9717/12/7/1353>

SACCHELLI, Sandro, BORGHI, Costanza, FRATINI, Roberto and BERNETTI, Iacopo, 2021. Assessment and Valorization of Non-Wood Forest Products in Europe: A Quantitative Literature Review. *Sustainability*. Online. 22 March 2021. Vol. 13, no. 6, p. 3533. DOI: 10.3390/su13063533. Available from: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3533>

SHACKLETON, C.M., GAREKAE, H., SARDESHPANDE, M., SINASSON SANNI, G. and TWINE, W.C., 2024. Non-timber forest products as poverty traps: Fact or fiction? *Forest Policy and Economics*. Online. January 2024. Vol. 158, p. 103114. DOI: 10.1016/j.forpol.2023.103114. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389934123002095>

SILVA, Thiago Cardoso, BRAZ, Rafael Leite, ARAUJO, Emmanoella Costa Guaraná, SILVA, Gisely Alves da and PALHA, Maria de Los Angeles Perez Fernandez, 2021. CHEMICAL CHARACTERIZATION OF BARK COMPOUNDS FROM CAATINGA SPECIES. *FLORESTA*. Online. 28 September 2021. Vol. 51, no. 4, p. 893. DOI: 10.5380/rf.v51i4.73967. Available from: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/73967>

SIREGAR, Hezlisyah, SUROSO, Arif Imam, SIREGAR, Hermanto and DJOHAR, Setiadi, 2022. Development of efficient strategies to optimize production efficiency: Evidence from Pine chemical industry. *Decision Science Letters*. Online. 3 July 2022. Vol. 11, no. 4, p. 419–430. DOI: 10.5267/j.dsl.2022.7.003. Available from: http://www.growingscience.com/dsl/Vol11/dsl_2022_28.pdf

VINOCUNGA-PILLAJO, Reni Danilo, ROMERO-VISTÍN, Aida Salomé, JIMÉNEZ-TAMAYO, Fabiola Maribel, SÁNCHEZ-VALLEJO, Carlos Alfonso, GUARDADO-YORDI, Estela and PÉREZ-MARTÍNEZ, Amaury, 2025. Technological route for the agro-industrial development of the province of Pastaza based on the valorization of agricultural, livestock, and forest resources. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. Online. 2025. DOI: 10.17533/udea.redin.20250879. Available from: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/357286>