Ingeniería y Competitividad
Vol 28 (2) 2026 doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

Vol 28 (2)

ISSN
0123-3033
e- 2027-8284

Artículo Original

Análisis de la potencial utilización de los residuos del cultivo de piña en Colombia

Analysis of the potential for utilization of pineapple crop residues in Colombia

Denys Yohana Mora-Herrera[1] Isabel Moreno[2]

[1] PhD. en Ciencias Ambientales, Docente, Universidad del Valle. Cali, Valle del Cauca, Colombia.
[2]Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia, Centro de Investigación, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Resumen

Introducción: el cultivo de piña es intensivo en la generación de biomasa residual, por eso el crecimiento de la superficie sembrada en Colombia exige alternativas de valorización acordes con la bioeconomía circular para mitigar los impactos ambientales y sanitarios provocados por las prácticas convencionales de manejo.
Objetivo: analizar el potencial de utilización de los residuos del cultivo de piña en Colombia, específicamente las hojas, desde tres perspectivas complementarias: disponibilidad de biomasa, oportunidades tecnológicas y potencial de mercado de la fibra de hoja de piña (PALF).
Metodología: se estimó la biomasa residual a partir de estadísticas departamentales de producción y área cultivada según los coeficientes de generación de residuos del cultivo. Se realizó una revisión bibliométrica usando la base de datos Scopus para identificar tendencias y aplicaciones tecnológicas, y se caracterizó el mercado de fibras naturales mediante estadísticas internacionales y reportes sectoriales, integrando la información en un análisis FODA y en una propuesta conceptual de cadena de valor para PALF.
Resultados: en Colombia se generaron entre 5,9 y 7,1 millones de toneladas de biomasa residual en el 2024. La revisión tecnológica evidencia que la producción de fibras vegetales para compuestos poliméricos, textiles y papel representa la ruta con mayor potencial técnico y económico, mientras que el mercado de fibras naturales ofrece oportunidades asociadas a la demanda de materiales sostenibles, aunque persisten limitantes asociados a los costos, estandarización y acceso a mercados internacionales.
Conclusiones: los residuos del cultivo de piña en Colombia poseen un alto potencial para ser valorizados como PALF en esquemas de bioeconomía circular. Este estudio proporciona evidencia técnica, tecnológica y de mercado, al igual que una guía conceptual para el desarrollo de una cadena de valor para PALF.

Palabras clave: Valorización de Residuos Agrícolas; Biorrefinería; Bioeconomía Circular; Fibra de Hoja de Piña; Agricultura Sostenible

Abstract

Introduction: pineapple cultivation generates large amounts of residual biomass. Consequently, the expansion of the cultivated area in Colombia requires valorization alternatives based on circular bioeconomy strategies to mitigate the environmental and health impacts associated with conventional crop residues management practices.
Objective: to analyze the potential for utilizing pineapple crop residues in Colombia, particularly leaves, from three complementary perspectives: biomass availability, technological opportunities and the market potential of pineapple leaf fibre (PALF).
Methodology: the theoretical availability of residual biomass was estimated using crop residue generation coefficients, cultivated area, and production statistics for the main pineapple-producing departments in Colombia. A bibliometric analysis using the Scopus database permitted the characterizing of PALF market potential using international trade statistics and sectoral market reports. Finally, the information was integrated into a SWOT analysis, and a conceptual PALF value chain was proposed.
Results: Colombia was estimated to generate between 5.9 and 7.1 million tons of theoretical residual biomass in 2024. The technological review showed that vegetal fibre production for polymer composites, textiles and paper represents the most promising technical and economic valorization pathway. Market analysis identified growing opportunities associated with increasing demand for sustainable materials, while also challenges related to production costs, technical standardization, access to international markets, and limited articulation of PALF value chain in Colombia.
Conclusion: pineapple crop residues in Colombia represent a valuable resource for PALF production within a circular bioeconomy framework. This study provides technical, technological, and market evidence, together with conceptual guidance for the development of the PALF value chain.

Keywords: Agricultural Waste Valorization; Biorefinery; Circular Bioeconomy; Pineapple Leaf Fiber; Sustainable Agriculture.

¿Cómo citar?

Mora-Herrera D Y, Moreno I. Análisis de la potencial utilización de los residuos del cultivo de piña en Colombia. Ingeniería y Competitividad, 2026, 28(2) e-20915694

https://doi.org/10.25100/iyc.v28i2.15694

Recibido: 9/03/26
Revisado: 22/05/26
Aceptado: 10/07/26
Online: 21/07/26

Correspondencia

denys.mora@correounivalle.edu.co

CrossMark

CC BY NC SA

OPEN ACCESS

¿Por qué se realizó el estudio?
Este estudio se realizó en respuesta a la necesidad de identificar alternativas de manejo sostenible para la biomasa residual generada por el cultivo de piña, considerando particularmente la expansión del área cultivada en Colombia, con especial énfasis en el departamento del Valle del Cauca. El estudio exploró oportunidades tecnológicas para la valorización de los residuos de piña mediante una revisión exhaustiva de la literatura científica y evaluó el potencial de mercado de la Fibra de Hoja de Piña (FFP) con el fin de contribuir al desarrollo de una cadena de valor de la FFP y a la sostenibilidad a largo plazo del sistema de producción de piña en Colombia.

¿Cuáles fueron los hallazgos clave?
Los hallazgos clave de este estudio son los siguientes: i) Estimación de un potencial teórico de biomasa residual de entre 5,9 y 7,1 millones de toneladas, basado en el área cultivada en Colombia en 2024, con la mayor concentración en los departamentos de Santander, Meta y Valle del Cauca. ii) En cuanto a la perspectiva tecnológica, el análisis bibliométrico reveló un incremento sostenido en la investigación científica sobre la valorización de la biomasa de piña, identificando la fibra vegetal para compuestos poliméricos, textiles y papel como las alternativas con mayor potencial técnico y económico. iii) Desde una perspectiva de mercado, la creciente conciencia ambiental, el aumento del poder adquisitivo de los consumidores y las políticas públicas que promueven materiales sostenibles representan importantes oportunidades para los productos basados en PALF. Sin embargo, persisten desafíos significativos, como los altos costos de producción, las fluctuaciones de la demanda del mercado, la ausencia de estándares técnicos específicos, las barreras para el acceso al mercado internacional y la incipiente y poco desarrollada capacidad comercial en Colombia, lo que limita el desarrollo de la cadena de valor de PALF.

¿Qué aportan estos hallazgos?
Nuestros hallazgos proporcionan una evaluación integral de las dimensiones agrícolas, tecnológicas y de mercado asociadas con la valorización de las hojas de piña como materia prima para PALF dentro de estrategias circulares bioeconómicas en Colombia. Desde una perspectiva científica, el estudio consolida y sintetiza el conocimiento disponible sobre los usos potenciales de los residuos de piña, identifica las áreas de aplicación más investigadas y las brechas de investigación existentes, y propone una cadena de valor conceptual de PALF como marco prospectivo para el desarrollo futuro. Desde una perspectiva práctica y pública, este estudio destaca la necesidad de ir más allá de las iniciativas piloto hacia modelos de negocio escalables. Lograr esta transición requerirá estandarización técnica, una mayor coordinación entre los actores de la cadena de valor, una logística eficiente e inversión específica. Además, los resultados destacan la importancia de futuras investigaciones sobre la disponibilidad de biomasa, los enfoques integrados de biorrefinería, la viabilidad tecnoeconómica y los mecanismos de gobernanza para las cadenas basadas en residuos agrícolas.

Graphical Abstract



doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

Introducción

La expansión de la agricultura hacia la producción de alimentos para la creciente población mundial presenta un desafío crítico asociado a la generación de biomasa. En este contexto, los sistemas de producción agrícola deben estar equipados con prácticas para la gestión de residuos de cultivos de forma más sostenible, especialmente en cultivos intensivos en producción de biomasa residual (1,2). En el caso del cultivo de piña, una de las actividades frutícolas más significativas en las regiones tropicales, se estima que hasta el 80% (3,4) de la biomasa vegetal, incluyendo hojas, coronas, cáscaras y tallos, se descarta durante la cosecha y el procesamiento.

En Colombia, los datos de 2024 de FAOSTAT indican una producción de 910.265 toneladas (t) de piña en 23.652 hectáreas (ha), representando el 3,1% y el 2,2% del total global, respectivamente. Esta producción genera un alto volumen de biomasa residual que, debido a su alto contenido de fibra y lenta degradación, a menudo se gestiona mediante prácticas tradicionales: a) desecación química seguida de quema, o b) arar restos en el suelo (5–7). El método más utilizado —cortar y quemar— es preferido por su bajo coste y rapidez; en este sentido, (8) pone de relieve consecuencias preocupantes, incluyendo la pérdida de carbono y nutrientes en el suelo, daños a la biota del suelo, aumento de la erosión, reducción de la infiltración de agua y contaminación del aire. La gravedad de la cual depende de la calidad del suelo y las condiciones climáticas. Sin embargo, estos residuos, históricamente infrautilizados y asociados a la degradación ambiental debido a las emisiones de metano, tienen un gran potencial técnico y económico debido a su riqueza en fibras lignocelulósicas, azúcares y compuestos bioactivos como la bromelina y los polifenoles en diferentes sectores económicos (4,9–11).

Debido al aumento de la producción de piña en Colombia y al creciente interés internacional en encontrar modelos bioeconómicos para reincorporar residuos agrícolas en el ciclo económico (12) como subproductos de uso final o insumos para otros sistemas de producción, este manuscrito explora el posible uso de los residuos de cultivos de piña desde tres perspectivas. Primero, identifica los centros de producción de residuos analizando la disponibilidad de biomasa por departamento. En segundo lugar, identifica oportunidades tecnológicas revisando la literatura científica para encontrar avances y alternativas para valorar las hojas residuales de piña. En tercer lugar, caracteriza el potencial de mercado de las fibras textiles para encontrar oportunidades de comercializar subproductos derivados de las hojas de piña. El objetivo es proporcionar información e indicadores que contribuyan al desarrollo de la cadena de valor de la fibra de piña en Colombia y a fortalecer la sostenibilidad a largo plazo de la producción de piña.

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

Materiales y métodos

Disponibilidad de materias primas

La generación de residuos de cultivos de piña depende de su producción; se revisaron datos de FAOSTAT y Agronet sobre las áreas cultivadas y el rendimiento tanto a nivel nacional como departamental entre 2000 y 2024. Estos datos se analizaron en Excel para identificar tendencias de producción en diferentes departamentos. Las estadísticas de 2024 se visualizaron en un mapa generado usando ArcMap 10.3.1 para identificar los principales nichos de producción. Por lo tanto, la producción potencial de biomasa se calculó como el producto de la superficie cultivada (ha) y el factor de generación de residuos ($t\ ha^{-1}$), donde este factor corresponde a los volúmenes reportados en la literatura.

Identificación de oportunidades tecnológicas

Para explorar, recuperar y analizar datos que faciliten la identificación de tendencias en la literatura científica sobre alternativas para la gestión de residuos de cultivos de piña para la valorización, se emplearon herramientas bibliométricas mediante tres pasos: i) mapear la pregunta de investigación para guiar la búsqueda de información; ii) definir la ecuación de búsqueda y realizar una búsqueda en Scopus y iii) revisar y analizar resultados usando Excel y VosViewer. Para identificar posibles usos de las hojas de piña como biomasa residual del cultivo de piña, se formularon las siguientes preguntas de investigación: ¿Qué alternativas de manejo de las hojas residuales de piña se han explorado para utilizarlas y valorarlas? ¿Qué campos lideran la investigación sobre la valoración de residuos de piña?

Utilizando las palabras clave derivadas de estas preguntas orientativas, la búsqueda buscaba localizarlas, de forma no simultánea, en los títulos, resúmenes o palabras clave de documentos académicos. La ecuación de búsqueda se definió de la siguiente manera: TÍTULO-ABS-CLAVE: piña Y hojas Y residuos O residuos. No se eligió ningún periodo temporal para consultar la literatura, ya que la intención del presente estudio es explorar los documentos disponibles sobre publicidad en la base de datos Scopus hasta el 17 de enero de 2026.

Utilizando estadísticas descriptivas y tablas dinámicas en Excel, siguiendo la metodología propuesta por (13), se revisaron y organizaron resúmenes recuperados por campos disciplinares e industrias potenciales para la utilización de residuos de hojas de piña. Además, la base de datos Scopus fue analizada usando VoSviewer©, según las instrucciones de (14), para crear un mapa bibliográfico Co-occurrence de palabras clave, los resultados gráficos finales fueron analizados e interpretados.

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

Caracterización del potencial de mercado

Debido a la posible diversidad de residuos de piña, el análisis de mercado priorizó el producto con mayor potencial técnico y económico: fibra de hoja de piña (PALF) para uso industrial. Para confirmar la expansión global del mercado, se analizaron estadísticas internacionales sobre la producción, exportación e importación de fibras naturales de origen vegetal utilizando fuentes como FAOSTAT, Trademap y la Iniciativa Discover Natural Fibers (DNFI).

Para analizar el comercio internacional de fibras de origen vegetal, se revisaron las estadísticas de exportación e importación de la Sección XI del Sistema Armonizado, centrándose específicamente en los capítulos 52 y 53 (Encabezados 01, 02, 03, 04, 05). Como variables proxy para fibras sintéticas se incluyeron los capítulos 54 y 55, mientras que los hilos y tejidos se excluyeron para centrarse en PALF en crudo o procesado. Los datos se complementaron con fuentes como Indiamart, Made-in-China y Markets and Markets. Aunque actualmente existen mercados sólidos en Filipinas y Taiwán, el auge de consumidores conscientes del medio ambiente presenta una oportunidad prometedora para otros productores, como Colombia.

El análisis de los aspectos anteriores se integró en una matriz FACCIATA para identificar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas asociadas al producto tanto en el mercado nacional como internacional. Las fortalezas y debilidades se refieren a factores internos que pueden afectar positiva o negativamente al mercado del producto evaluado. Las oportunidades y amenazas se refieren a factores externos que pueden potenciar o dificultar el mercado del producto considerado. En este contexto, el análisis FODA se desarrolló basándose en la combinación de fuentes, incluyendo literatura científica, estadísticas oficiales e informes de mercado, así como la experiencia de los autores e información primaria recopilada a través de talleres con productores de piña y una startup artesanal de PALF. Este enfoque permitió que los resultados se alinearan con las condiciones y percepciones de un entorno de producción real. Finalmente, se propone una estructura para la cadena de valor del PALF como marco conceptual y prospectivo derivado de la integración de tres fuentes principales de información: (i) una revisión de la literatura sobre la cadena de valor de la fibra de algodón, (ii) un análisis del contexto de producción de piña en Colombia, y (iii) información obtenida de talleres con productores de piña y una startup actualmente dedicada a la extracción de PALF en Colombia.

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

Resultados y discusión

Disponibilidad de materias primas

La cantidad potencial de biomasa residual se determinó por la superficie cultivada, la densidad de plantación, el cultivar y utilizando el parámetro que cada planta produce entre 25 y 40 hojas (15,16). Según FAOSTAT (2026), la producción de Colombia ha mostrado una tendencia al alza desde 2000, con una reciente caída del 19,8% en 2019 y un 1,7% en 2020 debido a la pandemia. A estas les siguió una recuperación del 10,7% en 2021, alcanzando las 920.000 t, con una ligera disminución en 2023, explicada principalmente por fenómenos meteorológicos extremos en los departamentos más productivos, y por mejoras en la producción en 2024, como se muestra en la Figura 1. Al mismo tiempo, los datos mostraron que el cultivo de piña ha sido una actividad constante más que una respuesta a fluctuaciones a corto plazo del mercado. Además, aunque Colombia representa solo el 2,25% del área global y el 0,3% de la producción, el mayor potencial de generación de residuos se encuentra en Nigeria, India, China, Filipinas y Brasil, que juntos representan el 48,3% del área global y el 38% de la producción. Cabe destacar que Costa Rica (11%) e Indonesia (9%) están entre los cinco principales productores debido a su alto rendimiento, mientras que en América Latina, Brasil (5,4%) y Costa Rica (5,0%) lideran en superficie cultivada.

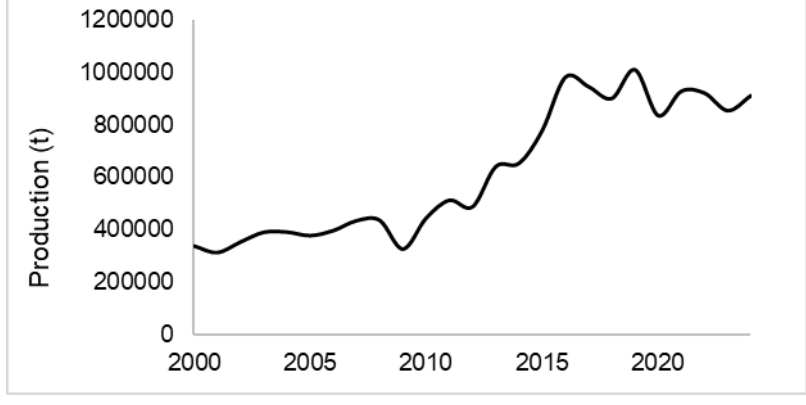


Figura 1. Producción de piña en Colombia entre 2000 y 2024. Fuente: Elaboración propia

Según la distribución por departamento, como se ilustra en la Figura 2, la producción nacional en 2024 estuvo liderada por Santander, Meta y Valle del Cauca, que también representaron las mayores áreas cultivadas: Santander (42%), Meta (12%) y Valle del Cauca (9,4%). El departamento de Cauca también es notable por su proximidad al Valle del Cauca, sede del Consejo Nacional de la Piña (17). A partir de esta información, labiomasa residual de total se estimó utilizando los coeficientes de generación de residuos reportados en la literatura, que oscilan entre 250 toneladas métricas (MT) (18) y 300 MT (15). Así, se estimó que la producción potencial de biomasa para las 23.652 ha de piña cultivada de Colombia en 2024 generaría entre 5.913.000 y 7.095.600 MT de biomasa potencial.

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

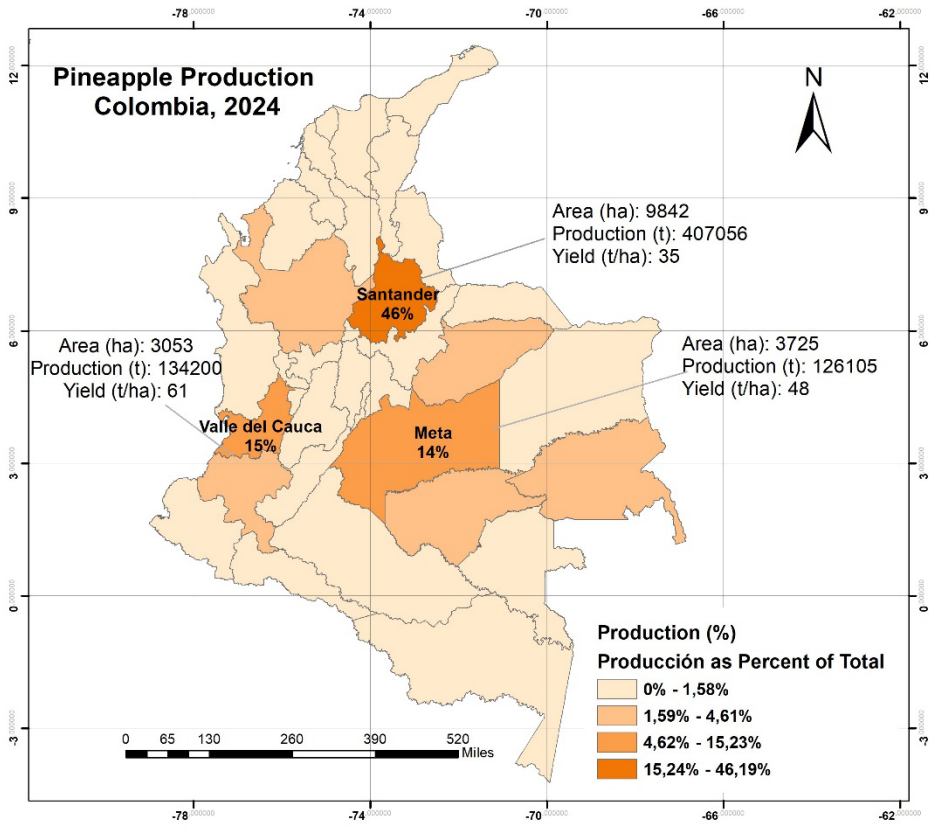


Figura 2 Producción nacional de piña en 2024. Fuente: D.-Y. Mora.

Teniendo en cuenta que la biomasa PALF estimada en este estudio representa un potencial teórico basado en la generación total de residuos, la investigación futura se centra en cuantificar la proporción de biomasa que puede recuperarse eficazmente y utilizarse para la extracción de fibras en condiciones comerciales. Esta evaluación debe considerar la fracción de hojas adecuadas para la producción de PALF, usos alternativos de los residuos de cultivos, eficiencias en la recogida y transporte, pérdidas postcosecha y las dificultades operativas asociadas con los diferentes sistemas de producción de piña.

Identificación de oportunidades tecnológicas

Esta sección presenta los principales hallazgos de investigaciones relacionadas con la gestión de residuos de cultivos de piña (específicamente hojas) basadas en la búsqueda bibliográfica realizada en Scopus. En total, se han publicado 616 documentos en el campo, el 68% artículos y el 18% ponencias en congresos, y el resto corresponde a otro tipo de manuscrito. La evolución de la producción científica desde 1968 hasta 2010 en la gestión de residuos de piña mostró que la producción total se mantuvo relativamente baja (menos de 10 manuscritos al año), pero desde 2018 se ha observado un aumento notable y sostenido.

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

La media anual aumentó de 2 documentos por año durante el periodo 1980–2010 a 37 documentos por año entre 2011 y 2025. Esta tendencia refleja una creciente preocupación y conciencia sobre la necesidad de valorar los residuos de piña.

Las revistas científicas con más publicaciones sobre el tema desde 1980 son: Industrial Crops and Products (12), es decir, JCR-Q1; Conversión de biomasa y biorrefinería (10) clasificada como JCR-Q2; Transacciones de Ingeniería Química (10) con clasificación JCR-T3 y Heliyon (8) posicionadas como JCR-Q1. Según el análisis de resultados de Scopus, el 17,4% de los manuscritos se producen en el campo de la Ciencia de Materiales; 14,1% en Ingeniería, 12,2% en Ciencias Ambientales y 11% en Ciencias Agrícolas y Biológicas, con el porcentaje restante procedente de otras áreas de investigación. La mayor productividad científica se concentra en Malasia (149) e India (116), y en Lantin América, el líder es Brasil (40). Los cinco autores con mayor producción científica en el campo son Taweechai Amornsakchai (17 documentos y 603 citas), Osumanu Haruna Ahmed (15 documentos y 326 citas), Phung Le Thi Kim (11 documentos y 325 citas), Ahmad Husni Mohd Hanif (11 documentos y 114 citas) y Nga H.N. Do (10 documentos y 316 citas). El artículo más citado es “Una revisión sobre la fibra de hojas de piña y sus compuestos” de (19) con 504 citas.

Para determinar la tendencia de investigación en la gestión de residuos de piña (hojas), se generó un mapa de coocurrencia de palabras clave utilizando VoSviewer©. Se procesaron un total de 4.859 palabras clave presentes en resúmenes, títulos o secciones de palabras clave, con un umbral mínimo de 10 ocurrencias. Un total de 122 palabras clave alcanzaron el umbral definido. Los términos “artículo” y “revista prioritaria” fueron excluidos como palabras clave. Calculando el número de ocurrencias y la fuerza total de las correlaciones con otras palabras clave, VoSviewer© agrupó los términos en 4 grupos, cada uno representado por un color diferente, como se muestra en la Figura 3.

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

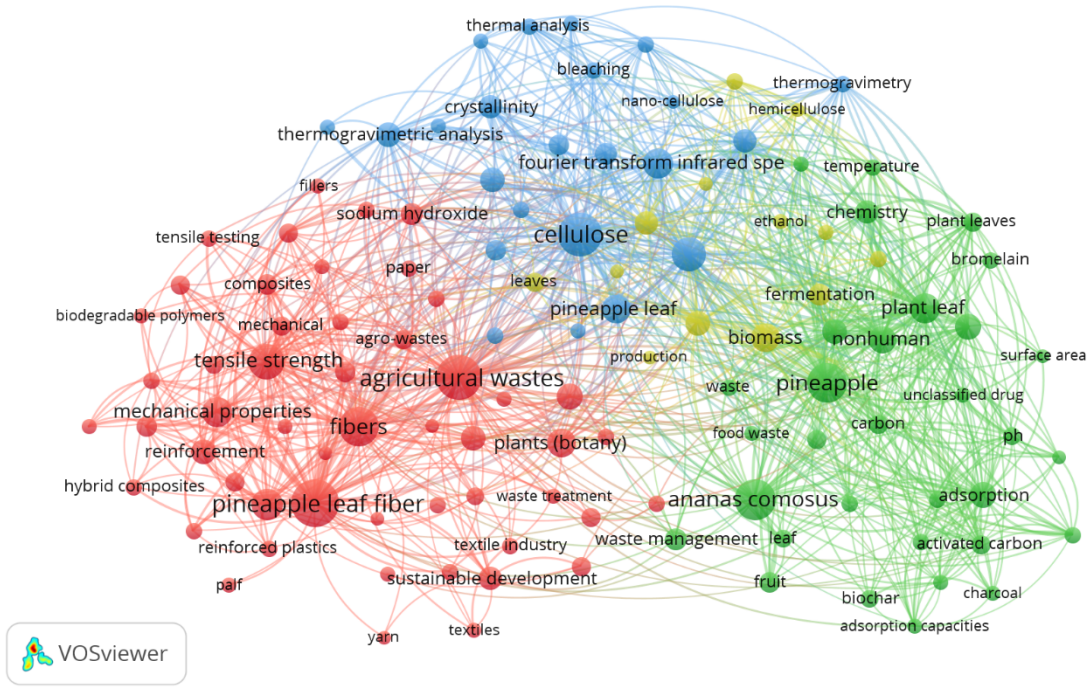


Figura 3 Mapa bibliométrico de la co-ocurrencia de palabras clave “La piña deja residuos O residuos” usando VoSviewer©. Fuente: D-Y Mora.

El primer grupo (Rojo), compuesto por cincuenta y dos términos, está asociado a propiedades de materiales compuestos reforzados con fibra de piña para las industrias textil y automovilística, como alternativa a los materiales sintéticos. Términos clave incluyen fibra de hoja de piña (113), residuos agrícolas (99), fibras (78), resistencia a la tracción (61), propiedades mecánicas (44). El segundo grupo (Verde) contiene treinta y dos términos y se centra en aplicaciones de economía circular en remediación ambiental; los términos principales de este grupo son Ananas comosus (85), piña (78), hoja de planta (44) y no humana (37). El tercer grupo (Azul) consta de veintitrés términos asociados a procesos de extracción de celulosa de hojas de piña para optimizar su uso en alternativas de valorización, siendo celulosa (93) el término que más frecuentemente aparece en común. Finalmente, el cuarto grupo (Amarillo) está limitado a trece elementos, vinculado a Integración de la gestión de residuos de piña para la producción de biocombustibles; los términos más citados son biomasa (42) y residuos agrícolas (32). La ‘fibra de hoja de piña’ tiene un papel de enlace entre racimos, con énfasis en propiedades mecánicas y biodegradables. La revisión bibliográfica evidencia un creciente interés en la valoración de residuos de piña, como estrategia para integrar la sostenibilidad agrícola con el desarrollo regional, también sugiere una maduración de las aplicaciones bioeconómicas, con un potencial significativo para modelos circulares dentro del sector agroindustrial.

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

Hasta 2014, la investigación se centró principalmente en evaluar las propiedades fisicoquímicas de la fibra de hoja de piña y las técnicas iniciales de extracción utilizadas para obtenerla. Por eso la ingeniería de materiales domina la investigación sobre la valorización de PALF, especialmente en refuerzo de fibras para compuestos y textiles. Ciencias Ambientales ocupa el segundo puesto, explorando aplicaciones en remediación. Más recientemente, han surgido áreas como la energía y la biotecnología, como lo demuestran estudios en biorrefinerías y la hidrólisis enzimática asistida. Las aplicaciones potenciales se clasificaron en seis categorías según la frecuencia con la que se usaban palabras clave, títulos y resúmenes: Compuestos (47%), Medioambientales (18%), Energía (15%), Farmacéutica y alimentaria (10%), Textil (7%) y otros (3%).

Los estudios iniciales en el sector de los compuestos (19,20) evidenciaron que los residuos de hojas de piña son un refuerzo eficaz en compuestos poliméricos, lo que los convierte en un sustituto ideal de las fibras sintéticas. Investigaciones y aplicaciones más recientes demostraron un creciente interés en materiales sostenibles, centrándose en películas biocompuestas, utensilios domésticos y mezclas de cemento (21,22). Las aplicaciones medioambientales han investigado principalmente el uso de biomasa de hojas de piña para la remediación (23–29), pero existen desafíos como la variabilidad composicional de las hojas, los costes de activación, la competencia entre contaminantes y la necesidad de regenerarse para su reutilización. En aplicaciones energéticas, el principal enfoque ha sido la producción de biocombustibles, como etanol y biogás, a partir de residuos agrícolas como fuentes de energía renovable para mejorar la eficiencia. Aunque estos estudios confirman la viabilidad de usar hojas de piña como entrada, surgen desafíos en cuanto a los pretratamientos necesarios para mejorar su digestibilidad (30–33). Al mismo tiempo, estudios en los sectores alimentario y farmacéutico destacan el alto contenido de compuestos bioactivos, como polifenoles, taninos y bromelina, y sus propiedades funcionales. Los principales desafíos incluyen la optimización de las tecnologías de extracción y la resolución de fallos en la cadena de valor (3,4,34–36). Además, los investigadores han centrado sus estudios textiles en evaluar las propiedades de las fibras extraídas de hojas y coronas. Estas fibras destacan por su versatilidad, lo que permite el desarrollo de textiles biodegradables (37).

Se han desarrollado iniciativas globales y comerciales en sectores identificados. Global Supply Solutions en Kenia, que utiliza las hojas y otras partes no comestibles de la piña para producir briquetas de biomasa. Life Pack en Colombia, que utiliza coronas de piña para fabricar platos biodegradables. Ananas Anam en el Reino Unido, que fabrica y vende cuero natural de hojas de piña (Piñatex®), un avance en la industria textil para materiales sostenibles. En Indonesia, la Enzima de la Bromelina (BE) se centra en refinar productos a partir de bromelina extraída de tallos de piña, proporcionando productos de salud a

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

partir de un recurso que de otro modo sería desechado. Circular Systems™ en Estados Unidos, que transforma hojas de piña en fibras, hilos y textiles para la industria de la moda (38). Además, según (39), la marca Hozen en Estados Unidos o la marca Aulive en India contribuyen a la creciente demanda de moda sostenible e innovación para sustituir los materiales tradicionales. Así, entre las alternativas tecnológicas para utilizar residuos de piña, la producción de fibras vegetales (como refuerzo de compuestos poliméricos, textiles y papel) surge como la más prometedora económicamente, seguida por la producción de adsorbentes ambientales para la biorremediación, biocombustibles e insumos para las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética (3,7,12,15,40–45).

Estos casos ponen de manifiesto el potencial global de transición hacia modelos de bioeconomía circular en la agroindustria de la piña, reposicionando sus residuos no solo como desafíos medioambientales, sino como reservas estratégicas de recursos biológicos de alto valor.

Caracterización del potencial de mercado

Considerando el mayor potencial para la producción de fibras vegetales como insumo biológico y renovable para producir papel, textiles y refuerzo de compuestos poliméricos, el análisis del mercado potencial se centró en fibras naturales, que pueden ser fibras de bast (yute, lino, cáñamo, ramio y kenaf), fibras de hoja (abacá, fique y piña), fibras de semillas (coco, algodón y kapok). Fibras de tallo (trigo, maíz y arroz) y otros tipos de fibras (madera y raíces) (46). En algunos casos, la producción de fibra es el objetivo principal del cultivo a gran escala, como ocurre con el algodón, yute, cáñamo, kenaf y fique. Sin embargo, en otros casos, la fibra es un subproducto de un cultivo cuyo objetivo principal difiere de la propia fibra. Este es el caso de la piña, el aceite de palma y las fibras de coco. Por tanto, la producción de estas fibras se convierte en una alternativa de valoración y en una oportunidad para reintegrar los residuos en el ciclo de producción, proporcionando una posible vía de negocio para generar ingresos adicionales para los productores de frutas.

Desde 2020, la producción de fibras naturales ha mostrado una tendencia en crecimiento. Sin embargo, en 2021, los rendimientos y la producción total se limitaron debido a las condiciones meteorológicas en diversas zonas de producción. Además, las interrupciones en la cadena de suministro causaron pérdidas económicas significativas debido a los altos costes de envío y retrasos en las entregas. En 2022, la fibra natural alcanzó el 30% (32,6 millones de toneladas) de la producción mundial de fibra. Este crecimiento se puede atribuir a los precios más altos de la fibra natural (tanto de origen animal como vegetal), que han impulsado un incremento en las áreas cultivadas (47,48). Además, datos estimados en 2019 mostraron que aproximadamente 40 millones de hogares en todo el mundo participaban en la producción de fibras naturales derivadas de cultivos primarios. De esos

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

hogares, 29 millones trabajaban con algodón; 6 millones trabajaron con yute, kenaf y fibras relacionadas; 5 millones trabajaban con lana; 1 millón trabajaba con cocos; y 1 millón trabajaba con otras fibras naturales, como abacá, cáñamo, sal y seda. Considerando todos los eslabones de la cadena de valor, el empleo total podría representar entre el 2% y el 3% de la población mundial (49).

La Resolución 78/169 (2023) de la ONU destaca la importancia de las fibras naturales para el desarrollo sostenible debido a su naturaleza renovable y biodegradable, así como a su menor impacto ambiental en comparación con las fibras sintéticas. Además, la producción y procesamiento de fibras naturales puede mejorar las condiciones de pobreza y seguridad alimentaria de los agricultores y las comunidades rurales (50). Según las estadísticas publicadas en FAOSTAT y Trademap para los capítulos arancelarios aduaneros 52 y 53 (Ítems 01, 02, 03, 04, 05), los principales países que producen, importan y exportan fibras vegetales con informes independientes se enumeran en la Tabla 1. PALF está incluido en la categoría relacionada con fibra de coco y otras. FAOSTAT solo informa de los cultivos primarios, lo que significa que no se incluyen las estadísticas de fibras producidas como subproductos de otros cultivos. La producción global de cultivos distintos al algodón dedicados a la extracción de fibras representa colectivamente solo el 22,5% del nivel de producción de fibra de algodón, que es el producto agrícola no alimentario más importante, utilizado principalmente para la producción textil a escala industrial. Después del algodón, las fibras vegetales naturales más producidas en todo el mundo son el yute y el lino, aunque con tendencias fluctuantes. En contraste, cultivos como el agave, cáñamo, kenaf, sil y otras fibras han mostrado patrones de producción relativamente más estables.

Tabla 1. Productores, importadores y exportadores de fibras vegetales en todo el mundo. Fuente: Explicación propia.

Variable	Algodón	Lino	Cáñamo	Yute	Coco y otros
Productores	China EE. UU. Brasil	Francia Bélgica	Francia China	India Bangladés	Sri Lanka Brasil Vietnam
Exportadores	China EE. UU. India Brasil	Francia Bélgica Italia	Países Bajos Italia Luxemburgo	Bangladés India	India Sri Lanka Kenia Brasil
Importadores	China Bangladés Vietnam Turco	China Bélgica India Lituano Francia	Alemania, República Checa Reino Unido. Luxemburgo China	India Pakistán Nepal	China EE. UU. Reino Unido. Filipinas

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

Las importaciones de fibras textiles de origen vegetal representan de media el 9,5% de las de algodón y el 6% de fibras sintéticas. Desde 2018, estas fibras naturales han crecido un 7%, superando al algodón (5,3%) y a las sintéticas (3,4%). A pesar de una mayor sensibilidad a las fluctuaciones externas, entre 2019 y 2020 cayó un 22%, mientras que para el algodón un 16,4% y para los sintéticos un 18,9%. Las fibras naturales mostraron una recuperación más fuerte entre 2021 y 2022, con un aumento del 21,6%, superando el crecimiento del 18,5% de las fibras sintéticas. Este cambio pone de manifiesto una creciente demanda de materiales ecológicos y una reevaluación de los recursos no renovables. Este cambio también refleja la volatilidad de los precios del petróleo, lo que fomenta una reconsideración de los sistemas de producción basados en recursos no renovables, como las fibras sintéticas. Por otro lado, las exportaciones de fibras vegetales naturales están creciendo, aunque su valor de mercado sigue siendo una fracción pequeña (8,1% frente al 9,8%) en comparación con el algodón y los productos sintéticos. Actualmente, el algodón domina la industria, con un valor de exportación que representa entre el 63,9% y el 68,4% del de las fibras sintéticas. A pesar del auge de alternativas naturales, como el PALF, las fibras derivadas del petróleo siguen dominando el mercado global. En 2019, la producción de estas fibras alcanzó los 69 millones de toneladas (49).

Inicialmente, el PALF se clasificó como un material grueso para artículos rústicos, pero varios estudios han demostrado que posee propiedades textiles adecuadas para uso comercial y fabricación sostenible de biocompuestos. Según (16), su longitud, resistencia y capacidad de hilado la hacen comparable o superior a otras fibras naturales. Sus propiedades mecánicas también permiten reducir el uso de productos químicos durante el blanqueamiento en comparación con fibras como el bagazo o el yute. Los pueblos antiguos de Filipinas, Europa y Norteamérica usaban el PALF para prendas finas antes de que fuera desplazado por el algodón en el siglo XIX debido al coste. Sin embargo, ahora está experimentando un resurgimiento en mercados conscientes del medio ambiente. Más allá de los textiles, actúa como un sustituto renovable de las fibras de madera en la industria de la pasta de papel y la pasta (51). A pesar del desafío de garantizar un suministro industrial suficiente, el PALF sigue siendo un recurso de alto valor producido principalmente en Filipinas, Taiwán, Brasil, Hawái, Indonesia, las Indias Occidentales e India.

Según Indiamart, el precio de la fibra natural de piña cruda es aproximadamente de 750 INR por kilogramo, lo que se convierte en unos 9 USD por kilogramo (a un tipo de cambio de 0,012 USD/INR). El proceso de extracción, que puede ser manual o mecánico (52), implica cinco etapas: extracción de hojas verdes, lavado, secado, tratamiento químico o enzimático y blanqueo/teñido. Debido a su naturaleza ecológica y al uso de subproductos, se considera un artículo de lujo relativamente caro. En consecuencia, su mercado objetivo está formado por las clases medias y élites, con un potencial centrado en industrias manufactureras

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

de mediana escala que enfatizan la exclusividad y la innovación, a diferencia de las fibras sintéticas o el algodón, que dependen de economías a gran escala.

En contraste, la industria del cuero sintético, ampliamente utilizada en los sectores del calzado y el automóvil, recibe críticas por su dependencia de petroquímicos como la PU y el PVC, lo que ha llevado a regulaciones más estrictas en la UE y Norteamérica (53). Los principales actores en este mercado incluyen Kuraray Co., Ltd., San Fang Chemical Industry y Teijin Limited. En este contexto, están surgiendo alternativas de base biológica, como el cuero de hoja de piña. Mientras que el mercado global de cuero sintético estaba valorado en 68.700 millones de USD en 2023 con una tasa compuesta anual compuesta del 5,1%, se prevé que el mercado de cuero bio-base crezca a una tasa compuesta anual compuesta del 15,0% para 2028 (de 107 millones a 216 millones de dólares) y una tasa compuesta anual compuesta (54). La demanda es mayor en centros de moda como Italia, Alemania y España, aunque la adopción está limitada por la demanda elástica en mercados emergentes.

Los niveles de ingresos de los consumidores y la conciencia ambiental son factores clave en el mercado del cuero de origen biológico, ya que el cuero de origen biológico tiene costes de producción más altos que el cuero convencional. Esto se debe a que los métodos de producción novedosos y sostenibles requieren una extensa investigación y desarrollo, así como equipos especializados. Así, los consumidores se enfrentan a un equilibrio entre precio y sostenibilidad (54). Entre las principales empresas de este mercado se encuentran Natural Fiber Welding, Inc. (EE.UU.), Ananas Anam Ltd. (Reino Unido), MycoWorks Inc. (EE. UU.), Bolt Threads Inc. (EE.UU.), Modern Meadow (EE.UU.), Adriano di Marti (México), Ultrafabrics Holdings Co., Ltd. (EE.UU.), Beyond Leather Materials (Dinamarca), Fruitleather Rotterdam (Países Bajos) y VEGEA (Italia).

El crecimiento económico global ha impulsado el gasto de los consumidores y ha cambiado estilos de vida, lo que ha resultado en un aumento en el mercado global de productos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, que también sean biodegradables y biocompatibles. En este contexto, las fibras naturales, a diferencia de sus contrapartes sintéticas, tienen un potencial significativo para el desarrollo de prendas de vestir y de moda, cortinas y materiales decorativos. Además, la creciente preocupación por un consumo ambientalmente sostenible ha obligado a los productores a reconsiderar los métodos y materiales utilizados en sus procesos de producción y distribución. Además, la mejora de las condiciones de vida —reflejada en un mayor ingreso disponible entre los consumidores— ha impulsado cada vez más el mercado de fibras vegetales naturales.

Teniendo en cuenta la metodología explicada anteriormente, se generó una matriz DAFO para el mercado potencial de la fibra de piña (Tabla 2). Esta matriz puede servir como base

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

para proponer estrategias de desarrollo, promoción e inversión en el sector de la fibra natural, con especial énfasis en el PALF.

Tabla 2. Matriz FODA para el mercado potencial de PALF

Fortalezas	**Debilidades**
● Alta calidad (durabilidad, textura y apariencia) de la fibra de la hoja de piña. ● Mayor demanda de productos veganos, libres de crueldad y biodegradables. ● Diversidad de usos (moda, industria automotriz y del mueble). ● Potencial para utilizar subproductos. ● Normativas globales sobre el uso de materias primas de origen animal y petroquímicas. ● Impacto ambiental del uso de residuos de la cosecha.	● Dependencia de mercados donde la piña se produce como fruta y dificultad para garantizar el suministro de hojas necesario para la industria de la fibra. ● Altos costes de producción que conducen a precios de venta elevados. ● La demanda del mercado es muy sensible a pequeños cambios de precio. ● Cumplimiento de las normativas para la comercialización en los mercados europeo y norteamericano (USDA, PETA y REACH).
Oportunidades	**Amenazas**
● Creciente demanda en mercados de Asia, Europa y Sudamérica. ● Segmento de mercado de consumidores con ingresos medio-altos. ● Reorientación de la industria textil hacia estándares de sostenibilidad más altos. ● Tasa de crecimiento del mercado global del 15%. ● Desarrollo de innovaciones para mejorar la tecnología actual.	● Competencia de precios con fibras sintéticas producidas en economías a gran escala. ● Condiciones climáticas que pueden afectar la producción de piña y, en consecuencia, el suministro de materias primas. ● Alta sensibilidad al precio entre los consumidores. ● Fluctuación en los precios del petróleo. ● Falta de integración del procesamiento y comercio natural de fibras en los contextos sociales y medioambientales de las regiones productoras.

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

Para proponer una estructura para la cadena de suministro del PALF para el uso textil en Colombia, y considerando la cadena de suministro como la articulación de actores económicos que realizan actividades que aportan valor a la producción de un bien o servicio, un análisis de la información recopilada reveló que la cadena textil y de confección comprende varios eslabones que aportan valor al sector según sus áreas de especialización. En este sentido, y comparando el PALF con la fibra natural más utilizada del mundo (algodón), se propone una estructura de cadena de suministro. El diseño conceptual de la cadena de valor se presenta en la Figura 4, en la que se identifican los actores clave, los flujos de materias primas, los productos intermedios y los posibles puntos de integración con las industrias usuarias finales. Este marco debe entenderse como un ejercicio prospectivo y conceptual, más que como un análisis exhaustivo de una cadena de suministro completamente establecida. Reconocemos que una evaluación integral de la cadena de valor requeriría un análisis cuantitativo detallado de la logística, los costes, el rendimiento operativo y la dinámica del mercado. Por lo tanto, la investigación futura debería centrarse en evaluar la viabilidad técnica, económica y financiera de la cadena de valor propuesta, así como en identificar las condiciones necesarias para su exitosa implementación y escalabilidad dentro del contexto colombiano.

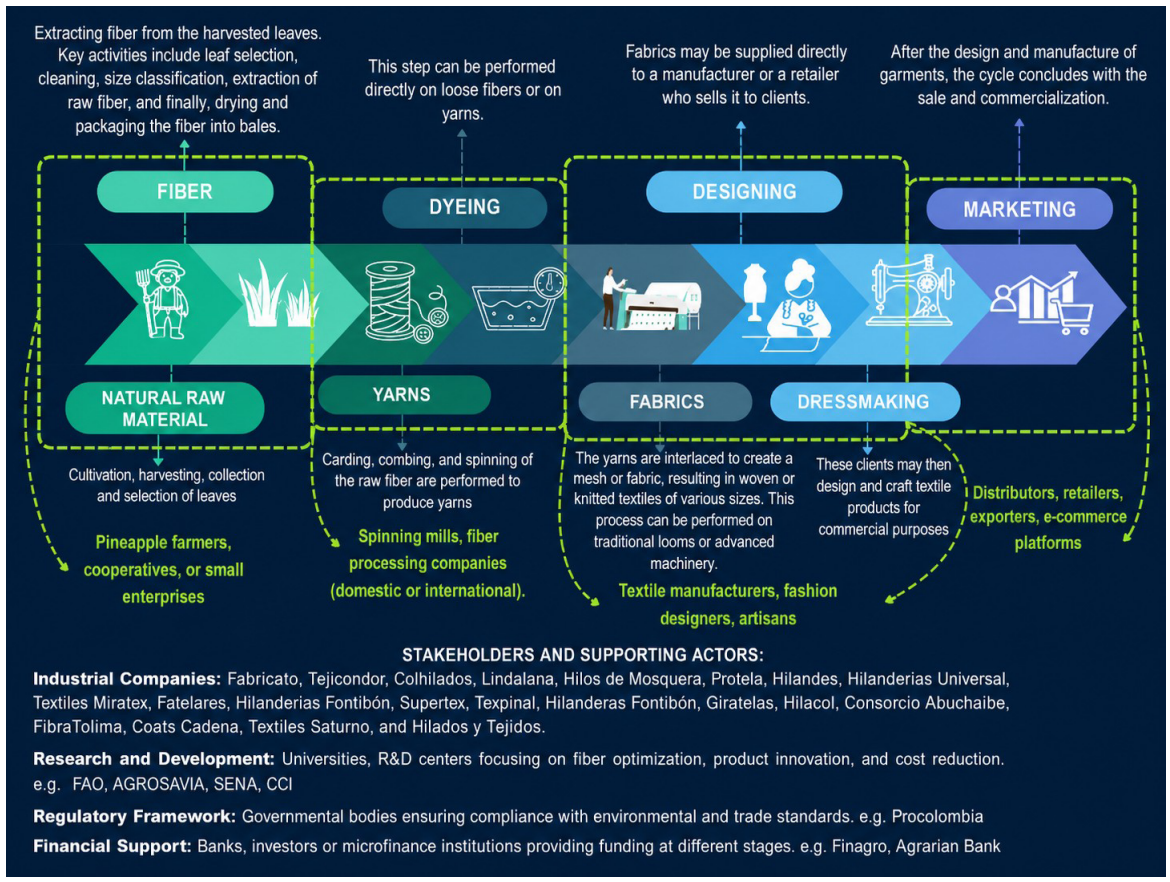


Figura 4 Estructura propuesta de la cadena de valor del PALF para uso textil en Colombia, basada en la cadena de valor del sector algodón-textil definida por (55).

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

Conclusiones

La promoción de la utilización residual de biomasa de los cultivos de piña destinados a la producción frutícola es esencial para lograr una agricultura más sostenible económica, social y medioambientalmente. En línea con los resultados de este estudio, que revelan tanto el significativo potencial técnico del PALF como las barreras tecnológicas y de mercado que actualmente limitan su adopción a gran escala, enfatizamos el papel crucial de la investigación académica en el apoyo a innovaciones tecnológicas para reducir los costes de producción, mejorar la eficiencia y permitir economías de escala, al tiempo que fomentamos la concienciación y la colaboración entre los interesados. Esta colaboración debería impulsar los sistemas de producción dentro de industrias como la moda, la automoción y el mobiliario que puedan integrar PALF como un insumo sostenible. Sin embargo, en el caso de Colombia, las iniciativas de diversos sectores gubernamentales, público y privado para promover las ventajas del PALF siguen siendo incipientes. En consecuencia, el panorama actual es predominantemente un ecosistema de innovación emergente compuesto por iniciativas a escala piloto y exploratorias, más que una cadena de valor consolidada.

Aunque ha habido avances en aumentar la conciencia colectiva sobre la producción y consumo de bienes/servicios respetuosos con el medio ambiente, incluso reconociendo que pueden implicar precios más altos, las estadísticas muestran que el progreso logrado sigue siendo mínimo en comparación con el tamaño del mercado. Esto se explica en gran medida por el desarrollo de economías de escala en el sector de la fibra sintética, que captura casi el 70% del mercado global de fibras. Según informó el DFNI, de las casi 10 millones de toneladas producidas en 2022, solo 32,6 millones corresponden a fibras naturales (de origen animal y vegetal).

El mayor crecimiento económico y el mayor ingreso per cápita a nivel global están impulsando la creciente demanda de los consumidores por productos derivados de procesos que abordan tanto preocupaciones éticas como ecológicas. De manera similar, los productores están transformando las prácticas de producción y reemplazando materiales en busca de la neutralidad de carbono, el reciclaje de materiales, recursos sostenibles y alternativos, gestión de productos de origen químico, prácticas de producción más sostenibles y bienestar animal. Estas condiciones promueven colectivamente la expansión global del uso de PALF en diversas industrias potenciales.

Limitaciones

En Colombia, el uso comercial de hojas de piña como fuente de fibra enfrenta importantes limitaciones tanto en el lado de la oferta como de la demanda. En cuanto a la oferta, los

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

diversos sistemas de cultivos de producción del país requieren protocolos estandarizados para el proceso mecánico de extracción de fibras adaptados a las condiciones locales. Esta situación conlleva altos costes de transacción o una calidad del producto muy variable a nivel de explotación, mientras que la provisión continua de biomasa residual está condicionada por la superficie cosechada. Además, actualmente no existe un esquema organizado para la recogida y almacenamiento de residuos de cultivos, y los elevados costes de transporte interior obligan a realizar la extracción de fibras cerca de la fuente de la materia prima para garantizar la viabilidad económica, incluso a pequeña escala. Además, ha habido avances en la viabilidad técnica de transformar PALF en insumos textiles o biocompuestos, pero la capacidad a escala comercial sigue siendo incipiente y, por ahora, la coordinación entre productores, procesadores, industrias usuarias y centros de investigación y desarrollo es muy limitada. Desde una perspectiva de política pública, aunque hay avances en el apoyo a iniciativas de biorrefinería, todavía no existen mecanismos específicos de financiación para cadenas de valor basadas en residuos agrícolas, lo que aumenta la percepción de riesgo y limita la entrada de nuevos actores, de modo que el potencial del PALF en Colombia permanece en gran medida en fase de proyecto piloto y aún no se ha consolidado comercialmente como competidor de segmentos de las fibras naturales o sintéticas tradicionales.

En el lado de la demanda, el potencial del PALF está limitado porque las industrias implicadas (textil, envasado, biocompuestos) aún lo consideran un insumo experimental, con información limitada sobre su rendimiento técnico, disponibilidad constante y precios. Esto se agrava por la falta de estándares técnicos y certificaciones relacionadas con calidad, trazabilidad y atributos medioambientales, que son clave para promover PALF en mercados nacionales e internacionales.

Perspectivas e investigaciones futuras

Para avanzar hacia el desarrollo de una cadena de valor PALF en Colombia, es necesario ampliar su caracterización para los diversos usos finales, incluyendo estrategias de mezcla con otras fibras, pruebas de rendimiento y estudios de ciclo de vida en comparación con materiales convencionales. Asimismo, es necesario avanzar hacia evaluaciones multidimensionales que integren aspectos agronómicos, tecnológicos, económicos y medioambientales, con el objetivo de pasar de experiencias piloto a modelos de negocio escalables. En este sentido, debe darse prioridad a la investigación orientada a cuantificar la disponibilidad espacial y temporal de biomasa residual bajo diferentes sistemas de producción y la posibilidad de integrar cultivares presentes en las distintas regiones de Colombia, así como modelos de extracción, procesamiento y logística que reduzcan costes y permitan una mayor trazabilidad y estandarización de la calidad de la fibra. De manera similar, el desarrollo de modelos integrados de biorrefinería podría permitir el uso simultáneo de fibras, compuestos bioactivos y biomasa lignocelulósica, maximizando

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

así el valor económico de los residuos de piña dentro de los marcos de bioeconomía circular. Por último, las futuras líneas de investigación deberían abordar los mecanismos de gobernanza y financiación de cadenas basados en residuos agrícolas, el diseño de instrumentos de política pública y estándares técnicos que reduzcan el riesgo percibido, así como estudios exploratorios sobre la aceptación por parte del consumidor y la creación de nichos de mercado nacionales e internacionales para productos que incorporen PALF total o parcialmente.

Estos esfuerzos pueden contribuir no solo a reducir el impacto ambiental asociado a los residuos agrícolas, sino también a generar nuevas oportunidades de empleo rural, promover la diversificación de ingresos para los agricultores y apoyar el desarrollo industrial sostenible.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia por financiar el proyecto 452-2021 a través del "FONDO NACIONAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" PARA LA CIENCIA, TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN, y a la Corporación Colombiana de Investigación Agrícola - AGROSAVIA por proporcionar los recursos humanos y materiales para el desarrollo de la investigación.

Declaración de contribución de autoría de CreditT

Conceptualización - Ideas: Denys Yohana Mora-Herrera, Isabel Moreno. Curación de datos: Denys Yohana Mora-Herrera. Análisis formal: Denys Yohana Mora-Herrera. Investigación: Denys Yohana Mora-Herrera. Metodología: Denys Yohana Mora-Herrera. Dirección de Proyecto: Isabel Moreno. Recursos: Isabel Moreno. Supervisión: Isabel Moreno. Validación: Denys Yohana Mora-Herrera. Redacción - borrador original - Elaboración: Denys Yohana Mora-Herrera. Redacción - revisión y edición -Elaboración: Denys Yohana Mora-Herrera, Isabel Moreno.

Financiación: no declara.

Conflicto de intereses: no declara. Aspecto ético: no declara.

Referencias

1. Eixenberger D, Carballo-Arce AF, Vega-Baudrit JR, Trimino-Vazquez H, Villegas-Peñaranda LR, Stöbener A, et al. Tropical agroindustrial biowaste revalorization through integrative biorefineries-review part II: pineapple, sugarcane and banana by-products in Costa Rica. Biomass Convers. Biorefin. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2024. p. 4391-418.

https://doi.org/10.1007/s13399-022-02721-9

2. Sarangi PK, Singh AK, Srivastava RK, Gupta VK. Recent Progress and Future Perspectives for Zero Agriculture Waste Technologies: Pineapple Waste as a Case Study. Sustainability (Switzerland). MDPI; 2023.

https://doi.org/10.3390/su15043575

3. Meena L, Sengar AS, Neog R, Sunil CK. Pineapple processing waste (PPW): bioactive compounds, their extraction, and utilisation: a review. J. Food Sci. Technol. Springer; 2022. p. 4152-64.

https://doi.org/10.1007/s13197-021-05271-6

4. Vargas-Vargas MA, Jiménez-Silva A. Comprehensive Valorization of Pineapple Cultivation Residues for High-Value Products: A Global Perspective Review. Revista Académica Arjé. Universidad Tecnica Nacional; 2025;8:1-54.

https://doi.org/10.47633/zhp44522

5. Apipatpapha T, Ongkunaruk P, Chollakup R. Pineapple leaf fiber supply chain analysis for the sustainability of community enterprise: A case study in Thailand. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. Institute of Physics; 2022.

https://doi.org/10.1088/1755-1315/1074/1/012032

6. Cubero F. D, Sandi M. V. Técnicas agroambientales para el manejo del cultivo de piña. II edición. San josé, CR: Inta Costa Rica; 2014.

https://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/06/00516-manejo-cultivo-pina-cd.pdf

7. Quesada S. K, Aguilar A. P, Ballestero S. R, Baudrit V. Jose. Utilización de las fibras del rastrojo de piña (Ananas comusus, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de políester. Revista Iberoamericana de Polímeros. 2005;6:157-79.

https://www.researchgate.net/publication/28087816_Utilizacion_de_las_fibras_del_rastrojo_de_pina_Ananas_comusus_variedad_champaka_como_material_de_refuerzo_en_resinas_de_poliester

8. Singh BP, Setia R, Wiesmeier M, Kunhikrishnan A. Chapter 7 - Agricultural Management Practices and Soil Organic Carbon Storage. In: Singh BK, editor. Soil Carbon Storage [Internet]. Academic Press; 2018. p. 207-44.

https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812766-7.00007-X

9. Santín CS del C, Arciniega AAG. SYSTEMATIC REVIEW OF PINEAPPLE BY-PRODUCTS (Amanas comosus). 2024.

https://n9.cl/c958e

10. Rica López-Herrera C. Agronomía Mesoamericana. Agronomía Mesoamericana [Internet]. 2014;25:383-92.

https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15453

11. Campos DA, Ribeiro TB, Teixeira JA, Pastrana L, Pintado MM. Integral valorization of pineapple (Ananas comosus L.) By-products through a green chemistry approach towards Added Value Ingredients. Foods. MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute; 2020;9.

https://doi.org/10.3390/foods9010060

12. Mgeni ST, Emmanuel JK, Mtashobya LA. Potential Contributions of Pineapple Waste to Nutrition, Medicine, Bioenergy Sources, and Environmental Conservation: A Review. Nat. Prod. Commun. SAGE Publications Inc.; 2025.

https://doi.org/10.1177/1934578X251348402

13. Arango Espinal E, Ceballos Molano R, Osorio Andrade CF. Political advertising research: a bibliometric analysis. Revista Guillermo de Ockham [Internet]. University of San Buenaventura - Cali; 2020 [cited 2026 Feb 26];18:181-9.

https://doi.org/10.21500/22563202.4574

14. Van Eck NJ, Waltman L. VOSviewer manual. Leiden: Univeristeit Leiden [Internet]. 2016;

http://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.1.pdf

15. Avella C. JC, Valenzuela G. AH, Quisphi G. M, Gómez AM, Gamboni R. SL. Aprovechamiento residuos biomasa de producción de piña (Ananas Comosus) para municipio de Aguazul Casanare [Internet]. Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la Orinoquia |. 2014.

http://aguazulcasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/aguazulcasanare/content/files/000022/1068_docfinalbiomasapia_1.pdf

16. Debnath S. Pineapple Leaf Fibre- A Sustainable Luxury and Industrial Textiles. Handbook of Sustainable Luxury Textiles and Fashion. 2016. p. 35-49.

https://doi.org/10.1007/978-981-287-742-0_3

17. Asim M, Abdan K, Jawaid M, Nasir M, Dashtizadeh Z, Ishak MR, et al. A review on pineapple leaves fibre and its composites. Int. J. Polym. Sci. Hindawi Limited; 2015.

https://doi.org/10.1155/2015/950567

18. Santos RM dos, Flauzino Neto WP, Silvério HA, Martins DF, Dantas NO, Pasquini D. Cellulose nanocrystals from pineapple leaf, a new approach for the reuse of this agro-waste. Ind Crops Prod. 2013;50:707-14.

https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.049

19. Esquivel-Alfaro M, Rojas-Carrillo O, Sulbarán-Rangel B, Rodríguez-Barquero L, Palacios-Hinestroza H, Rojas OJ. Pineapple-Derived Nanocellulose for Nanocomposites: Extraction, Processing, and Properties. Journal of Composites Science. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2025.

https://doi.org/10.3390/jcs9120652

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

20. Azlan M, Sukaryo SG, Ardiansyah A, Abdullah B, Armynah B, Gareso PL, et al. Sustainable development of PVA/cellulose/PALF-based composites coated with nano-BaCO□ for enhanced X-ray radiation shielding aprons. Int J Biol Macromol. Elsevier B.V.; 2025;332.

https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.148699

21. Rungrattanachai C, Amornsakchai T, Amornsakchai P. Valorization of Pineapple Leaf Waste for Methylene Blue Adsorption: A Comparative Study of Natural and Modified Adsorbents. ACS Omega. American Chemical Society; 2025;10:48711-22.

https://doi.org/10.1021/acsomega.5c06723

22. Akma Miskhan SF, Takeshi Y, Amin Hamzas MFM, Lokman NF. Removal of Zn(II) and Cu(II) ions in industrial wastewater using pineapple leaf powder as an adsorbent. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. Institute of Physics; 2025.

https://doi.org/10.1088/1755-1315/1548/1/012032

23. Tran T Van, Nguyen DTC, Nguyen TTT, Nguyen DH, Alhassan M, Jalil AA, et al. A critical review on pineapple (Ananas comosus) wastes for water treatment, challenges and future prospects towards circular economy. Science of the Total Environment. Elsevier B.V.; 2023.

https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158817

24. Hassan SS, El-Shafie AS, Zaher N, El-Azazy M. Application of Pineapple Leaves as Adsorbents for Removal of Rose Bengal from Wastewater: Process Optimization Operating Face-Centered Central Composite Design (FCCCD). Molecules. MDPI AG; 2020;25.

https://doi.org/10.3390/molecules25163752

25. Iamsaard K, Weng CH, Yen LT, Tzeng JH, Poonpakdee C, Lin YT. Adsorption of metal on pineapple leaf biochar: Key affecting factors, mechanism identification, and regeneration evaluation. Bioresour Technol. Elsevier Ltd; 2022;344.

https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126131

26. Srikhaow A, Win EE, Amornsakchai T, Kiatsiriroat T, Kajitvichyanukul P, Smith SM. Biochar Derived from Pineapple Leaf Non-Fibrous Materials and Its Adsorption Capability for Pesticides. ACS Omega. American Chemical Society; 2023;8:26147-57.

https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02328

27. Duwiejuah AB, Farouk HN, Obeng AK. Simultaneous Adsorption of Chromium, Nickel, and Phenol from Landfill Leachate Using Pineapple Residues Biochar. East African Journal of Environment and Natural Resources [Internet]. 2026;9:124-61.

https://doi.org/10.37284/eajenr.9.1.4449

28. Mund NK, Dash D, Mishra P, Nayak NR. Cellulose solvent-based pretreatment and enzymatic hydrolysis of pineapple leaf waste biomass for efficient release of glucose towards biofuel production. Biomass Convers Biorefin [Internet]. 2022;12:4117-26.

https://doi.org/10.1007/s13399-020-01225-8

29. Da Luz Castro J, Rojas Sossa J, Bustamante Román M. Techno-Economic Analysis of Biogas Production from Pineapple Leaves Juice and Chicken Manure in Anaerobic Codigestion. Ingeniería. Universidad de Costa Rica; 2024;34:23-32.

https://doi.org/10.15517/ri.v34i1.55355

30. Sharma V, Wang JX, Tsai ML, Yadav A, Dong C Di, Nargotra P, et al. Bioprocessing of pineapple leaf waste biomass using an integrated ultrasound-deep eutectic solvent pretreatment approach for improved bioethanol production. J Biotechnol. Elsevier B.V.; 2025;404:83-93.

https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2025.04.011

31. Saini R, Chen CW, Patel AK, Saini JK, Dong C Di, Singhania RR. Valorization of Pineapple Leaves Waste for the Production of Bioethanol. Bioengineering. MDPI; 2022;9.

https://doi.org/10.3390/bioengineering9100557

32. Bertan FAB, da Silva Pereira Ronning E, Marchioro MLK, Oldoni TLC, Dekker RFH, da Cunha MAA. Valorization of pineapple processing residues through acetification to produce specialty vinegars enriched with red-Jambo extract of Syzygium malaccense leaf. Sci Rep. Nature Research; 2022;12.

https://doi.org/10.1038/s41598-022-23968-2

33. Acquah JO, Nettey-Oppong EE, Mensah EE, Kayaba AM, Asare E. Development and Characterization of Pineapple Fiber-Based Absorbent Cores for Eco-friendly Sanitary Pads. Fibers and Polymers. Korean Fiber Society; 2025;26:3227-41.

https://doi.org/10.1007/s12221-025-01015-x

34. Casas-Rodríguez AD, González-Martínez DW, C. Contreras SA, Ascacio-Valdés JA, Dávila-Medina MD, Chávez-González ML, et al. Potential of pineapple waste: Bioactive compounds and their biological significance in human health. Journal of BioProcess and Chemical Technology. 2025;7:14-38.

https://revistas.uadec.mx/JBCT/en/article/view/402

35. Moreno I, Martínez MF, Ortiz D, Mora Y, Paredes O, Ramos YP, et al. Progress on "Piñafibre" Project: Unlocking the Potential of Dual-Purpose Crop by the Utilization of Pineapple Leaf Fibers for Bio-Based Textiles. 2025. p. 25-30.

https://doi.org/10.1007/978-3-031-84359-4_3

36. Monteiro VIM, Passos SBL, Marques SCV, Santos RD, Pereira SD. Valorization of Pineapple Waste: a Review on How the Fruit's Potential Can Reduce Residue Generation. Bioenergy Res. Springer; 2022. p. 924-34.

https://doi.org/10.1007/s12155-021-10318-9

37. Markets and Markets. Plant-Based Leather Market by Product Type (Pineapple Leather, Cactus Leather, Mushroom Leather, Apple Leather), Application (Fashion (Clothing, Accessories, and Footwear, Automotive Interior, Home) and Region - Global Forecast to 2027 [Internet]. 2022.

https://n9.cl/i9x9d

38. Banika S, Nag D, Debnath S. Utilization of pineapple leaf agro-waste for extraction of fibre and the residual biomass for vermicomposting. Indian J Fibre Text Res. 2011;36:172-7.

http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/11894

39. González A. M. Empleo de la fibra de piña en el campo textil. Universidad de los Andes; 2004.

https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/0f2a514b-671a-4d9f-941b-2509e6801a59/content

40. Huallpa E, Alcántara A. Utilización de las Hojas de Piña para Elaborar Telares. Revista del Instituto de Investigación de la Factultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la UNMSM. 2019;22:127-32.

https://n9.cl/b4xqt

41. López H. M. Valoración nutricional de los rastrojos de piña (Ananas comosus) como una alternativa forrajera de bajo costo para la alimentación del ganado [Internet]. 2008.

https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/b26a1227-3674-41f8-ba3e-08ca192a8213/content

42. Valverde H. E, Torres R. LC, Chamorro H. R. Evaluación de alternativas de aprovechamiento del rastrojo de la Piña para el diseño de un modelo de negocio que contribuya con el manejo sostenible del residuo. 2020.

https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/3e721db5-82ef-4684-92c1-c786732d5edd/content

43. Viveros Torres I, Muñoz Delgado J, Lagunes Gomez I. Diseño de Sistemas Tecnificados para el Aprovechamiento de Subproductos de la Piña. 2023;289-97.

https://doi.org/10.4995/INN2022.2022.15744

44. Deaquiz-Oyala Y, Moreno-Medina B. Producción y biosíntesis de fibras vegetales. Conexión agropecuaria [Internet]. 2016;6:29-42.

https://revista.jdc.edu.co/index.php/conexagro/article/view/53/51

45. DNFI. the Global Markets of Natural Fibres. 2022;2022. https://dnfi.org/dnfi-at-icc-bremen-2022

46. DNFI. World Natural Fibre Update- December 2023;2023;1-5.

https://dnfi.org/dnfi-world-natural-fibre-updates

47. Townsend T. Discover Natural Fibres Initiative [Internet]. 2020 [cited 2023 Dec 31].

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694

https://dnfi.org/40-million-households-produce-natural-fibres

48. United Nations. Natural plant fibres and sustainable development [Internet].

https://docs.un.org/en/A/RES/78/169

49. Pandit P, Ritu P, Singha K, Shrivastava S, Gupta V, Jose S. Pineapple Leaf Fibers. Processing, Properties and Applications [Internet]. Jawaid M, Asim M, Tahir PaMd, Nasir M, editors. Springer Singapore; 2020.

https://doi.org/10.1007/978-981-15-1416-6_1

50. Ortiz-González D, Paredes Martínez OE, Martínez MF, Moreno I. Comparison of fiber extraction methods in leaves from different strata in pineapple MD2. Bioagro. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA); 2025;37:67-78.

https://doi.org/10.51372/bioagro371.6

51. Markets and Markets. Synthetic Leather Market by Type (PU-based, PVC-based, Bio-based), End-use Industry (Footwear, Furnishing, Automotive, Clothing, Bags, Purses & Wallets), and Region (North America, Europe, Asia Pacific, MEA, South America) - Global Forecast to 2028 [Internet]. 2024.

https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/synthetic-leather-market-6616309.html

52. Markets and Markets. Bio-based Leather Market by Source (Mushroom, Pineapple, Apple, Cactus, Tree Bark, Leftover Fruits), End-Use Industry (Footwear, Garments & Accessories), and Region (North America, Europe, APAC, MEA, South America) - Global Forecast to 2028 [Internet]. 2023.

https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/bio-based-leather-market-206086810.html

53. MADR. Cadena algodón, textil, confecciones [Internet]. 2020.

https://sioc.minagricultura.gov.co/Algodon/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf

doi: 10.25100/iyc.v28i2.15694