

Capítulo 1

De residuos a recursos estratégicos: potenciando la competitividad en la cadena del plátano del Tolima

***From waste to strategic resources: encouraging
competitiveness in the Tolima banana chain***

Carlos Guillermo Mesa Mejía¹

Francisco José Montalegre Torres²

Paola Andrea Tenorio Sánchez³

Danilo Bonilla Trujillo⁴

Nelly María Méndez Pedroza⁵

Andrés Mauricio Munar Samboní⁶

¹ (M.Sc) en Educación. Especialización en Educación Superior a Distancia. Pregrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=00015_02971

² (M.SC) Gerencia de Proyectos. Especialización en gestión de proyectos. Pregrado en Ingeniería Agro-nómica. https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=00000_36963

³ Maestría en Sistemas Integrados de Gestión. Especialización en Docencia Universitaria. Pregrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=00013_48797

⁴ Maestría en Ciencias Pecuarias. Especialización en Pedagogía para el aprendizaje autónomo. Pregrado en Medicina Veterinaria y Zootecnia. https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=00008_06773

⁵ Doctorado en Desarrollo sostenible. Magíster en Administración de Organizaciones. Especialización en Gerencia Estratégica de Mercadeo. Pregrado en Ingeniería Forestal. https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=00007_52916

⁶ Postdoctorado en Cambio Climático y Recursos Hídricos. Doctorado en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental. Magíster en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos. Pregrado en Ingeniería Ambiental. https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001357260&lang=es

Resumen

La problemática ambiental derivada de la producción agrícola del cultivo de plátano se centraliza en el subaprovechamiento de residuos vegetales generados en el cultivo, lo cual conlleva a la contaminación del entorno y la falta de explotación eficiente de recursos naturales.

El cultivo de plátano presenta oportunidades no aprovechadas en términos de desarrollo de paquetes tecnológicos y transferencia de conocimiento para aprovechar subproductos más allá de los racimos y las hojas.

Por tanto, el presente proyecto propone abordar dos problemas específicos: el valor agregado a los residuos de la producción de plátano en el departamento del Tolima y la reducción de plásticos de un solo uso. Se planea trabajar en los municipios piloto de Casabianca y Herveo, donde actualmente asociaciones de mujeres procesan la calceta de plátano. Se busca beneficiar a 150 personas directamente, incluyendo asociaciones de mujeres y productores de plátano.

De igual forma, el proyecto busca la implementación de tecnologías, transferencia de conocimiento y desarrollo de productos biodegradables, con el objetivo de mejorar la gestión ambiental y generar valor agregado en el cultivo de plátano en los municipios seleccionados.

Los objetivos incluyen estrategias de adopción de procesos y desarrollo de productos a partir de los residuos de plátano, la evaluación del impacto ambiental y el desarrollo de biomateriales biodegradables. Se pretende desarrollar tecnologías para aprovechar los residuos agroindustriales, caracterizando productos experimentales y biocontenedores biodegradables para alimentos. Además, se busca mejorar las prácticas ambientales de los productores y mejorar las capacidades tecnológicas en la fabricación de biocontenedores.

Palabras clave: tratamiento de desechos, cultivos, aprovechamiento de recursos, gestión ambiental, transferencia de tecnología.

Abstract

The environmental issues arising from banana crop agriculture revolve around the underutilization of plant residues generated during cultivation, leading to environmental contamination and inefficient exploitation of natural resources.

Banana cultivation offers untapped opportunities in terms of technological package development and knowledge transfer to make use of byproducts beyond bunches and leaves.

This project aims to address two specific problems: adding value to banana production residues in the Tolima department and reducing single-use plastics. The plan is to work in the pilot municipalities of Casabianca and Herveo, where women's associations process banana fibers. It aims to benefit 150 people directly, including women's associations and banana producers.

The project seeks to tackle the underutilization of banana residues by implementing technologies, knowledge transfer, and the development of biodegradable products with the goal of improving environmental management and adding value to banana cultivation in the selected municipalities.

Objectives include the adoption of processes and product development strategies using banana residues, environmental impact assessment, and the development of biodegradable biomaterials. The intention is to develop technologies for utilizing agro-industrial residues, characterizing experimental products, and producing biodegradable food containers. Additionally, the project aims to enhance environmental practices among producers and build technological capabilities in biocontainer manufacturing.

Keywords: waste treatment, crops, resource use, environmental management, technology transfer.

Introducción

El plátano, considerado un cultivo tradicional en Colombia, desempeña un papel esencial en la economía familiar, la seguridad alimentaria y la generación de empleo rural a nivel nacional. Su producción, que abarca 32 departamentos y 786 municipios, involucra a más de 213 950 familias, con un promedio de 3,5 hectáreas por productor. Este cultivo, que lidera la producción agrícola nacional, genera aproximadamente 960 000 empleos directos e indirectos, con una producción estimada que supera los 4,8 millones de toneladas anuales.

Aunque el plátano es cultivado durante todo el año, la producción varía según las condiciones climáticas de las diferentes regiones, alcanzando su pico entre abril y septiembre. Las condiciones óptimas para su cultivo incluyen temperaturas promedio de 26 °C o 27 °C y altitudes que oscilan entre 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar, preferiblemente en llanuras húmedas cercanas al mar que están protegidas de los vientos.

No obstante, a pesar de la importancia socioeconómica y de las extensas áreas de producción, existe un desaprovechamiento significativo de los residuos vegetales generados durante las fases de cultivo, cosecha y postcosecha. Estos residuos —que incluyen el pseudotallo, las hojas y el raquis— son desechados de manera ineficiente, lo que provoca la contaminación del suelo y las aguas subterráneas debido a la descomposición no controlada.

El presente proyecto aborda dos problemáticas interconectadas en el departamento del Tolima. En primer lugar, el desaprovechamiento de los residuos del cultivo de plátano, donde, aparte del uso de hojas en la producción de tamales y una pequeña cantidad de calceta de plátano destinada a la elaboración de artesanías, gran parte de la biomasa residual se desperdicia o genera contaminación ambiental. En segundo lugar, el incremento en el uso de plásticos de un solo uso representa una amenaza creciente para el medio ambiente, agravando la crisis de gestión de residuos sólidos.

El proyecto se llevará a cabo en los municipios de Casabianca y Herveo, donde asociaciones de mujeres campesinas ya participan activamente en el procesamiento de la calceta de plátano. Esta iniciativa no solo busca resolver las problemáticas mencionadas, sino llenar un vacío de conocimiento sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano para generar productos transformados, biodegradables y con valor agregado.

La propuesta está orientada a fortalecer las economías familiares rurales y mejorar la seguridad alimentaria mediante la generación de empleo asociado a la transformación de residuos de plátano. Se espera beneficiar directamente a 150 productores, en consonancia con las estrategias municipales de gestión de residuos sólidos orgánicos, fomentando la ciencia, la tecnología, la innovación y el desarrollo tecnológico en las comunidades rurales.

A pesar de la relevancia del cultivo de plátano, las iniciativas para la transformación y el aprovechamiento de los residuos de cosecha siguen siendo escasas, y los esfuerzos tecnológicos se han enfocado principalmente en ampliar el uso de los racimos, dejando de lado un potencial significativo para el desarrollo de tecnologías sostenibles. Esta situación plantea una oportunidad estratégica para la transferencia de tecnología y la promoción de su adopción entre los productores.

En este contexto, surge la necesidad de convertir los residuos del plátano en productos biodegradables, otorgando valor agregado a la biomasa residual y reduciendo la dependencia de plásticos de un solo uso, con el fin de mitigar su impacto ambiental. El proyecto, enfocado en los municipios de Casabianca y Herveo, tiene como objetivo implementar un prototipo de termoformadora para la producción de artículos transformados y terminados a partir de residuos de plátano.

El principal desafío radica en superar las limitaciones técnicas, geográficas y ambientales, así como en la falta de infraestructura tecnológica para el manejo postcosecha. Esta

iniciativa se alinea con los esfuerzos nacionales para promover la gestión sostenible de los plásticos de un solo uso, al tiempo que busca transformar los residuos del cultivo de plátano en productos valiosos, biodegradables y con potencial para generar ingresos adicionales para los productores. Así, se abren nuevas perspectivas para el desarrollo socioeconómico y la preservación ambiental en los municipios seleccionados del departamento del Tolima.

Contenido

Estado del arte

Para la elaboración del presente estado del arte, se han analizado diversos documentos de estudio con un enfoque en la adopción tecnológica de residuos de cultivos de plátano y otros cultivos relacionados. Estos documentos han sido seleccionados con atención especial a nivel nacional e internacional, abordando aspectos tanto generales como específicos de interés nacional y cultural en relación con la muestra objeto de estudio.

Antecedentes

El primer texto a considerar fue escrito por Arango Correa y Barbutin Díaz (2018) y consistió en analizar la diversidad de productos derivados de los residuos agrícolas en la cosecha y post-cosecha del plátano, con el propósito de fomentar el progreso económico y social en el Municipio de San Juan de Urabá. Este estudio adoptó un diseño exploratorio y descriptivo, incorporando una metodología mixta que incluyó investigación documental y de campo. Se evaluaron diversas variables cuantitativas en unidades productivas de plátano en San Juan de Urabá, abordando aspectos como la densidad de plántulas por área, la cantidad de residuos por área y la tipología de estos residuos. Además, se realizó una vigilancia tecnológica para identificar productos y avances tecnológicos globales relacionados con estos residuos. El estudio priorizó cinco productos potenciales para su implementación mediante un análisis jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) y de actores. La fibra para aglomerados fue destacada por el AHP; sin embargo, la influencia de la Gobernación de Antioquia y la Alcaldía municipal recomendó la consideración de otros productos.

El segundo texto contemplado es el de Ibarra Márquez Muñoz (2022). En este se abordó el debate en torno a la relevancia de aprovechar los subproductos vegetales del plátano para la innovación en nuevos productos, la adición de valor a los existentes y la sustitución de recursos no renovables. Se resaltó que aproximadamente el 95 % de los residuos vegetales generados en la cosecha de plátano se desaprovechan, ya que la atención se centra mayormente en el fruto, mientras que partes como el raquis,

el pseudotallo y las cáscaras se destinan ineficazmente como abono. El estudio identificó oportunidades en diversas industrias, incluyendo biocombustibles, biopolímeros, textiles, alimentos y química, enfatizando el potencial lignocelulósico de los residuos del plátano para agregar valor a la cadena productiva y reducir la dependencia de importaciones. De igual forma, se subrayó la necesidad de investigaciones experimentales, así como análisis técnicos y económicos, para impulsar esta industria y crear cadenas de valor sostenibles.

El tercer texto es un artículo publicado en por Haro et al. (2017), que fue desarrollado en guayaquil Ecuador. Allí se propuso la evaluación de la gestión de residuos orgánicos generados en la producción de plátano con el objetivo de utilizarlos como materia prima en la fabricación de bioplásticos. Este estudio se enfocó en partes de la planta consideradas desechos —como el raquis, pseudotallo y cáscara del plátano en estado verde— para extraer celulosa y almidón. Se diseñó un proceso de producción de bioplásticos con propiedades mecánicas similares a los plásticos sintéticos, pero con una degradación más rápida. La investigación adoptó un enfoque mixto, combinando datos cuantitativos recopilados a través de encuestas a empresas de plásticos y datos cualitativos obtenidos mediante entrevistas con administradores de tres haciendas. Se destacó la contribución a la industria del plátano y la reducción de la contaminación derivada de la acumulación de plásticos de larga descomposición.

Finalmente, se consideró el trabajo de grado de Malambo Tapia et al. (2022), en el cual se analizaron los altos niveles de pobreza en la comunidad de Palonegro Chenche Agua Fría, Tolima, en parte atribuidos a la subutilización de su recurso económico principal: la hoja de plátano cachaco. El objetivo general consistió en la fabricación de platos biodegradables utilizando las hojas de plátano cachaco cultivadas en el resguardo indígena de Palonegro Chenche Agua Fría, Tolima. Este estudio adoptó un enfoque mixto, combinando métodos no experimentales y experimentales, con la manipulación de variables independientes como humedad, temperatura y presión para lograr platos biodegradables con características óptimas. Además, se consideró la viabilidad económica de esta fabricación como un posible reemplazo del plástico convencional en Colombia, contribuyendo así al desarrollo sostenible y la reducción de la pobreza.

En conjunto, estos antecedentes proporcionan un panorama integral de las investigaciones realizadas en relación con la adopción tecnológica de residuos de cultivos de plátano y su potencial impacto en aspectos económicos, sociales y ambientales en Colombia.

Marco teórico

Es importante tener claridad sobre el uso del plástico hoy en día, siendo parte de nuestra vida diaria el consumo excesivo de este material. Se usa en empaques, elementos eléctricos y electrónicos, juguetes, medios de transporte, en construcciones, vasos y platos desechables, siendo estos últimos diseñados para un solo uso. La producción mundial

de plásticos está creciendo rápidamente. Se estima que para 2030 se producirán 619 millones de toneladas de plástico en todo el mundo al año (ONU, 2018).

En la fabricación y uso del plástico se provoca contaminación ambiental, por lo que permanece mucho tiempo en el ambiente causando daños. Los materiales plásticos usados son productos manufacturados destinados a pequeños períodos de uso, por ejemplo, los embalajes. Los plásticos convencionales usados para fabricar los recipientes para el agua, la comida y los detergentes terminan fragmentándose en partículas pequeñas que no son biodegradables y se acumulan en el medio. De los 46,3 millones de toneladas consumidas en Europa en 2013, 19 millones de la producción actual está integrada por envases y embalajes desechables. Existen diversos plásticos de un solo uso, los polímeros más usados y abundantes son polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, policloruro de vinilo, poliestireno, polipropileno y polietileno tereftalato, constituyendo entre ellos el 90 % de la producción del plástico a escala global (Rojo-Nieto y Montoto, 2017).

Es imposible pensar en una vida sin plástico, pues muchos elementos dependen de este como materia prima para su fabricación. Son inmensos sus impactos ambientales, el daño a la biodiversidad y el deterioro a la salud humana. Debido a que cada día resulta menos llamativo su uso, ha surgido la necesidad de sustituirlo, teniendo en cuenta las alternativas existentes en nuestra naturaleza que, al ser amigables con el medio ambiente y reduciendo el impacto ambiental, puedan suplir el material de plástico.

Según Martínez (2018), el aumento excesivo de polímeros en el mundo ha generado una gran cantidad de desechos plásticos ocasionando una contaminación severa, es por ello la importancia de fabricar biopolímeros a base de almidón y determinar qué procesos podrían reemplazar a los polímeros derivados del petróleo. En su estudio, se determinó que el método más apropiado para la elaboración del biopolímero es a partir del almidón de plátano, argumentando su elección mediante diversos ensayos.

Por otra parte, Haro (2017), en la tesis *Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos de plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables*, indica que se pueden aprovechar los residuos vegetales como raquis, pseudotallo y cáscara para la producción de plástico a través de la obtención de celulosa y almidón propias de la planta.

De acuerdo con las cifras anuales del sector agropecuario arrojadas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en Colombia, para el 2018, la producción de plátano fue de 496 170 hectáreas.

Con cada uno de los elementos presentes en la siembra, desde la primera hasta la última etapa —el tallo, el pseudotallo o calceta, el vástago (de donde se cuelga la fruta), la cáscara de la fruta, la fruta, la batata (flor morada que se desarrolla en la etapa inicial del cultivo) y la mancha (líquido que afloja la planta al ser cortada)— se pueden

obtener subproductos que impactan positivamente diferentes áreas. De igual forma, los residuos de plátano se han utilizado tradicionalmente como alimento para animales y para productos artesanales elaborados a partir de calceta, como cestas, bandejas, bolsas, empaques o cojines.

Por su parte, Mazzeo Meneses et al. (2010), en el trabajo de investigación denominado “Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y postcosecha del plátano en el departamento de Caldas”, realizaron un diagnóstico de la oferta y la calidad de plátano en el departamento de Caldas, donde se determinó, además de su contenido y el proceso, el aprovechamiento de los residuos generados en la cosecha y la postcosecha del plátano. En cuanto a la caracterización del residuo se hizo de la siguiente manera: los pseudotallos (79 %) - otros residuos (21 %), residuos foliares (87 %) – otros residuos (13%), raquis (65 %) - otros residuos (35 %).

Se han hecho diversas investigaciones para el uso de residuos orgánicos generados por los cultivos de plátano (vástago y plátano descartado) como cosustrato para la codigestión anaerobia con excremento porcino, con el fin de producir producción biogás (Quijano y Ramírez, 2020). Para la fabricación de papel, se puede utilizar mezclado con otros residuos vegetales. De igual forma, en la elaboración de papel artesanal, se puede mezclar con otros aditivos químicos. También se ha explorado el procesamiento y venta de harina de vástago de plátano, debido a sus propiedades nutricionales.

Otras investigaciones se orientan a establecer bancos forrajeros de bananos, por su alta producción de biomasa, para su ensilaje en fresco o seco; el uso de vástago de plátano dominico hartón como material adsorbente para la remoción de Hg²⁺ presente en soluciones acuosas (Meléndez, 2016), y la producción de carbón activado a partir del vástago de banano (Quintero Ruiz et al., 2019). También, se ha investigado el uso del vástago de plátano para mejorar las propiedades mecánicas y químicas del pavimento (Romero Díaz y Vega Barrios, 2019); de igual forma, la adición de vástago de plátano en la resistencia a compresión del ladrillo de arcilla artesanal (Briceño García y Peña Ruiz, 2020), y el uso de la calceta de plátano con aditivos como reforzantes de materiales compuestos en la fabricación de muebles (Mejía & Osorio, 2016). Así mismo, se han realizado investigaciones para utilizar la hoja de plátano por sus propiedades físicas, mecánicas y medioambientales, analizando sus condiciones de barrera, permeabilidad, su baja densidad, su fuerte carácter hidrófilo y su biodegradabilidad (Duque Arboleda et al., 2019).

Al respecto de contenedores de alimentos a partir de la utilización de hojas, el Banana Stem Fiber Package (Pabón y Moreno, 2016) propone un proceso donde se utiliza la hoja luego de un proceso de desinfección y esterilización al vapor y almidón de papas, además de un proceso de moldeo por presión. Igualmente, se han desarrollado investigaciones en películas a base de celulosa, sintetizadas a partir de fibras de tallo de plátano delignificadas mediante el uso de un líquido iónico 1-Alil-3-metilimidazolio cloruro ([AMIm] [Cl]). Estas películas han sido evaluadas como material de

embalaje para la preservación de mangos y, además, ha obtenido buenos resultados (Ai et al., 2021).

En otra investigación se establece que las fibras del pseudotallo se pueden extraer con una máquina que se utiliza para pelar la corteza y el tallo. El proceso de extracción se realiza tan pronto como se cortan las hojas del pseudotallo con un método que es una combinación de lavado con agua y raspado, lo que permite separar los haces de fibras de las partes restantes. Luego, se elimina la goma o los componentes no fibrosos y residuales contenidos en las fibras y, posteriormente, se lavan las fibras y se secan. En general, solo 11 capas de las hojas exteriores en el pseudotallo del banano pueden ser extraídas por sus fibras; no obstante, las fibras del interior de las vainas tienen poca resistencia y el desprendimiento de estas las fibras resulta difícil debido a su fragilidad y poca resistencia.

Los siguientes procesos son el enrulado y desgomado de las fibras. Las fibras derivadas del pseudotallo de banano se puede convertir en varios productos de valor agregado, como cuerda, cordaje, red de pesca, estera, material de embalaje, hojas de papel, textiles tejidos, bolsos, manteles, artesanías, absorbentes, compuestos de polímero/fibra, entre otros. De igual forma, otros componentes derivados del pseudotallo del plátano también pueden ser usado. Por ejemplo, el núcleo central se puede utilizar para hacer encurtidos, dulces y refrescos; la savia del pseudotallo de plátano se puede utilizar como mordiente para fijar un color y fertilizante líquido orgánico, y el raspador se puede utilizar para hacer compost y vermicompost (Subagyo y Chafidz, 2018).

Igualmente, se encuentran investigaciones que se orientan al desarrollo de máquinas que permiten la extracción de fibras de banano, las cuales utilizan rodillos, motores, cojinetes y poleas. Sin embargo, presentan la dificultad de que la alimentación de las latas de la calceta de plátano debe ser manual, lo que genera riesgos de accidentes en los operarios. En cuanto a la maquinaria de termoformado para la utilización de los residuos, se han hecho investigaciones como la de Albán y Jiménez (2019), quienes diseñaron un prototipo termoformador de hojas de achira que utiliza presión y moldes macho y hembra que calientan y deshidratan el material. Estas investigaciones se han desarrollado y utilizan tecnologías que se pueden adaptar para que, a través de procesos que se pueden simplificar, se procesen los residuos de plátano para hacer aprovechamiento y generación de recursos adicionales a los productores.

Por otra parte, la importancia y el uso del plátano en Colombia genera diversos impactos negativos en los diferentes elementos ambientales como suelo, aire, agua, flora y fauna. Los residuos en Colombia por la industria agrícola proceden de raíces, tallo, hojas y/o cualquier otro elemento de la planta que no son usados. Siendo así, los subproductos procedentes de las plantaciones del plátano que no tienen un adecuado uso son considerados como desechos, ocasionando una gran problemática ambiental dado que no se generan procesos de reciclado o tratamiento. Según el Decreto 1713 de 2002, se entiende por residuos a “todos aquellos materiales o restos que no tienen ningún

valor económico para el usuario, pero si un valor comercial para su recuperación e incorporación al ciclo de vida de la materia”.

Los residuos empiezan a denominarse como tal cuando el generador decide rechazar o abandonar cualquier elemento considerado inútil, ya sea en estado líquido, sólido o gaseoso, resultante de algún proceso de producción, transformación o consumo. Sin embargo, estos residuos pueden ser recuperados y aprovechados económicamente si se vendidos a las industrias recicadoras, donde son convertidos en materia prima para la generación de nuevos materiales. En ese sentido, se toma como punto de partida lo descrito por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) mediante el documento CONPES 3874, a través del cual se define la Política Integral para los Residuos Sólidos y se establecen los lineamientos en políticas públicas que se desarrollarán en los próximos años en Colombia.

Históricamente, los residuos de plátano se han utilizado como alimento para animales y en la creación de productos artesanales, como cestas, bandejas, bolsas, empaques y cojines elaborados a partir de la calceta (Vélez et al., 2013). Sin embargo, la investigación de Mazzeo Meneses et al. (2010) realizó un estudio exhaustivo de la oferta y calidad de plátanos en el departamento de Caldas; por tanto, además de examinar su contenido y sus procesos, se evaluó el aprovechamiento de los residuos generados durante la cosecha y la postcosecha del plátano, obteniendo los siguientes resultados de caracterización del residuo:

- Pseudotallos (79 %) - otros residuos (21 %)
- Residuos Foliares (87 %) – otros residuos (13 %)
- Raquis (65 %) - otros residuos (35 %)

Se han llevado a cabo diversas investigaciones para aprovechar los residuos orgánicos generados por los cultivos de plátano, como el vástago y los plátanos descartados. Estos se han utilizado como co-sustratos en la co-digestión anaerobia junto con excremento porcino para la producción de biogás (Quijano y Ramírez, 2020). Además, se han investigado para la fabricación de papel, ya sea en combinación con otros residuos vegetales (Moreno et al., 2016) o mediante la incorporación de aditivos químicos en la elaboración de papel artesanal (Abu, 2012). También se ha explorado el procesamiento y la venta de harina derivada del vástago del plátano debido a sus propiedades nutricionales (Ortiz et al., 2014).

Otras investigaciones se centran en la creación de bancos forrajeros de banano debido a su alta producción de biomasa, que se puede ensilar en fresco o seco (Boschini Figueroa et al., 2015). Además, se ha utilizado el vástago del plátano dominico-Hartón como material adsorbente para la remoción de Hg²⁺ presente en soluciones acuosas

(Meléndez, 2016) y se ha producido carbón activado a partir del vástago del banano (Quintero Ruiz et al., 2019). También se ha investigado el uso del vástago de plátano para mejorar las propiedades mecánicas y químicas del pavimento (Romero Díaz y Vega Barrios, 2019) y su adición en la resistencia a compresión del ladrillo de arcilla artesanal (Briceño García y Peña Ruiz, 2020). Además, se ha empleado la calceta de plátano con aditivos como refuerzos en la fabricación de muebles y materiales compuestos (Mejía & Osorio, 2016).

En relación con el uso de la hoja de plátano, se han llevado a cabo investigaciones debido a sus propiedades físicas, mecánicas y medioambientales, incluyendo su capacidad como material de barrera, permeabilidad, baja densidad, hidrofilia y biodegradabilidad (Duque Arboleda et al., 2019).

En el ámbito de los envases de alimentos a partir de hojas de plátano, se destaca el “Banana Stem Fiber Package” (Pabón y Moreno, 2016), que propone un proceso en el que se utiliza la hoja después de un tratamiento de desinfección y esterilización al vapor, así como almidón de papas y un proceso de moldeo por presión.

Además, se han realizado investigaciones en películas a base de celulosa sintetizadas a partir de fibras de tallo de plátano deslignificadas mediante el uso de un líquido iónico 1-Alil-3-metilimidazolio cloruro ([AMIm] [Cl]), con resultados positivos en su aplicación como material de embalaje para la preservación de mangos (Ai et al., 2021).

En otra línea de investigación, se ha desarrollado una máquina que permite la extracción de fibras del pseudotallo, utilizando un método que combina el lavado con agua y el raspado para separar las fibras de las partes no fibrosas. Posteriormente, se eliminan los componentes no fibrosos y se lavan y secan las fibras. En general, solo se pueden extraer alrededor de 11 capas de las hojas exteriores del pseudotallo del banano debido a la fragilidad y baja resistencia de las fibras del interior de las vainas (Subagyo & Chafidz, 2018).

Los siguientes procesos son el enrutado y desgomado de las fibras. Las fibras derivadas del pseudotallo del banano pueden convertirse en una variedad de productos de valor agregado, como cuerdas, redes de pesca, esteras, materiales de embalaje, papel, textiles, bolsos, manteles, artesanías, absorbentes y compuestos de polímero/fibra, entre otros. Además, otros componentes derivados del pseudotallo del plátano, como el núcleo central, la savia y el raspador, también tienen aplicaciones útiles, como la fabricación de encurtidos, dulces, refrescos, mordientes para fijar colores, fertilizantes líquidos orgánicos, compost y vermicompost (Subagyo & Chafidz, 2018).

También se han investigado máquinas para la extracción de fibras de banano que utilizan rodillos, motores, cojinetes y poleas. Sin embargo, estas máquinas a menudo

requieren una alimentación manual de las latas de calceta de plátano, lo que plantea problemas de seguridad para los operarios (Rahamaththulla et al., 2018).

En cuanto a la maquinaria de termoformado para la utilización de los residuos, se han realizado investigaciones, como el prototipo termoformador de hojas de achira diseñado por Albán y Jiménez (2019). Este prototipo utiliza presión y moldes macho y hembra para calentar y deshidratar el material.

Estas investigaciones han desarrollado tecnologías que se pueden adaptar para simplificar el procesamiento de los residuos de plátano y generar recursos adicionales para los productores. La importancia y el uso del plátano en Colombia tienen un impacto negativo en diversos aspectos ambientales, como el suelo, el aire, el agua, la flora y la fauna. Los residuos generados por la industria agrícola, como las raíces, el tallo, las hojas y otros elementos no utilizados de la planta, a menudo se consideran desechos, lo que plantea un problema ambiental significativo debido a la falta de procesos de reciclaje o tratamiento.

Según el Decreto 1713 de 2002, los residuos se definen como “todos aquellos materiales o restos que no tienen ningún valor económico para el usuario, pero sí un valor comercial para su recuperación e incorporación al ciclo de vida de la materia”. Estos residuos se generan cuando el usuario decide desechar elementos que considera inútiles, ya sea en forma líquida, sólida o gaseosa, como resultado de procesos de producción, transformación o consumo. Estos materiales pueden recuperarse y utilizarse económicamente mediante su venta a industrias recicadoras para convertirlos en materias primas para la creación de nuevos materiales.

En este contexto, el Departamento Nacional de Planeación (DNP), a través del documento CONPES 3874, ha definido la Política Integral para los Residuos Sólidos en Colombia, estableciendo directrices para las políticas públicas que se implementarán en los próximos años.

De acuerdo con la investigación “Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y postcosecha del plátano en el departamento de Caldas” (Mazzeo et al., 2010), se ha observado que un gran porcentaje de los pseudotallos (79 %), residuos foliares (87 %), y raquis (65 %) se dejan sin tratamiento en las plantaciones o se destinan a otros fines, como su retiro del lugar de cultivo, la alimentación animal, la producción de abonos, la elaboración de artesanías y su venta. Este alto volumen de residuos sin procesar en las plantaciones puede generar problemas al actuar como hospedero de plagas e insectos.

En conclusión, estas investigaciones y tecnologías ofrecen un camino prometedor para aprovechar de manera más efectiva los residuos de plátano y generar recursos

adicionales para los productores, al tiempo que se abordan los desafíos ambientales asociados con estos residuos en la industria agrícola colombiana.

Metodología

Con el fin de alcanzar los objetivos trazados, el proyecto plantea una investigación de tipo experimental, lo que implica la manipulación controlada de variables para observar sus efectos y establecer relaciones de causa y efecto. Además, se adopta un enfoque mixto que integra tanto elementos cuantitativos como cualitativos para abordar de manera completa la complejidad del problema de investigación. Esta combinación permite no solo la recolección de datos cuantificables, sino también una comprensión enriquecedora de las percepciones, experiencias y contextos que rodean el fenómeno estudiado.

En tal sentido, la investigación se respalda con métodos cuantitativos, como el análisis de datos climáticos y las evaluaciones fisicoquímicas del suelo. De igual forma, se recogieron los datos cualitativos de las características físico-químicas de los biopolímeros de residuos del plátano, los materiales obtenidos, los prototipos (platos, bandejas y otros recipientes), su respectiva degradación y el comportamiento en diferentes temperaturas de cocción y conservación de alimentos. Así mismo, se aplicaron métodos cualitativos, como la realización de encuestas y entrevistas semiestructuradas, para obtener una visión completa y confiable de los resultados.

A través de una variedad de instrumentos y técnicas, se abordó la complejidad de la problemática, que incluye el análisis climático mediante el uso de estaciones meteorológicas, la medición de niveles de ruido, el análisis del agua y la evaluación de parámetros fisicoquímicos del suelo.

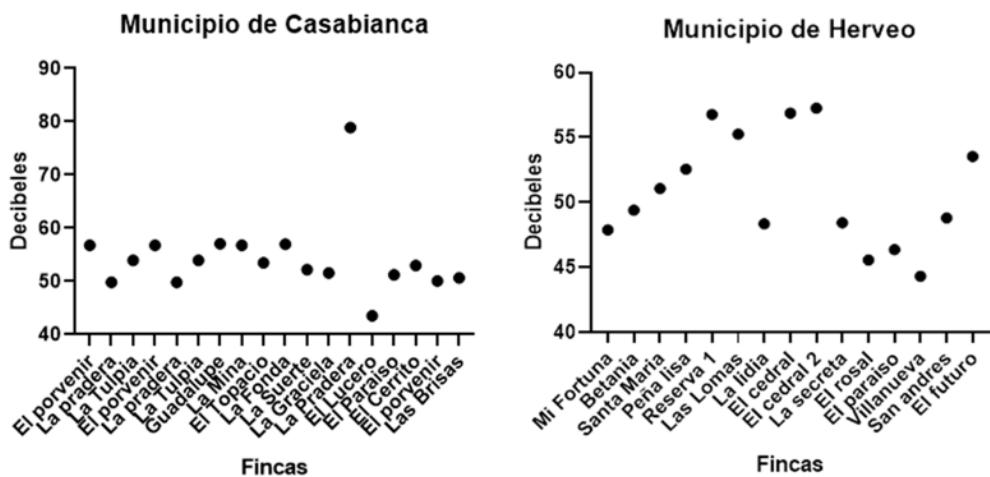
Para comprender el entorno biótico y sociocultural, se realizan evaluaciones ecológicas rápidas, se aplican encuestas y entrevistas semiestructuradas. Además, se lleva a cabo un estudio de impacto ambiental y se elabora un plan de manejo de residuos de plátano. La caracterización de los residuos de plátano respaldará la obtención de biomateriales biodegradables cuya calidad y funcionalidad se evaluarán en condiciones de alta y baja humedad. Esta metodología se ha seleccionado de manera rigurosa con el fin de la validez de los resultados obtenidos, permitiendo así una comprensión integral y fiable de los aspectos abordados en la investigación.

Avances

En el desarrollo del proyecto, se han logrado alcanzar avances preliminares importantes, entre los cuales se destaca el compromiso y efectividad de las acciones. Además, se ha realizado la identificación ambiental y social de 150 beneficiarios, completando de forma exhaustiva el componente socioeconómico y cultural mediante encuestas, las cuales han contribuido a la planificación de las intervenciones.

Se han generado dos informes de análisis climático que arrojan resultados sobre las condiciones climáticas específicas del lugar del proyecto. Esta información ha sido esencial para comprender el contexto del espacio donde actualmente se están adelantando las acciones.

Figura 1. Determinación de ruido del municipio de Casabianca y Herveo, Tolima

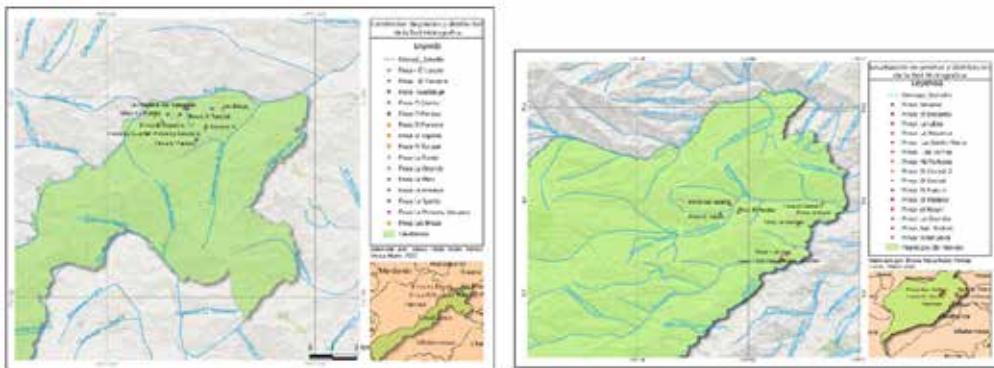


Fuente: elaboración propia.

Igualmente, se logró la actualización de evaluaciones de ruido, donde se incluyen registros y análisis de resultados de campo. Estos análisis nos permiten identificar el cumplimiento normativo y posibles impactos para la comunidad.

Fueron evaluadas un total de 30 mediciones de ruido, que corresponden a 15 predios por municipio (Casabianca y Herveo). En la figura 1 se observa que, para Casabianca, el promedio de ruido fue de 54,24 dB, mientras que en Herveo fue de 50,83 dB, lo que indica que ambas localidades se encuentran dentro de los límites permitidos para la zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado según la normativa mencionada.

Figura 2. Mapa de las fuentes hídricas para Herveo y Casabianca



Fuente: elaboración propia.

De igual forma, se realizó un análisis de condición de suelos y agua, siendo este estudio clave para determinar su calidad y la relación con las actividades propias del cultivo. Para el análisis de suelo, se utilizaron herramientas y equipos para determinar el nivel de erosión y características fisicoquímicas. Con los datos recopilados de los municipios de Herveo y Casabianca, se logró un reconocimiento de los posibles signos de erosión en la zona, siendo muy pocos los movimientos en masa, a pesar de que las pendientes presentan porcentajes altos de inclinación. No obstante, la principal causa de erosión en los municipios de estudio son las lluvias, las cuales generan fuertes deslizamientos.

En cuanto a las características del agua superficial de la zona, como se visualiza en la figura 2, se realizó un análisis de las fuentes hídricas presentes en los cuerpos de agua que tienen relación con los predios beneficiados del proyecto. También, se realizó un levantamiento cartográfico de las fuentes hídricas de cada municipio y su influencia a las fincas. A partir de allí, se seleccionaron las dos fuentes para toma de la muestra de agua: el río Aguacatal y el río Gualí en el municipio de Herveo y Q. Carbonera, Q. Aguilón, y Q. Guineo en el municipio de Casabianca. La finalidad fue recolectar 7 muestras de agua en Casabianca y 8 muestras de agua de Herveo, para un total de 15 muestras.

Debido a esto, se generaron dos informes de impacto ambiental que proporcionan una visión holística acerca de cómo las acciones pueden afectar el entorno natural.

Tabla 1. Impactos ambientales en los municipios de Casabianca y Herveo

Elementos del medio ambiente	Impacto específico	Importancia ambiental	Actividad del proceso productivo del plátano
Recurso agua	Alteración en la calidad del recurso hídrico superficial	67	Área de influencia y aptitud del suelo
		61	Manejo y control de arvenses o flora acompañante
		60	Control de plagas
Recurso aire	Alteración en la calidad de aire	18	Área de influencia y aptitud del suelo
		57	Fertilización
		55	Embolso
		60	Manejo y control de arvenses o flora acompañante
		63	Control de plagas
	Alteración en los niveles de presión sonora	18	Preparación y adecuación del suelo
		57	Manejo y control de arvenses o flora acompañante
	Generación de olores ofensivos	24	Preparación y adecuación del suelo
		60	Fertilización
		60	Control de plagas
Recurso suelo	Alteración de las condiciones geológicas y morfológicas del suelo	19	Selección de material y semilla a utilizar
		71	Área de influencia y aptitud del suelo
		59	Arreglos y sistemas de siembra y producción
		52	Preparación y adecuación del suelo
	Alteración en la calidad del suelo	26	Selección de material y semilla a utilizar
		60	Área de influencia y aptitud del suelo
		64	Arreglos y sistemas de siembra y producción
		55	Preparación y adecuación del suelo
		79	Fertilización
		57	Riegos y drenajes

Recurso biótico	Alteración en los ecosistemas terrestres	18	Área de influencia y aptitud del suelo
		56	Fertilización
		63	Manejo y control de arvenses o flora acompañante
	Alteración a la cobertura vegetal	21	Selección de material y semilla a utilizar
		60	Área de influencia y aptitud del suelo
		56	Preparación y adecuación del suelo
		68	Siembra
		61	Manejo y control de arvenses o flora acompañante
		52	Desbellote o desbacote y desmane
	Alteración a las comunidades de flora terrestre	23	Preparación y adecuación del suelo
		61	Manejo y control de arvenses o flora acompañante
		18	Control de plagas
Recurso paisaje	Alteración de la percepción visual	68	Área de influencia y aptitud del suelo
		59	Arreglos y sistemas de siembra y producción
		49	Embolso
		57	Manejo y control de arvenses o flora acompañante
		55	Control de plagas
		54	Post cosecha

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 1 se identifican los impactos de mayor significancia empleando como herramienta la Matriz de Importancia Propuesta por Vicente Conesa-Fernández. En ese sentido, se plantea la identificación de los efectos significativos que se generan durante las fases relacionadas con el ciclo de vida del cultivo, encontrando impactos significativos —entre severo a crítico— con calificaciones de 50 o mayores a 75 puntos, los cuales están relacionados con los componentes agua, aire, suelo, recurso biótico y afectación del paisaje. Partiendo de estos resultados, se elaboraron algunas medidas de manejo mediante el documento “anexo al plan de manejo”, que incluye acciones para la reducción de la afectación hacia los recursos naturales, siendo estas medidas el eje central para garantizar la sostenibilidad de las actividades de cultivo.

Los resultados de la investigación realizada en el marco de la presente investigación son coherentes y corresponden con los objetivos propuestos de manera efectiva. La problemática ambiental relacionada con la producción de plátano se abordó de manera integral, centrando la atención en el subaprovechamiento de los residuos

vegetales generados en el cultivo y su impacto en la contaminación ambiental. Además, se consideró el problema de los plásticos de un solo uso y su contribución a la contaminación ambiental.

En cuanto a la contribución de los resultados a la solución del problema planteado, se destaca que se han identificado áreas clave de intervención y se han llevado a cabo acciones concretas en temas sociales, en el clima, el ruido, el suelo, el agua y su impacto ambiental, proporcionando una base sólida para abordar las cuestiones ambientales de manera informada y estratégica.

Además, se han propuesto medidas de manejo que se centran en la reducción de la afectación hacia los recursos naturales, lo que garantiza la sostenibilidad de las actividades en el cultivo de plátano. Estos resultados contribuyen significativamente a la gestión ambiental y al desarrollo sostenible en los municipios de Casabianca y Herveo, en el departamento del Tolima.

Es importante destacar que estos avances no solo tienen un impacto ambiental positivo, sino que también tienen el potencial de generar ingresos adicionales para los productores y fortalecer las economías familiares rurales, cumpliendo así con los objetivos de desarrollo económico y social planteados en el proyecto.

En lo referente a la caracterización edafológica de las fincas en los dos municipios, se tomaron 30 muestras de suelos, las cuales fueron analizadas, arrojando en promedio los siguientes resultados:

Tabla 2. Resultados del análisis de suelos en los municipios de Casabianca y Herveo, Tolima

Propiedades físicas		Promedios	
Parámetros	Casabianca	Herveo	
Pendiente o inclinación	50-70 %	50-70 %	
Textura	Franco arcillosa	Franco arcillosa	
Propiedades químicas			
pH	5,60	5,56	
Calificación	Moderadamente ácido	Moderadamente ácido	
CICE	5,01	4,71	
Calificación	Medio	Medio	
Composición química			
MO (%)	6,39	7,01	
Calificación	Medio	Optima	
CO (%)	3,71	4,06	
Calificación	Medio	Medio	
N-Total (%)	0,32	0,35	

Calificación	Deficiente	Deficiente
N-Disp (mg*kg ⁻¹)	71,90	78,82
Calificación	Deficiente	Deficiente
P-Disp (mg*kg ⁻¹)	27,67	21,51
Calificación	Deficiente	Deficiente
K (Cmol(+)*Kg ⁻¹)	0,31	0,28
Calificación	Deficiente	Deficiente
Ca (Cmol(+)*Kg ⁻¹)	3,83	3,51
Calificación	Deficiente	Deficiente
Mg (Cmol(+)*Kg ⁻¹)	0,66	0,65
Calificación	Deficiente	Deficiente
Na (Cmol(+)*Kg ⁻¹)	0,07	0,05
Calificación	N/A	N/A
Al (Cmol(+)*Kg ⁻¹)	0,90	0,90
Calificación	N/A	N/A
S (mg*Kg ⁻¹)	8,95	7,74
Calificación	Deficiente	Deficiente
Fe (Cmol(+)*Kg ⁻¹)	45,80	41,32
Calificación	Exceso	Exceso
Mn (Cmol(+)*Kg ⁻¹)	18,70	14,66
Calificación	Óptimo	Óptimo
Cu (Cmol(+)*Kg ⁻¹)	1,38	1,01
Calificación	Deficiente	Deficiente
Zn (Cmol(+)*Kg ⁻¹)	1,79	1,60
Calificación	Deficiente	Deficiente
B (Cmol(+)*Kg ⁻¹)	0,34	0,36
Calificación	Óptimo	Óptimo
Saturación de bases		
K	6,02	6,10
Calificación	Exceso	Exceso
Ca	74,28	73,84
Calificación	Exceso	Exceso
Mg	13,11	13,41
Calificación	Bajo	Bajo
Na	1,29	1,18
Calificación	Ideal	Ideal
Relaciones iónicas		
Ca/Mg	5,97	5,77

Calificación	Deficiencia de Mg	Deficiencia de Mg
Mg/k	2,56	2,58
Calificación	Deficiencia de Mg	Deficiencia de Mg
Ca/K	14,73	14,71
Calificación	Relación optima	Relación optima
Ca+Mg/K	17,29	17,28
Calificación	Deficiencia de Ca+Mg	Deficiencia de Ca+Mg
Ca/B	2410,29	2046,68
Calificación	Deficiencia de B	Deficiencia de B
P/Zn	22,69	19,33
Calificación	Deficiencia de Zn	Deficiencia de Zn
Fe/Zn	37,06	37,85
Calificación	Deficiencia de Zn	Deficiencia de Zn
Fe/Mn	2,46	2,94
Calificación	Deficiencia de Fe	Deficiencia de Fe

Fuente: elaboración propia.

De la anterior tabla se puede resaltar que, frente a los resultados obtenidos, el terreno se caracteriza por pendientes pronunciadas, siendo superiores al 50 %. Los suelos tienen una estructura franco-arcillosa, con un pH moderadamente ácido, característico de las zonas de ladera provenientes y colindantes con estructuras volcánicas. Además, presentan contenidos de materia orgánica superiores al 6 %, lo cual puede calificarse como óptimo. La composición química muestra contenidos deficientes de elementos mayores (nitrógeno, fósforo y potasio), así como de algunos microelementos (calcio, magnesio, azufre, cobre y zinc). También, se puede observar que otros microelementos, como hierro, manganeso y boro, se encuentran en niveles óptimos, incluso hasta en exceso.

La saturación de bases es la suma de las bases absorbidas, expresada como porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico. Al realizar este cálculo, se obtiene un panorama diferente al resultado del contenido de elementos individuales: potasio y calcio en exceso, magnesio bajo y sodio ideal. Este último elemento requiere especial atención y cuidado, ya que, a medida que las sales de sodio se filtran a través del suelo, parte de este sodio permanece unido a las partículas de arcilla, desplazando a otros cationes. Estos suelos, a menudo considerados sódicos, se caracterizan porque la cantidad de contenido de sodio afecta la estructura del suelo, degrada sus propiedades y debilita el enlace entre las partículas que lo componen. Por otra parte, al analizar los resultados de las relaciones iónicas, se exponen las deficiencias en Magnesio, Zinc, Calcio y Hierro.

Lo anterior, contrastado con los resultados obtenidos en el análisis realizado a cada elemento por individual, indica la importancia de las relaciones iónicas y catiónicas

en la dinámica de los elementos en el suelo. Por lo tanto, con frecuencia se tiende a concluir que los altos contenido en un elemento son 100 % asimilables o se encuentran en exceso.

Discusión

Gracias a los análisis, se han encontrado suelos con pH entre 4,9 y 5,7, altos contenidos de materia orgánica, variedad en su composición química, perfiles bien definidos, permeables y pendientes pronunciadas.

De igual forma, al observar los resultados de los puntos asociados a los niveles de ruido identificados para las fincas en los municipios de Casabianca y Herveo, se encontró que ambos cumplen con los estándares de ruido establecidos por la normativa ambiental 0627 de 2006 del Ministerio de Ambiente.

Los resultados obtenidos, en cuanto a la evaluación edafológica de los suelos de Casabianca y Herveo, están en concordancia con lo enunciado por el Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) de la Corporación Autónoma Regional del Tolima (Cortolima, 2022), donde se establece que los suelos de esta zona se encuentran muy limitados por la pendiente y por la fertilidad, siendo en general suelos con poca riqueza edáfica.

Respecto al impacto ambiental generado en las actividades del cultivo de plátano, se identificaron, a través de una matriz, los impactos tanto negativos como positivos que sirven de base para diseñar y formular las medidas de prevención, corrección, mitigación, compensación y control en los procesos. Esta medición junto con la matriz de evaluación de impacto ambiental es coherente con lo propuesto al respecto por Conesa (1993, citado en Esquivel, 2020).

En lo referente a la caracterización de residuos orgánicos del plátano, se está procediendo a la extracción, adecuación y caracterización mecánica, térmica, fisicoquímica y estructural de las fibras lignocelulósicas provenientes del pseudotallo y almidones de plátano.

Conclusiones

La presente investigación ha proporcionado una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de medidas concretas orientadas a abordar los desafíos ambientales asociados al cultivo de plátano en los municipios seleccionados del departamento del Tolima. Los resultados obtenidos subrayan la importancia de continuar con el desarrollo de tecnologías innovadoras y la promoción de prácticas agrícolas ambientalmente

sostenibles. Este proyecto no solo tiene el potencial de mejorar la gestión ambiental en la región, sino también de contribuir significativamente al desarrollo socioeconómico y a la preservación de los ecosistemas locales.

Los hallazgos evidencian avances sustanciales en la comprensión y el manejo de la problemática ambiental vinculada a la producción de plátano en el Tolima. Por tanto, la caracterización detallada de los suelos, el análisis de las condiciones climáticas, la evaluación ecológica rápida y la identificación de impactos ambientales representan logros relevantes que ofrecen una base científica sólida para futuras intervenciones y la formulación de políticas públicas orientadas al sector agrícola.

De igual forma, un resultado innovador es la identificación de los residuos del plátano como una fuente viable para la producción de biomateriales biodegradables, pues la transformación de estos residuos en productos ecológicos no solo reduce la carga de contaminación ambiental, sino que también abre nuevas oportunidades de ingresos para los productores y las asociaciones de mujeres involucradas en el procesamiento de la calceta de plátano, promoviendo así un modelo de economía circular.

No obstante, persisten desafíos técnicos y logísticos que deben abordarse para garantizar el éxito sostenible de estas iniciativas. Entre ellos, destacan las limitaciones técnicas y geográficas, así como la falta de infraestructura adecuada para el procesamiento y manejo postcosecha, aspectos que requieren atención prioritaria para maximizar el impacto del proyecto.

El análisis de suelos realizado indica la necesidad de un asesoramiento técnico especializado para optimizar la gestión de la nutrición y fertilización del cultivo, lo que permitiría a las plantas expresar su máximo potencial genético y productivo. Así mismo, el seguimiento de las variables climáticas ha evidenciado la importancia de establecer estrategias efectivas para el manejo del recurso hídrico, especialmente frente a condiciones de variabilidad climática.

Finalmente, la adopción de propuestas orientadas al manejo y aprovechamiento de los residuos de cosecha impactará positivamente en el Plan de Manejo Ambiental, al reducir las fuentes de contaminación de suelos y aguas derivadas de la descomposición de dichos residuos. Estas acciones, además de mitigar los impactos ambientales, fortalecerán la sostenibilidad del sistema productivo y promoverán el desarrollo de un modelo agrícola más resiliente y equitativo.

Referencias

- Ai, B., Zheng, L., Li, W., Zheng, X., Yang, Y., Xiao, D., Shi, J. y Sheng, Z. (2021). Biodegradable cellulose film prepared from banana pseudo-stem using an ionic liquid for mango preservation. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 625878. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.625878>
- Albán Ruiz, D. A. y Jiménez Santana, A. J. (2019). *Construcción de un prototipo de termoformador matricial para la elaboración de vajilla desechable biodegradable en base a hojas de achira (Canna Indica L.)* [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repoloadmin.utc.edu.ec/items/00b71c9b-94ca-4ce6-a655-d527d6949056>
- Arango Correa, A. y Barbutin Díaz, H. (2018). *Productos de valor agregado a partir de residuos de cosecha y post-cosecha del plátano para el desarrollo territorial del municipio de San Juan de Urabá* [Tesis de maestría]. Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM). <https://repositorio.itm.edu.co/entities/publication/08db-d68c-19d0-4f38-9877-bfc19af606cf>
- Briceño García, L. R. y Peña Ruiz, H. A. (2020). Adición de vástagos de plátano en la resistencia a compresión del ladrillo de arcilla artesanal, Sánchez Carrión, Huamachuco, 2020 [Tesis de grado]. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64407>
- Cortolima (2022). Capítulo III. Componente biótico. *POMCA de la cuenca del río Gualí. Cortolima.* https://www.cortolima.gov.co/images/POMCA/GUALI/fasediagnostico/CAP%C3%88DTULO_III_COMPONENTE_BIOTICO.pdf
- Decreto 1713 de 2002 (6 de agosto). Por el cual se reglamentan la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto-Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993, en relación con la gestión integral de residuos sólidos. *Diario Oficial* 44.893. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5542>
- Duque Arboleda, S., Monsalve Castañeda, P. y Restrepo Tabares, C. (2019). *Intervención morfológica de la hoja de banano* [Trabajo de grado]. Universidad Pontificia Bolivariana. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4968>
- Esquivel, C. (2020). *Estudio de impacto ambiental y propuesta del plan de manejo ambiental en la bananera “nueva era” ubicada en el cantón el triunfo.* [Trabajo de grado]. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19579>

- Haro, A., Borja, A. y Triviño, S. (2017). *Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del banano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. Dominio de las Ciencias*, 3(2), 506-525. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6325873>
- Ibarra Vallejo, M. A. y Márquez Muñoz, L. I. (2022). *Identificación de usos potenciales para el aprovechamiento de los residuos generados en el proceso de beneficio del plátano (Musa paradisiaca) var. Hartón*. Boletín Informativo CEI, 9(2), 181–188. <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/3179>
- Malambo-Tapia, L., Arias-Burgos, A. y Moscoso-Acosta, F.A. (2022). *Elaboración de platos biodegradables a base de hoja de la planta de plátano-cachaco para mejorar la economía del resguardo indígena de Palonegro (Tolima)* [Trabajo de grado]. Universidad ECCI. <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/2982/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1>
- Martínez, N. (2018). *Estudio de las propiedades mecánicas de un biopolímero a partir del contenido del almidón de cáscara de banano* [Trabajo de grado]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7578>
- Meléndez Aranda, S. Y. (2016). *Evaluación del vástago de plátano como material adsorbente en la remoción de mercurio (Hg^{2+}) presente en soluciones acuosas* [Trabajo de grado]. Universidad Libre, Seccional Bogotá.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2018). *El Estado de los Plásticos: Perspectiva del Día Mundial del Medio Ambiente 2018*. ONU Medio Ambiente.
- Pabón Gómez, B. S. y Moreno Boada, R. R. (2016). *Banana Stem Fiber Packaging*. Dexigner. https://www.dexigner.com/images/article/24918/Banana_Stem_Fiber_Packaging.pdf
- Quijano Sánchez, D. M. y Ramírez Serrano, L. A. (2020). *Determinación de la factibilidad de los residuos orgánicos producidos por los cultivos de plátano en el uso como co-sustrato con excretas porcinas para la generación de biogás* [Trabajo de grado]. Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/27908>
- Rojo-Nieto, E. y Montoto Martínez, T. (2017). *Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global* [Informe]. Ecologistas en Acción. https://www.researchgate.net/publication/313011511_Basuras_marinas_plasticos_y_microplasticos_origenes_impactos_y_consecuencias_de_una_amenaza_global_Marine_litter_plastics_and_microplastic_sources_im

Romero Díaz, L. C. y Vega Barrios, M. P. (2019). *Estudio del efecto en diferentes cantidades de fibra de Vástago de plátano en propiedades físico-mecánicas del concreto hidráulico para pavimento* [Trabajo de grado inédito]. Universidad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5746>

Bibliografía complementaria

Arias Galindo, R. A. (2021). *Desarrollo de material biocompuesto con fibras de subproductos agroindustriales de plátano con matriz de almidón de yuca, para elaboración de empaques biodegradables*. [Tesis de maestría]. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8908>

Casas-Martínez, Y. D. P., Fuquen-Fúquene, L. T. y Gómez-Rodríguez, A. M. (2022). *Avances en biotecnología ambiental: biorremediación de plásticos*. I3+, 4(2). <https://doi.org/10.24267/issn.2346-2329>

Centro de Información Técnica. (s.f). *Degradación de los Materiales Plásticos*. [Folleto técnico]. Centro de Información Técnica . <http://ecoplas.org.ar/pdf/21.pdf>

Chávez-Salazar, A., Bello-Pérez, L. A., Agama-Acevedo, E., Castellanos-Galeano, F. J., Álvarez-Barreto, C. I. y Pacheco-Vargas, G. (2017). *Isolation and partial characterization of starch from banana cultivars grown in Colombia*. International Journal of Biological Macromolecules, 98, 240–246. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.024>

Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (4.ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa.

Dávila, V. (2014). *Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*)*. Revista de Investigación Universitaria, 3(2), 23– 28. <https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/view/673>

El campesino.co (2019). *Este es el panorama del cultivo del plátano en Colombia*. El campesino.co. <https://www.elcampesino.co/este-es-el-panorama-del-cultivo-de-platano-en-colombia/>

Espín, L., y Tello, J. (2015). *Diseño y construcción de una disfibradora de hojas y pseudotallos para obtener material lignocelulósico a utilizar como refuerzo de polímeros* [Trabajo de grado]. Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9221>

Ferreira-Leitao, V., Gottschalk, L. M. F., Ferrara, M. A., Nepomuceno, A. L., Molinari, H. B. C. y Bon, E. P. S. (2010). *Biomass residues in Brazil: Availability and potential uses. Waste and Biomass Valorization*, 1(1), 65–76. <https://doi.org/10.1007/s12649-010-9008-8>

Guerrero, L. (2020). *Grado de biodegradabilidad del bioplástico elaborado con almidón de plátano verde (Musa paradisiaca L.) [Trabajo de grado]*. Universidad Nacional de Jaén. http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/bitstream/UNJ/331/1/Guerrero_GL.pdf

Guerrero, M. (2011). *Guía técnica del cultivo del plátano*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”.

Guzmán Arrubla, L. M. (2017). *Evaluación de los impactos ambientales en el cultivo de gulupa (Passiflora edulis Sims) sobre el recurso hídrico asociado al uso de pesticidas. Caso de estudio Jericó, Antioquia [Trabajo de grado]*. Corporación Universitaria Lasallista. <https://repository.unilasallista.edu.co/items/9290b6d1-af70-403f-b042-e77094dbf695>

Marcillo Alcívar, M. C. (2023). *Biopolímero a base del raquis del plátano usados en empaques biodegradables [Trabajo de grado]*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/4621>

Martínez, C., Ruiz, W., Lesmes, S., Laverde, D. y Pertuz, A. (2019). *Use of musa paradisiaca fibers for the preparation and chemical, physical and mechanical characterization of a biodegradable composite material. Journal of Physics: Conference Series*, 1386(1). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1386/1/012049/meta>

Michael, F. M., Khalid, M., Walvekar, R., Siddiqui, H. y Balaji, A. B. (2017). *Surface modification techniques of biodegradable and biocompatible polymers. Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites*, 33–54. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100970-3.00002-X>

Mohapatra, D., Mishra, S. y Sutar, N. (2010). *Banana and its by-product utilisation: An overview. Journal of Scientific & Industrial Research*, 69(5), 323–329. <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/busador.html?task=detalhes&id=W11122881>

Orellana Vázquez, K. C. (2018). *Estudio de la degradabilidad del PCL (Policaprolactona) dosificado con la lignina extraída de la fibra de banano [Tesis de pregrado inédita]*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15179>

Pedraza Abril, C. G. (2019). *Caracterización de la fibra del pseudotallo de plátano como refuerzo y desarrollo de un material compuesto para fabricación de tejas [Trabajo de grado de pregrado]*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Seccional Duitama. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2768>

Piñeros-Guerrero, N., Piñeros-Castro, Y. y Ortega-Toro, R. (2020). *Active biodegradable films based on thermoplastic starch and poly (e-caprolactone): Technological application of antioxidant extracts from rice husk*. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 19(3), 1095-1101. En: <https://scholar.archive.org/work/p6noebexujf35bjwkgirxqk7xq/access/wayback/http://rmiq.org/ojs311/index.php/rmiq/article/download/898/423>.

Posada Barreto, E. (2022). *Los bioplásticos como sustitutos de los plásticos de un solo uso en Colombia* [Trabajo de grado]. Corporación Universitaria Minuto de Dios. <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/14664>

Rahmani, H., Najafi, S. H. M., Saffarzadeh-Matin, S. y Ashori, A. (2014). *Mechanical properties of carbon fiber/epoxy composites: Effects of number of plies, fiber contents, and angle-ply layers*. Polymer Engineering & Science, 54(11), 2676–2682. <https://doi.org/10.1002/pen.23820>

Salamanca, B. y Vera, L. (2019). *Propuesta metodológica para la obtención de un material compuesto a partir del pseudotallo y hojas generados en el cultivo de plátano de la variedad Dominico Hartón, en la finca Las Palmas en Fuente de Oro, Meta* [Tesis de grado]. Universidad del Bosque. https://repositorio.unbosque.edu.co/bits-tream/handle/20.500.12495/2147/Salamanca_Ruiz_Brenda_Johana_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Trujillo, D. B., Mejía, C. G. M., Sánchez, P. A. T., Torres, F. J. M., Bedoya, Y. M. A. y Portela, E. P. R. (2022). *Estrategias para la transformación de los residuos del plátano generando valor agregado*. Innovagro, 1. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/INNOVAGRO/article/view/5594>

Villavicencio Franco, C. A. (2018). *Diseño de modelo de negocios para producir y comercializar platos biodegradables de hojas de plátano* [Tesis de grado]. Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29926>