

## Trabajo de grado en modalidad de aplicación

### [203014] Evaluación del desempeño ambiental de la producción de banano tipo exportación en el Campo Experimental de AUGURA para generación de propuestas de producción limpia.

Carlos Reyes Vega <sup>a,c</sup> , Maria Fernanda Riobó Santamaria <sup>a,c</sup> , Melissa Isabel Bonilla Salon <sup>a,c</sup> ,

Luisa Fernanda Posada Uribe <sup>b,c</sup> ,

<sup>a</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial

<sup>b</sup>Profesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

<sup>c</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

---

#### Abstract

*Increasingly, environmental changes affect us directly and it is essential to reduce this impact with sustainable alternatives in our environment. The industrial revolution brought with it the increase in greenhouse gases that pollute the atmosphere and for this reason the strategic ways of tackling the problem from a broader perspective must be rethought. This challenge concerns all industries and proposes rethinking traditional procedures to reverse or mitigate the effects caused. By virtue of the above, this work is based on the diagnosis of the current exercise in the export-type banana sector in Colombia to evaluate the environmental performance of production in the experimental field of AUGURA, in order to generate alternatives for the generation of added value and cleaner production proposals through the development of a carbon footprint calculator using a programming model where carbon dioxide emissions derived from the stages of the fruit life cycle are calculated, which were carried out through a diagnosis based on the flow diagrams of the production process. of export-type bananas and the respective balance of matter and energy.*

*Keywords: Clean production, sustainable agriculture, banana industry, environmental performance, CO2 calculator, Carbon footprint.*

---

#### 1. Justificación y planteamiento del problema

El cultivo de banano en Colombia es de gran importancia, ya que es el quinto producto que se exporta en el país y representa ganancias en ventas cercanas a US \$900.000, con un total de 100,2 millones de cajas anualmente, según la Asociación de Bananeros en Colombia – AUGURA. Este es el tercer cultivo de interés nacional en la industria agrícola, después de las flores y el café, y es fuente de ingresos de una basta cantidad de campesinos y cultivadores (AUGURA, 2020).

En la actualidad, hay diversas problemáticas que atacan esta industria, una de ellas es la propagación de fitopatógenos, como es el caso de algunas especies de bacterias, hongos, insectos y nemátodos; los cuales generan un impacto negativo en el cultivo, causando retardos en el sistema de crecimiento de la planta, y disminuyendo la calidad del producto final. Debido a esto, se aplican una gran cantidad de agroquímicos y fertilizantes en los cultivos, los cuales a su vez ocasionan daños en el medio ambiente y en las zonas aledañas a los terrenos de producción (Morón, 2000). Algunos de estos agroquímicos ya han sido eliminados de los planes de fertilización y control de plagas de diversos cultivos, otros se encuentran en proceso de eliminación, y algunos tienen sugerencias de retiro de estos planes para los años venideros (Fishel, 2009), el uso de agua de forma extensiva en el proceso productivo de la fruta y la generación de material orgánico y aplicación de sustancias en el suelo, son componentes de gran impacto en la huella hídrica y de carbono del proceso. Por lo anterior, evaluar los procesos y proponer alternativas de producción limpia y desarrollo sostenible implica una decisión estratégica para el sector bananero, a la vez que ayuda a la reducción de fuentes de emisión y de generación de sustancias, y en general, para la producción de gases de efecto invernadero (GEI) en la actividad agrícola nacional (Al-Mansour & Jejcic, 2017).

La agricultura contribuye significativamente a las emisiones de GEI y a su vez, representa gran concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), generando un impacto importante en el calentamiento global por lo que determinar balances de materia y energía en los procesos se vuelve una actividad determinante a la hora de mejorar el desempeño ambiental y social de los procesos productivos; identificando emisiones, desechos, productos y subproductos. Existen múltiples formas de evaluar el impacto que deja cada acción de los diferentes sectores productivos sobre el planeta, y la cuantificación de la huella de carbono es uno de los índices que se emplean como valor de eficiencia y sostenibilidad de los procesos de productividad agrícola (Al-Mansour & Jejcic, 2017). Se han desarrollado diferentes metodologías para calcular la huella de carbono en los diferentes procesos, que en general se basan en la obtención de información real y confiable de las fuentes de emisión más importantes en el proceso productivo, para así estimar la cantidad de GEIs generados (Valderrama et al., 2011). Se debe tener información de cantidad y características de insumos y materiales empleados en la fase de cultivo, transporte, envasado, almacenamiento y eliminación de residuos. Este cálculo puede involucrar mayor cantidad de factores, ya que se puede medir las emisiones que produce la empresa fuera del ciclo de vida del producto, como lo son las emisiones de las oficinas administrativas o contemplar actividades indirectas, las cuales son desarrolladas por compañías externas a las productoras (Banco de Desarrollo de América Latina [CAF], 2016).

La estimación de GEIs es, además de una forma de conocer el desempeño del proceso, una alternativa de compra venta de bonos verdes de los sectores productivos, los cuales, por medio de programas nacionales e internacionales, deciden acogerse a la reducción de emisiones y generar con estas actividades bonos que pueden ser parte de transacciones en la bolsa de valores, lo que hace a la vez rentable acogerse a sistemas de medición y reducción de desempeño e impacto ambiental (Espinosa, 2012). En el caso de Colombia, se aplica el Decreto ley 870 de 2017 para establecer pagos por servicios ambientales de regulación y calidad hídrica, conservación de la biodiversidad y reducción y captura de GEI; aspectos involucrados en una producción agrícola. Realizar el cálculo de la huella de carbono, también es un requisito para exportar a mercados como el europeo, específicamente se presenta el ejemplo de Reino Unido, donde se aplicó la primera iniciativa pública, “Publically Available Specification (PAS) 2050”, generando la etiqueta “Carbon Reduction Label”, transmitiendo a sus clientes los resultados del análisis PAS 2050 o la certificación de la menor emisión posible en el mercado. Esta medida ha inspirado a diferentes países como Japón y Corea, los cuales buscan garantizar a que sus productos tengan la menor emisión de carbono posible (Centro de Comercio Internacional [ITC], 2012). De esta manera, evaluar el desempeño ambiental se convierte en una actividad importante para apertura y mantenimiento de mercados, a la vez que produce ingresos extra para los diferentes sectores que realicen la actividad.

En Colombia, la industria bananera genera impactos negativos sobre el ecosistema, interviniendo en distintos elementos ambientales (agua, suelos, flora y fauna), debido principalmente al uso extensivo de agroquímicos y plásticos usados en el proceso de producción. Estos cultivos se han establecido en zonas de mediana y alta vulnerabilidad ambiental y social, por lo que los planes de protección y el manejo ambiental son temas fundamentales que se deben llevar a cabo sin descuidar la productividad (Mejía & Gómez, 2010). Debido a esta vulnerabilidad, la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura

(FAO) creó una guía práctica para reducir la huella de carbono y la huella hídrica en la producción bananera, en la cual se presenta un paso a paso de la medición de la emisión de GEI y la huella hídrica, mostrando cuales son los procesos críticos, y explicando cómo proceder con las etapas de proceso. Sin embargo, es importante evaluar de la misma forma, para el caso específico del campo experimental en Colombia y obtener los datos de cada uno de los procesos; adicionalmente, se muestra un ejemplo aplicado con resultados y alternativas que se pueden aplicar para la reducción de emisiones GEI en los puntos críticos comunes del proceso (Chaverri et al., 2017).

Estudios realizados sobre las zonas de producción bananera pronostican que para el 2060 los terrenos que en este momento son aptos para el cultivo ya no lo serán, y las zonas que se prevén adecuadas para el cultivo serán más húmedas que las actuales, debido principalmente al calentamiento global, por el aumento pronosticado de la temperatura media anual y la disminución de la precipitación media (Machovina & Feeley, 2013). Si bien, el proceso para la cosecha del banano tarda entre 10-14 meses en condiciones adecuadas, este se puede extender si el nivel de agua no es el ideal. Por tal motivo, es recomendable tener un sistema de riego y de producción eficiente, para no incurrir en pérdidas de peso del racimo, disminuyendo el riesgo de malos cultivos y evitando el incremento en los costos (John C. & Saúco, 2010). Adicionalmente, estos pronósticos permiten inferir otra serie de problemáticas derivadas como la erosión y pérdida de nutrientes de los suelos, requerimiento de mayor aplicación de agroquímicos para satisfacer la demanda, lixiviación de metales pesados a fuentes de agua, reducción en productividad y talas de bosques para nuevas zonas de cultivo. Debido a lo anteriormente expuesto, surge la necesidad de que las empresas sean conscientes al momento de implementar tecnologías y analizar el entorno para mejorar los procesos, brindándole al productor alternativas de producción y desempeño, con las cuales se fomente la disminución de desechos y se minimicen los riesgos asociados al cambio climático.

La presente investigación busca responder la siguiente pregunta: *¿Cuál es el estado del desempeño ambiental en el proceso de producción de banano tipo exportación en el Campo Experimental de AUGURA y qué alternativas de producción limpia pueden plantearse con el fin de mejorar este desempeño?*

## **2. Antecedentes**

Partiendo de la definición de producción limpia, dada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), como “la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, aplicada a procesos, productos y servicios, con el fin de reducir los riesgos a la población y al medio ambiente, tomando como principio reducir al mínimo o eliminar los residuos y emisiones en la fuente y no tratarlos después de que se hayan generado” (Fonseca, 2017), es posible afirmar que el objetivo principal de esta estrategia es la fabricación de productos que reduzcan de forma importante o eliminen totalmente la producción de residuos tóxicos que afecten en cualquier etapa de la producción al producto, al contexto o al consumidor (Fúquene, 2007).

La evaluación de desempeño de los procesos agrícolas se ha llevado a cabo en diferentes cultivos y países. Para los cultivos de maíz y frijol en Cuba, por ejemplo, se han propuesto alternativas de producción limpia o sostenible, por medio de un análisis de ciclo de vida que permite concluir un gran impacto en energías renovables, calentamiento global y producción de gases inorgánicos; encontrando un efecto negativo por estas actividades en la salud humana para las comunidades aledañas a los cultivos (Restrepo et al., 2007).

Estudios generalizados para el sector agrícola han propuesto estrategias ambientales en el marco del desarrollo sostenible, estableciendo medidas generalizadas que permiten la implementación y la transición al modelo de producción limpia en las industrias (Fonseca, 2017). En estos estudios se propone la reutilización de residuos sólidos orgánicos, gestión de desechos con la metodología de las 3R (reducir, reutilizar y reciclar). De igual forma, se presentan formas para aumentar la vida útil de los productos y evitar excedentes en los procesos de producción; y también alternativas de rellenos sanitarios donde algunos químicos son sometidos a diferentes tratamientos con el propósito de mitigar los efectos en el entorno (Porras & González, 2016). En Colombia se han realizado diversos estudios sobre el modelo de producción limpia en cultivos como café (Ospina & Farfán,

2003), caña de azúcar (Domenech et al., 2011), tomate (López & Parrado, 2004), cítricos y mango. En estos dos últimos, se evidenció concretamente que los aspectos ambientales con mayor impacto negativo en la producción están relacionados con la insuficiente gestión de los suelos y el uso de agroquímicos para control de malezas, enfermedades y plagas. Por esto, se plantea realizar controles preventivos de los suelos y modificar las prácticas de fertilización a través del análisis periódico de datos, que proporcionen información necesaria para las recomendaciones en la aplicación y uso de los productos (Gómez-Orejuela & Vianchá-Sánchez, 2017).

Así mismo, experiencias exitosas en la implementación de alternativas de producción limpia, como la realizada en la finca Guadualito Santa Paula ubicada en Caldas, donde se cultiva café y plátano, demuestran que estrategias como la conservación del agua por medio de tanques de recolección de aguas lluvias para su posterior utilización en la producción de café, eliminación del uso del glifosato, tratamiento de aguas mieles producto del lavado del café en fosa de descomposición, tratamiento de lixiviados, entre otras, lograron reducir los impactos ambientales generados por la producción de café, el uso racional de los recursos y la conservación de los ecosistemas como aporte a la preservación del paisaje cultural cafetero (Delgadillo Osorio & Garcia Clavijo, 2018).

Los estudios mencionados, tienen el objetivo de mejorar la gestión ambiental y la optimización del uso de los recursos naturales por medio de la adopción de procesos ambientalmente sanos y de producción más limpia (PML). Por ello se ha determinado la importancia en la interacción del ser humano con la preservación del medio ambiente y el manejo de los residuos biodegradables y no biodegradables para ofrecer soluciones técnicas y viables con el fin de contrarrestar el impacto ocasionado por el inadecuado tratamiento de desechos (Hassen Villamizar, 2000). De igual manera, está demostrada la necesidad de implementación de estrategias de PML, tanto a nivel mundial como a nivel local, con el fin de identificar las principales falencias del proceso, y cuáles etapas causan mayores impactos negativos, tanto al proceso como al resultado final; así mismo, permite un seguimiento y un estudio de viabilidad de las estrategias empleadas, cuyo impacto debe manifestarse en una reducción de estos altos niveles de contaminación (Carvajal et al., 2014), tal como se demuestra en el estudio de Yepes & Cuartas (Yepes & Cuartas, 2014).

Como respuesta a la afectación del medio ambiente causada por la sociedad, nacen los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), los cuales buscan la preservación y cuidado del medioambiente, el fin de la pobreza y una prosperidad económica a nivel global. Con el proyecto se evidencia el impacto en dos de estos objetivos, el primero es garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles y el segundo es, adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (PNUD, 2021).

En suma, los estudios expuestos evidencian la existencia de información relevante orientada a la protección de los recursos naturales y a la optimización de los procesos agrícolas, de tal manera que se garantice la calidad del producto final, así como la reducción de contaminantes que pueden afectar al ambiente y al consumidor.

### **3. Objetivos**

#### ***Objetivo general:***

*Evaluar el desempeño ambiental de la producción de banano tipo exportación en el Campo experimental de AUGURA para generación de propuestas de producción limpia.*

#### **Objetivos específicos:**

1. Evaluar los balances de materia y energía del proceso de producción de banano en el Campo Experimental de AUGURA en Carepa, Antioquia.
2. Estimar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y la generación de huella de carbono derivados de la producción de banano del Campo Experimental de Augura.

3. Plantear alternativas para reducir el impacto ambiental de la producción de banano tipo exportación en el Campo Experimental de AUGURA.

#### **4. Desarrollo de la metodología**

El desarrollo de los objetivos consta de cuatro componentes principales: Entrevistas con investigadores y colaboradores del Campo Experimental de AUGURA, en Carepa, Antioquia; diagramación y cuantificación de materia y energía en el proceso, análisis de problemas y soluciones; y por último el desarrollo de un aplicativo informático que permita medir la cantidad de gases GEI en las actividades.

En primer lugar, se llevó a cabo una lluvia de ideas para determinar cuáles eran las preguntas necesarias para la recolección de información y así proceder a realizar las entrevistas con los investigadores y colaboradores. A partir de las respuestas obtenidas durante las entrevistas, se logró acumular información relevante a cerca de los desechos y cantidades de materia y energía empleadas en el proceso productivo, el producto final generado y recursos usados. Con lo cual se obtuvieron datos para calcular el estado actual de las operaciones del proceso y de la perspectiva por parte de los entrevistados acerca de la importancia del buen manejo de los recursos y el impacto que tienen los GEI en la industria bananera de Colombia.

Los pasos metodológicos para el diseño y desarrollo del proyecto según los objetivos planteados se relacionan en la figura 1, a continuación.

Objetivo 1	<p><b>Planeación y ejecución de entrevistas</b></p> <p>Para el diseño de este componente fue necesario plantear y realizar una serie de preguntas a los investigadores y jornaleros de las fincas bananeras, las cuales iban ligadas a las cantidades de recursos que entran y salen del proceso, y a su vez, sobre los métodos utilizados para mitigar las emisiones que se obtienen durante la producción.</p>
	<p><b>Diseño y diagramación de flujo del proceso, bloques y balance de energía</b></p> <p>De acuerdo a los datos e información recolectada, se realizaron los diagramas de ingeniería donde se muestra el balance de materia y energía, el diagrama PFD y BFD para indicar el flujo general de los procesos y los recursos utilizados en la finca y representar el funcionamiento interno del sistema para tener la visual de los procedimientos.</p>
	<p><b>Diseño y diagramación PEPSU</b></p> <p>En este componente se diseñó el mapa general de procesos con base en los resultados obtenidos del esquema de balance de energía.</p>
Objetivo 2	<p><b>Revisión y análisis de la información extraída de los diagramas</b></p> <p>Para definir el alcance del proceso se requirió distinguir cuales eran las áreas donde se producía mayor cantidad de desechos y mayor uso de pesticidas y fertilizantes para estimar dónde se daba el cálculo más alto de emisiones de GEI e impacto de huella de carbono.</p>
	<p><b>Evaluación del desempeño ambiental mediante la calculadora de huella de carbono y GEI</b></p> <p>En este componente se implementan distintas herramientas de ingeniería para desarrollar un aplicativo que permita conocer la cantidad aproximada de GEI emitidos en los procesos para así proponer políticas medioambientales que reduzcan o neutralicen dichas emisiones.</p>
	<p><b>Análisis de ciclo de vida de producto</b></p> <p>Mediante un diagrama ilustrado se explica detalladamente los pasos que se siguen para producir un racimo de banano tipo exportación y la entrada y salida de pesticidas y fertilizantes y desechos que generan emisiones.</p>
Objetivo 3	<p><b>Árbol de problemas y objetivos</b></p> <p>A través de un análisis estratégico donde se planteó el problema central, se establecieron unos objetivos causas y efectos para establecer soluciones.</p>
	<p><b>Análisis de priorización</b></p> <p>En este componente se realizó un análisis prioritativo mediante una matriz de priorización de problemas y se señaló el punto crítico a anteponer dentro del proceso de ciclo de vida del banano tipo exportación.</p>
	<p><b>Análisis económico</b></p> <p>Este componente describe la valoración de la situación económica actual del proceso de banano convencional en Colombia y el análisis de la solución priorizada en el componente anterior.</p>

Figura 1. Pasos metodológicos.

#### 4.1. Evaluación de los balances de materia y energía del proceso de producción de banano en el Campo Experimental de AUGURA en Carepa, Antioquia.

Para la caracterización del proceso de producción se realizaron los diagramas de ingeniería BFD (diagrama de bloques del proceso) y PFD (diagrama de flujo del proceso) según la metodología de Turton 2009 (Turton et al., 2009), con el fin de tener claridad del funcionamiento interno a nivel industrial, y, asimismo, identificar entradas y salidas de productos y desechos junto con el balance de materia y energía. Los diagramas realizados cuentan con las convenciones de etapas usadas para representar las distintas acciones en el proceso de producción del banano.

Una vez se identificaron las diferentes etapas y entradas y salidas del proceso, se procedió a realizar los balances de materia y energía para cada una de las corrientes encontradas en los diagramas. Para ello fue

necesario determinar las cantidades de materiales que intervienen en el proceso y así conocer las necesidades energéticas del mismo, mediante la recolección de información de los actores involucrados en el proceso de producción bananera y los datos históricos encontrados en la literatura y en reportes de AUGURA. Los diagramas de flujo de proceso desarrollado presentan las 32 etapas indispensables para la producción, teniendo en cuenta como base un umbral de tiempo de una semana/hectárea, ya que los productores en este campo utilizan este periodo como soporte.

Adicionalmente, se desarrolló el diagrama PEPSU, el cual tiene como objetivo analizar el proceso considerando los proveedores, las entradas, las etapas, las salidas y los usuarios que participan en él. Para la realización de este se precisó de los diagramas de flujo y el balance de materia y energía, ya que estos permiten observar las etapas principales a tener en cuenta, y además las salidas que se generan (Cienfuegos Silvera, 2012).

#### **4.2. Estimar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y la generación de huella de carbono derivados de la producción de banano del Campo Experimental de Augura.**

El desarrollo del segundo objetivo consta de la evaluación del desempeño ambiental en el sector para determinar cuántas toneladas de CO<sub>2</sub> y GEI salen del proceso, que se producen por la descomposición de materia orgánica que absorbe los diferentes químicos necesarios para la nutrición adecuada de la planta, la combustión de combustibles fósiles que se usan para dar energía a los diferentes motores y el calor generado por fuentes eléctricas, donde estas actividades generan gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (Oceana, 2020). Gases que son acumulados en la atmósfera de la tierra, absorbiendo la energía infrarroja del sol y generando así el efecto de calentamiento global (AQUAE fundación, 2021). Se emplearán como modelos de cálculo los datos teóricos para cuantificar la emisión por cada una de las unidades generadas de desechos según los datos entregados por Cenibanano. El estimativo teórico de las emisiones generadas en el proceso se basa en los factores de emisión (ver tabla 1) encontrados en la guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera en Costa Rica (Chaverri et al., 2017) y en el documento de emisiones de gases de efecto invernadero (ISCC System GmbH, 2016), los cuales siguen los parámetros en la norma técnica colombiana NTC ISO 14031, donde se plantea una evaluación del desempeño ambiental y se proporcionan directrices sobre esta dentro de una organización (Guerrero, 2013).

<b>Componente</b>	<b>Factor emisión</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fuente</b>
Nitrogeno (N)	265.00	kg CO <sub>2</sub> e/kg N <sub>2</sub> O	(Chaverri et al., 2017)
Óxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1.01	kg CO <sub>2</sub> e/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(ISCC System GmbH, 2016)
Óxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	0.58	kg CO <sub>2</sub> e/kg K <sub>2</sub> O	(ISCC System GmbH, 2016)
Óxido de potasio (CaO)	0.13	kg CO <sub>2</sub> e/kg CaO	(ISCC System GmbH, 2016)
Pesticida	10.97	kg CO <sub>2</sub> e	(ISCC System GmbH, 2016)
Glifosato	9.79	kg CO <sub>2</sub> e	(ISCC System GmbH, 2016)
Herbicidas de amoniac	2.66	kg CO <sub>2</sub> e	(ISCC System GmbH, 2016)
Compostaje	28	kg CO <sub>2</sub> e /kg CH <sub>4</sub>	(ISCC System GmbH, 2016)
Fungicida	6.01	kg CO <sub>2</sub> e /kg	(ISCC System GmbH, 2016)
Electricidad	0.16	kg CO <sub>2</sub> e /Kwh	(Chaverri et al., 2017)
Gasolina	2.23	kg CO <sub>2</sub> e /L	(Chaverri et al., 2017)
Diesel	2.61	kg CO <sub>2</sub> e /L	(Chaverri et al., 2017)
Gas GLP	1.61	kg CO <sub>2</sub> e /L	(Chaverri et al., 2017)

*Tabla 1. Factores de emisión*

Con el cálculo anterior, se desarrolla un programa apoyado de 45 preguntas evaluadas con el proceso del

campo experimental, después de la realización de las entrevistas para obtener los requerimientos específicos necesarios para el cálculo estándar de cualquier finca productora de banano que requiera conocer el estimado de huella de carbono producido en su campo.

#### **4.3. Plantear alternativas para reducir el impacto ambiental de la producción de banano tipo exportación en el Campo Experimental de AUGURA.**

Con base en los análisis sistémicos de los desechos y emisiones resultantes de los balances de materia y energía del proceso de producción de banano tipo exportación en el Campo Experimental de AUGURA, según el objetivo número uno, se realizó una vigilancia tecnológica de las formas de tratamiento y conversión de los desechos/emisiones o de reincorporación de estas corrientes en el proceso productivo, teniendo en cuenta las entrevistas realizadas a los investigadores de Cenibanano para darle viabilidad a las propuestas de alternativas de mejora. Según los datos brindados por los especialistas de la industria, se definieron las posibles oportunidades de reducción y se determinó que un aplicativo podría ayudar de manera eficiente a plasmar datos del consumo que permitieran evaluar la cantidad de emisiones del proceso y hacer sugerencias de uso.

A partir de toda la información derivada de los balances, diagramas y cuantificaciones realizadas anteriormente, se recopiló información necesaria para el diseño y los requerimientos del aplicativo en Excel con el propósito de obtener índices de medición del grado de impacto de una actividad del proceso sobre el medio ambiente, empleando el sistema de programación Visual Basic. Donde se despliega una lista de posibles alternativas y soluciones que se pueden implementar para neutralizar la cantidad de CO<sub>2</sub> producida en sus terrenos de siembra.

Para plantear alternativas de mejora fue necesario desarrollar un plan de acciones enfocado en la prevención de contaminación en los puntos críticos del proceso. Las propuestas de reducción de emisiones se fundamentan en el aprovechamiento de los desechos orgánicos buscando un segundo uso por medio de producción de productos eco-amigables o productos derivados. Esto se realizó a través de un análisis de priorización y un árbol de problemas y objetivos esquematizando de manera alusiva, los problemas en el tronco, causas en las raíces y efectos en las hojas y para el segundo, el propósito en el tronco, entregables y actividades en las raíces y los fines en las hojas.

Por otro lado, para la metodología del análisis de costos se tuvo en cuenta el análisis de priorización el cual, mediante una matriz de priorización de problemas mostró el punto crítico a tratar según el criterio de decisión. El cual fue tenido en cuenta para el desarrollo del análisis económico que se realizó con el apoyo del administrador de la finca, quien proporcionó los costos de los materiales y mano de obra que actualmente se usan en ella. Se realizó el cálculo de las cantidades utilizadas por el costo asociado de cada material, en una hectárea del campo experimental con una densidad de siembra de 1700 plantas. Para las alternativas propuestas se evaluó el aprovechamiento para la venta nacional de las manos que no clasificaban para exportación y para la producción de harina de banano. Considerando la primera alternativa la mano de banano se encuentra en estado óptimo y final para la comercialización, mientras que, para la producción de harina, se consideró la posibilidad de incluir maquilas que realicen el proceso, asumiendo un costo asociado al 60% del precio de venta del producto final, pues la empresa no cuenta con las máquinas pertinentes para la operación.

### **5. Componente de Diseño en ingeniería**

#### **5.1. Declaración de Diseño:**

Este proyecto busca evaluar el desempeño ambiental del campo experimental de AUGURA en Carepa, Antioquia, con el fin de generar una línea base del estado de este desempeño en la producción de banano. Se empleó el campo experimental debido a que es la finca de prueba de los procesos de los bananeros, antes de aplicarlos en la producción de banano en todas las fincas agremiadas. A partir de estos estudios se desarrolló una herramienta para los bananeros que brindara la información de posibilidades de reducción de los impactos ambientales generados por el proceso de producción de banano, para lo cual es necesario, primero, determinar cantidades de entradas y salidas en el proceso, por medio de los balances de materia y energía; los cuales se



acompañan de todos los diagramas de ingeniería del proceso (BFD y PFD). Los resultados del estudio se consolidaron en el balance de materia y energía realizado y presentado en un archivo programable en Excel. Inicialmente se había propuesto el desarrollo de un blog público, pero en vista de la necesidad de privacidad y confidencialidad de la información que planteó el personal de AUGURA, se desarrolló un archivo en Excel muy descriptivo para los cálculos del proceso. Además, se elaboró un formulario de preguntas para el diagnóstico de la huella de carbono y la estimación de emisión de GEI, el cual será de uso interno de los bananeros. A partir de los datos entregados en el formulario y de la programación realizada para el diagnóstico ambiental, se procede al cálculo de huella de carbono y la generación de alternativas para mitigar el impacto del proceso en el ambiente.

### **5.2 Proceso de Diseño:**

El proceso de diseño de la herramienta propuesta se resume en las siguientes etapas:

1. Entrevistas con personal del sector bananero (investigadores de Cenibanano- AUGURA, el administrador del campo experimental de AUGURA, la Ingeniera ambiental de AUGURA, personal de Meristemas de Colombia, proveedor de plántulas *in vitro*). En estas entrevistas se recolectó información de gran importancia para establecer los aspectos más relevantes para la determinación de huella de carbono en el proceso de producción a nivel nacional. Cabe resaltar que el proceso de producción de banano puede cambiar significativamente entre países productores. Ver Anexo 6.
2. Desarrollo de un modelo de programación en Excel que busca por medio de un formulario, obtener la información del campo a examinar. Se redactaron 45 preguntas para recopilar la información necesaria diligenciada por los usuarios, referente a materiales, duración de procesos, tipo de iluminación y de combustibles que se emplean en la producción de banano en el campo experimental de AUGURA, así como la cantidad de hectáreas y la densidad de siembra.
3. Una vez se diligencia el formulario, mediante el botón “Calcular” se ejecuta el programa donde se multiplica cada valor escrito por su respectivo componente de conversión de GEI. Con los datos diligenciados en el formulario se puede obtener las características de producción de la finca, como lo son la cantidad de banano que se produce, la cantidad de banano que se desperdicia, el consumo de combustibles fósiles, fertilizantes, pesticidas, herbicidas y electricidad, cada uno de estos corresponde a una categoría y le corresponde un coeficiente de emisión. Algunos de estos no generan emisiones de CO<sub>2</sub> directamente si no que corresponden a otro tipo de gas, por lo que previamente se debe multiplicar por el coeficiente de emisión del gas específico. Luego de tener la conversión de todas las categorías se realiza la sumatoria para identificar la huella de carbono total del proceso.
4. Por último, se genera una lista detallada de las emisiones por cada material, y a su vez, se despliegan alternativas de mitigación según los puntos críticos identificados en el proceso.

### **5.3 Restricciones:**

1. Uno de los factores limitantes en la obtención de datos por el método de entrevista, fue el no tener la información consolidada y unificada, y aunque los diferentes colaboradores se presentaron abiertos a la entrega de información, algunos datos son empíricos y deben ser corroborados en cada finca donde se vaya a realizar el cálculo, específicamente las características propias del terreno, cantidad de fertilizantes utilizados, tipo de iluminación, combustible y sus respectivos consumos, aprovechamiento de las manos no aptas para exportación y uso de maquinaria adicional en el proceso.
2. Debido a la situación actual de pandemia, no fue posible realizar visitas presenciales a las empresas productoras. Se tenían planeadas dos visitas al Campo Experimental y a Cenibanano en Carepa, Antioquia.
3. Teniendo en cuenta que no se pudo evaluar la situación de cada una de las fincas productoras, se evaluó el proceso en el campo experimental de AUGURA bajo el supuesto que es un proceso estandarizado y

que es la finca que se emplea como ejemplo y centro de experimentación para los productores agremiados en Augura (cerca del 90% de los productores de banano de exportación).

4. La información está actualizada hasta el día 6 de julio de 2021.
5. La calculadora solo funciona si las cantidades digitadas tienen la misma unidad de medida que se explica en cada pregunta. Admite números naturales positivos hasta el valor de  $1.8e^{308}$ .
6. La estimación de la cantidad de árboles a plantar para compensar las emisiones no es exacta, pues no se tiene en cuenta el tipo de árbol, sino un promedio de lo que una especie común como encina puede mitigar en un periodo de tiempo semanal en su estado de madurez.

#### 5.4 Cumplimiento del estándar:

El estándar propuesto para la realización de la calculadora de CO<sub>2</sub> fue la norma técnica colombiana 14031, donde se sugiere el uso de la evaluación del desempeño ambiental dentro de una organización. Por tanto, en este trabajo se muestra el diagnóstico efectuado con fines valorativos mediante diagramas de operaciones, para poder planificar la revisión de los aspectos ambientales significativos del proceso bananero y replantearlos, tal como lo muestra la norma. Por otro lado, para regirse por las buenas prácticas agrícolas (GLOBAL GAP) se reconoció el conjunto de principios y normas que garantizan una producción agropecuaria sustentable orientada a fortalecer la confianza del cliente en un alimento creado en un entorno responsable y sostenible.

### 6. Resultados

#### 6.1. Evaluación de los balances de materia y energía del proceso de producción de banano en el Campo Experimental de AUGURA en Carepa, Antioquia.

En el diagrama BFD se evidencia el proceso que tiene la plantación de banano en el campo experimental de AUGURA, donde se identifican los flujos de materiales e insumos y sus cantidades semanales por hectárea (*ver Anexo 1*). En el diagrama PFD se observan las entradas y las salidas de cada etapa del proceso en la finca, y así mismo las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan en cada una de estas etapas (*ver Anexo 2*). A continuación, se muestran los resultados del balance de materia de los materiales e insumos del proceso de producción de banano tipo exportación, se resaltan aquellos que generan contaminación, y se han determinado como etapa crítica en los diagramas de ingeniería:

En la tabla 2 se observa la cantidad de productos agroquímicos por semana en una hectárea que no se absorben en las plantas, debido al supuesto implementado de 30% de absorción por planta en el caso de los fertilizantes y herbicidas, siendo este un supuesto proporcionado por los encargados de fertilización y administración del campo experimental. Como resultado nos da un alto desperdicio de fertilizantes en siembra que corresponde a un 99.1 % de desperdicios por productos agroquímicos, el cual permanecerá en el terreno hasta su momento de evaporación, impactando directamente el ambiente con generación de gases invernadero.

<b>Materia prima orgánica/Insumo</b>	<b>Cantidad de desecho generada (semana ha)</b>
Fertilizantes	22.17 kg
Herbicidas	0.03 kg
Fungicidas	0.00 kg
Plantas desechadas	6,990.79 kg
Plantas caídas	1,437.49 kg
Hijos indeseables	1,028.50 kg
Hojas	507.78 kg
Manos de desmane	332.09 kg
Raquis	145.35 kg
Manos no aptas	78.41 kg
Dedos de desdese	59.61 kg

Flores	39.78 kg
--------	----------

Tabla 2. Cantidad de desechos generados.

Por otro lado, nos muestra un total de 10,619.59 kg de desechos orgánicos generados por las diferentes partes de la planta y el racimo que se retiran semanalmente por planta en una hectárea, siendo estos eliminados por el requerimiento de energía de la planta madre para generar frutos aptos para exportación o por el no cumplimiento del estándar de exportación para el caso de las manos que no son aptas, desechando esta materia orgánica en el mismo campo de plantación en busca de fertilizar las tierras para futuras plantas.

Se destaca el alto porcentaje de desechos por plantas desechadas luego de cosecha y las plantas que se caen por condiciones ambientales, siendo el 70.57% de los desechos orgánicos.

Materia prima/ insumo	Cantidad de desecho generada (semana ha)
Bolsa con pesticida	1.00 kg
Nylon	1.13 kg

Tabla 3. Cantidad de desechos generados por insumos tratados por terceros.

En la tabla 3 se reporta la cantidad de desecho que se genera por el insumo de bolsas de plástico con pesticidas y nylon. Este desperdicio es mínimo y además la finca experimental de AUGURA entrega estos desechos a un tercero para realizar el reciclaje de estos materiales, Por lo tanto, estos insumos no se deberán tener en cuenta en el cálculo de emisiones.

En el balance de energía se observó que a la semana se produce 1,268.76 kJ de energía por los motores de la bomba utilizada para el riego de agua en el área de siembra y en la piscina de lavado de fruta en el momento de selección (Ver Anexo 3).

Para el entregable del diagrama PEPSU fue necesario evaluar exhaustivamente los diagramas de flujo de proceso y el balance de materia y energía con lo que se determinó los tipos de proveedores que participan en el proceso, las entradas de insumos y recursos, el proceso que se realiza para ese insumo, las salidas del proceso según cada etapa y por ultimo los usuarios que se benefician o reciben las salidas del proceso tal como se observa en la figura 2.

Proveedor	Entrada	Proceso	Salida	Usuario
Distribuidores de agroquímicos. Laboratorio <i>in-vitro</i> .	Planta endurecida ó cabeza de toro Fertilizantes. Agua.	<b>Sembrado:</b> Se siembra plantas nuevas (provenientes de cultivo <i>in vitro</i> o de cabezas de toro) si se pierde la calidad de la cosecha o se cae la planta por condiciones climáticas, en otro caso se continua con la planta hija de la plantación.	Planta sembrada y con fertilizantes absorbidos. Fertilizante y agua que no se absorbe.	Agroquímico. Jornalero.
	Planta sembrada con fertilizantes absorbidos.	<b>Desmache:</b> se retiran los hijos indeseables para no quitar energía a la planta madre.	Planta madre con hijo deseable. Hijos indeseables.	Jornalero.
	Planta madre con hijo deseable.	<b>Deshoje:</b> se cortan las hojas que se encuentran infectadas con <i>Pseudocercospora fijiensis</i> (agente causal de Sigatoka negra)	Planta sin hojas infectada de <i>Pseudocercospora fijiensis</i> Hojas infectadas con	

			<i>Pseudocercospora fijiensis</i>	
	Planta sin hojas infectadas con <i>Pseudocercospora fijiensis</i>	<b>Floración:</b> se genera el fruto en la planta.	Planta con fruto.	
Fabricante de bolsa	Planta con fruto. Bolsa con pesticidas.	<b>Embolsa:</b> se protege el fruto con una bolsa con pesticida.	Planta con bolsa protectora.	
	Planta con bolsa protectora.	<b>Desdese y desflore:</b> se retiran las flores del banano y los dos dedos extremos de las manos para disminuir el gasto de energía de la planta.	Planta sin dedos extremos. Dedos y flores eliminadas.	
	Planta sin dedos extremos.	<b>Desmane:</b> Se retiran las primeras tres manos del racimo.	Planta con fruto ideal. Manos extremas.	
	Planta con fruto ideal.	<b>Corte bacota:</b> se retira la bacota para disminuir el consumo de energía.	Planta con racimo. Bacota	
	Planta con racimo.	<b>Desvío del hijo:</b> se adecua el hijo de la siguiente generación.	Planta madre con fruto. Hijos para siguiente cosecha.	
Distribuidores agroquímicos.	Planta madre con fruto. Herbicida.	<b>Control maleza:</b> se aplica herbicida para controlar la maleza.	Planta madre con fruto.	Agroquímico. Jornalero.
	Planta madre con fruto.	<b>Puya:</b> se corta el racimo de la planta.	Racimo. Planta productora. Bolsa.	Jornalero.
	Racimo.	<b>Coleo y garrucha:</b> se transporta el racimo a la planta de selección.	Racimo	Jornalero.
	Racimo.	<b>Desmane:</b> se separa las manos del raquis.	Manos para selección. Raquis.	Operario planta.
	Manos para selección. Agua.	<b>Selección:</b> se lava las manos obtenidas.	Fruto lavado.	
	Fruto lavado.	<b>Clasificación:</b> se seleccionan las manos aptas para exportación.	Banano apto para exportación. Banano no apto.	
Distribuidores agroquímicos.	Banano apto para exportación. Fungicida.	<b>Tratamiento de corona:</b> se aplica fungicidas para retrasar el proceso de maduración de la fruta.	Banano con tratamiento de fungicida.	Operario planta. Agroquímico.
	Banano con tratamiento de fungicida.	<b>Empaque:</b> se empaqueta la fruta apta.	Banano empacado.	Operario planta.
Operador logístico.	Banano empacado.	<b>Transporte a cliente:</b> envío de bananos a puerto para exportación.	Banano empacado	

Figura 2. Diagrama PEPSU.

En el Glosario, el cual se encuentra al final del documento, se pueden observar las descripciones de los términos más importantes para conocer del proceso.

## **6.2. Estimación de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y la generación de huella de carbono derivados de la producción de banano del Campo Experimental de Augura.**

A partir de los cálculos realizados (*ver Anexo 3*) para desarrollar la calculadora de huella de carbono (*ver Anexo 4*) se muestra a lo largo del proceso de producción de banano que se generan emisiones de CO<sub>2</sub>. Las fuentes de emisiones identificadas realizadas por el campo experimental y no por terceros, son:

- La bomba de riego con una emisión de 490.31 kg CO<sub>2</sub> e.
- Los desechos de plantas después de la cosecha con una emisión de 38.26 kg CO<sub>2</sub> e.
- Los fertilizantes con una emisión de 17.86 kg CO<sub>2</sub> e.
- La bomba de piscina con una emisión de 9.81 kg CO<sub>2</sub> e.
- Los desechos de plantas caídas con una emisión de 8.97 kg CO<sub>2</sub> e.
- Las manos desechadas con una emisión de 8.46 kg CO<sub>2</sub> e.
- Los desechos de hojas cortadas con una emisión de 6.01 kg CO<sub>2</sub> e.
- Los desechos de hijos indeseables con una emisión de 5.35 kg CO<sub>2</sub> e.
- El compostaje con una emisión de 4.39 kg CO<sub>2</sub> e.
- Lo dedos desechados con una emisión de 1.52 kg CO<sub>2</sub> e.
- Los desechos de manos no aptas con una emisión de 1.08 kg CO<sub>2</sub> e.
- Los desechos de raquis con una emisión de 0.99 kg CO<sub>2</sub> e.
- Los fungicidas mertec, amistar y ryzup con una emisión de 0.10 kg CO<sub>2</sub> e.
- Los glufosinatos con una emisión de 0.06 kg CO<sub>2</sub> e.
- Los pesticidas con una emisión de 0.03 kg CO<sub>2</sub> e.

Para un total de emisiones de 593.20 kg CO<sub>2</sub> e semanales por hectárea sembrada.

Se resalta el alto porcentaje de emisiones generadas por consumos eléctricos y desechos orgánicos, siendo el 84% y el 14% respectivamente.

## **6.3. Planteamiento de alternativas para reducir el impacto ambiental de la producción de banano tipo exportación en el Campo Experimental de AUGURA.**

Para complementar la utilidad cuantitativa del aplicativo, se implementaron herramientas de ingeniería como el árbol de problemas y objetivos, que permitieron observar conceptualmente las razones, consecuencias y soluciones derivadas de la situación productiva del banano. Estos diagramas generan de forma organizada un modelo que explica la situación donde el problema principal lo representa el tronco, las causas las raíces y los efectos las ramas, evidenciando una correlación entre todo el elemento (Hernández-Hernández & Garnica-González, 2015). Del árbol de problemas se derivó el árbol de objetivos para generar propuestas y fines según ciertas actividades que proponen un cambio positivo. Por consiguiente, se relacionó la información compilada en las entrevistas y se presenta la esquematización de los posibles agentes que intervienen en el proceso del banano tipo exportación para la construcción del árbol de problemas y objetivos.

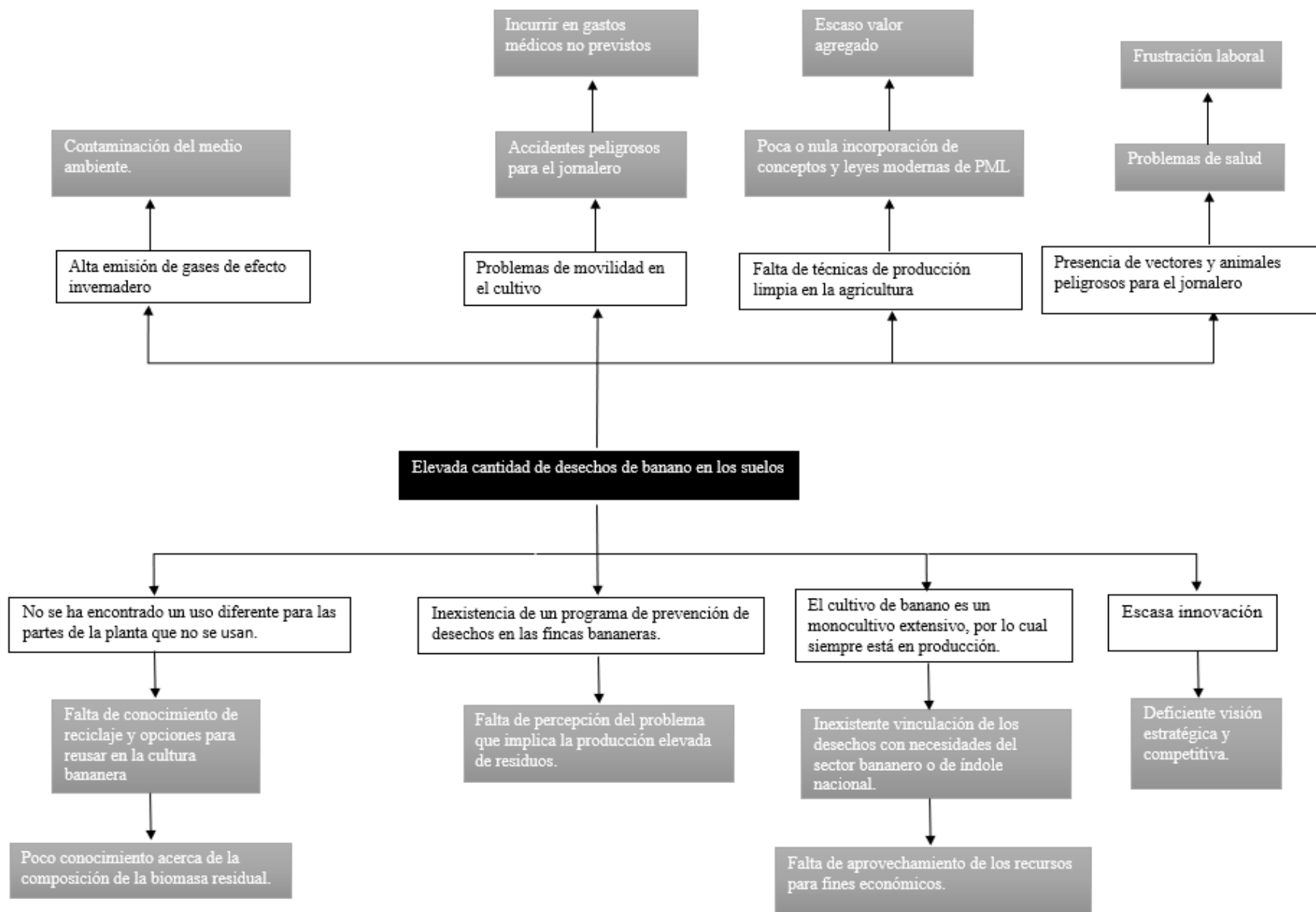


Figura 3. Árbol de problemas.

Por otro lado, el árbol de objetivos de la Figura 4 muestra las soluciones a los problemas y las actividades a realizar para conseguir los fines propuestos. El resultado obtenido muestra la misma estructura del árbol de problemas sin embargo las acciones toman un enfoque positivo en comparación al tema cualitativo (Martínez & Andrés, 2010). Este diagrama muestra las posibilidades dentro de la industria agricultora, donde se puede aprovechar la biomasa encontrada en los suelos del campo bananero para fines económicos, sociales y ambientales.

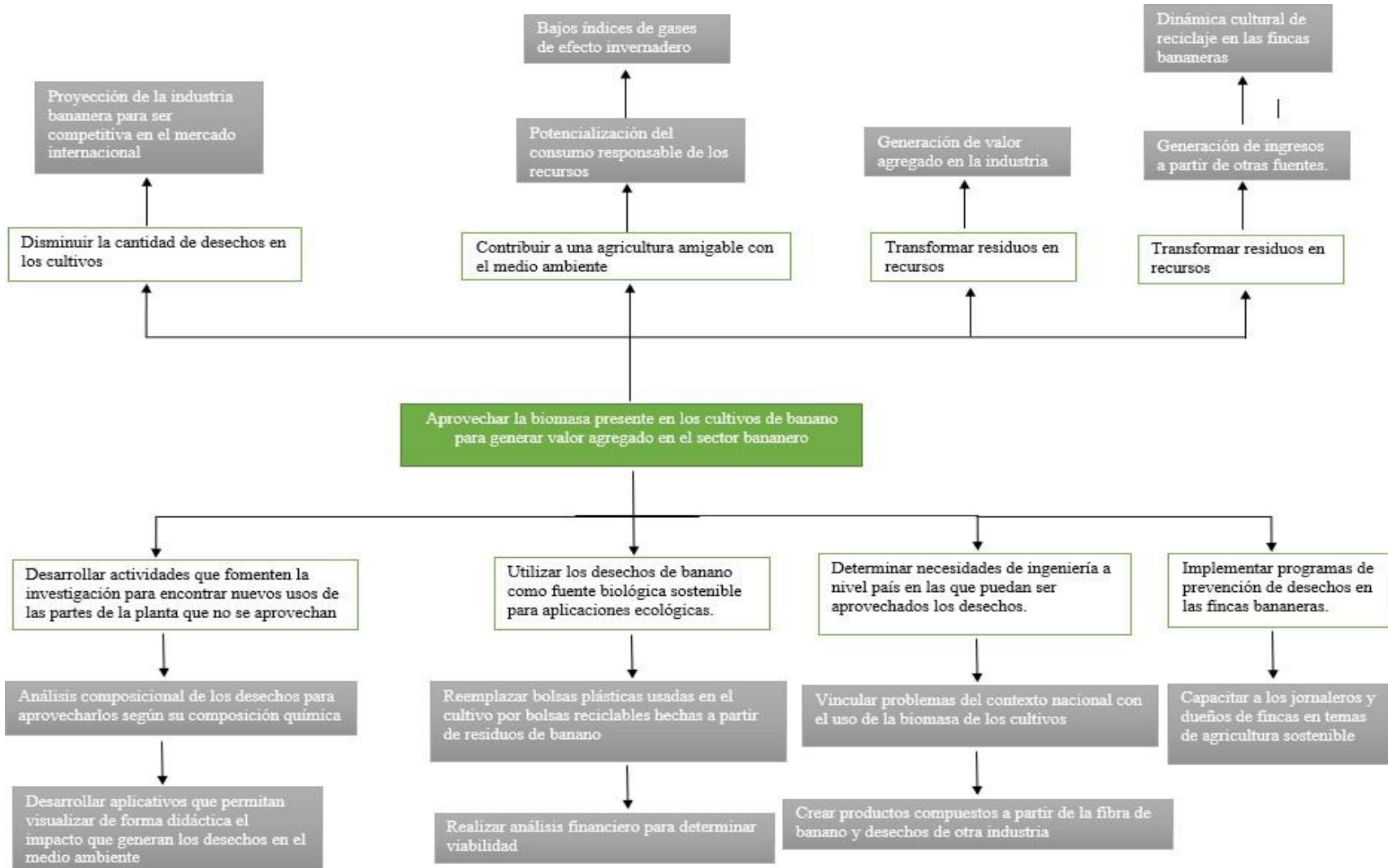


Figura 4. Árbol de objetivos.

Teniendo en cuenta el árbol de problemas presentado previamente y la recopilación de información mediante entrevistas, se llevó a cabo el análisis de priorización de problemas a través de una matriz la cual muestra los problemas principales encontrados en el diagnóstico del proceso de producción del banano y la correlación entre ellos según los criterios de decisión a evaluar (Carvajal et al., 2014):

1. Potencial de reúso
2. Nivel de daño
3. Impacto económico

Puntaje	Equivalencia
0	Menor valor de priorización
0,5	Ambos problemas tienen el mismo valor de priorización
1	Mayor valor de priorización

\*Las combinaciones entre correlaciones solo pueden ser: 0-1/ 0,5-0,5/  
1-0

Potencial de reúso	Exceso de pesticidas y fertilizantes	Exceso de biomasa en los suelos	Constante laboreo	Elevada cantidad de bolsas plásticas	Fallas en el sistema de riego	Alto consumo de energía	Elevado uso de combustible	Alto desperdicio de agua	TOTAL
Exceso de pesticidas y fertilizantes	0	1	0	1	1	1	1	0	4
Exceso de biomasa en los suelos	1	1	1	1	1	1	1	1	7
Constante laboreo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elevada cantidad de bolsas plásticas	1	0	1	1	1	1	1	0,5	5,5
Fallas en el sistema de riego	0	0	1	0	1	1	0	0	2
Alto consumo de energía	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Elevado uso de combustible	0	0	1	0	1	1	1	0,5	3,5
Alto desperdicio de agua	1	0	1	0,50	1	1	0,50	1	5

Tabla 4. Matriz de priorización: potencial de reúso.



Nivel de daño	Exceso de pesticidas y fertilizantes	Exceso de biomasa en los suelos	Constante laboreo	Elevada cantidad de bolsas plásticas	Fallas en el sistema de riego	Alto consumo de energía	Elevado uso de combustible	Alto desperdicio de agua	TOTAL
Exceso de pesticidas y fertilizantes		1	1	0,5	1	1	0,5	1	6
Exceso de biomasa en los suelos	0		1	0,5	1	1	1	1	5,5
Constante laboreo	0	0		0	1	0	0	0	1
Elevada cantidad de bolsas plásticas	0,5	0,5	1		1	1	0,5	0,5	5
Fallas en el sistema de riego	0	0	0	0		0	0	0	0
Alto consumo de energía	0	0	1	0	1		0,5	0	2,5
Elevado uso de combustible	0,5	0	1	0,5	1	0,50		0,5	4
Alto desperdicio de agua	0	0	1	0,5	1	1	0,5		4

Tabla 5. Matriz de priorización: nivel de daño.

Impacto económico	Exceso de pesticidas y fertilizantes	Exceso de biomasa en los suelos	Constante laboreo	Elevada cantidad de bolsas plásticas	Fallas en el sistema de riego	Alto consumo de energía	Elevado uso de combustible	Alto desperdicio de agua	TOTAL
Exceso de pesticidas y fertilizantes		0,5	0	0,5	0,5	0	0	0	1,5
Exceso de biomasa en los suelos	0,5		0,5	0,5	0,5	1	0	1	4
Constante laboreo	1	0,5		1	1	0	0,5	0	4
Elevada cantidad de bolsas plásticas	0,5	0,5	0		0	0	0,5	0	1,5
Fallas en el sistema de riego	0,5	0,5	0	1		0	0,5	0	2,5
Alto consumo de energía	1	0	1	1	1		0,5	1	5,5
Elevado uso de combustible	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5		0	4
Alto desperdicio de agua	1	0	1	1	1	0	1		5

Tabla 6. Matriz de priorización: Impacto económico.

Visualizando las matrices según su criterio, se determina que la matriz de potencial de reúso es la que incluye el problema con mayor relevancia, siendo este el exceso de biomasa en los suelos. Por tanto, se sugiere plantear alternativas para reducir el impacto ambiental en el campo experimental de AUGURA según estos desechos.

Una vez definido el tema a priorizar, se identificaron posibles alternativas para el desarrollo del objetivo teniendo en cuenta las fibras naturales de la planta del banano. Estas han sido investigadas vigorosamente durante las 2 últimas décadas, con el fin de buscar opciones naturales que permitan realizar aplicaciones eco-amigables debido a su biodegradabilidad. La fibra del banano ha ido sustituyendo a otros materiales dado su resistencia y la vasta cantidad en la que se produce por ser el banano una de las frutas más consumidas a nivel mundial, sin embargo, en países subdesarrollados como Colombia, no se han implementado las suficientes estrategias para este aprovechamiento.

Algunas de las alternativas de mitigación propuestas son las siguientes:

<b>Alternativa</b>	<b>¿Cómo se haría?</b>	<b>Inversión</b>	<b>Beneficio</b>
Comercialización nacional de las manos no aptas para exportación	Se debe contratar a una persona que se encargue de la recolección de las manos no aptas y el acondicionamiento para enviarla a los puntos de distribución. Los clientes principales serían los puntos como CORABASTOS, en Bogotá, o las plazas de mercado principales de otras ciudades.	Sería del salario de la persona a contratar y los costos de transporte para llevar las manos a los puntos de comercialización.	Con la comercialización de las manos no aptas para exportación se pueden obtener ganancias por \$4,257,300 por los 3,702 kg de banano, ya que el precio de cada kilogramo sería de \$1,150 aproximadamente.
Producción de derivados del banano con las manos no aptas para exportación, por ejemplo, producción de harina de banano.	Por medio de una maquila que se encargue de la producción y empaque de la harina de banano, para ser comercializada en almacenes de consumo, tiendas naturistas o tiendas de productos saludables.	Se asume que el costo asociado a la maquila es del 60% del precio de venta del producto final.	La relación de producción de harina de banano es de 4:1, con un valor promedio de \$16.000 por kilogramo. Con los 3,702 kg de banano, se podrían obtener aproximadamente 925,5 kg de banano, lo que daría una utilidad de \$5,923,200.
Contratar a una persona externa al campo que brinde servicio de auditoría.	Se podría contratar a una persona de campos de producción que generen menos emisiones como los del estudio en Ecuador, para que analice el proceso de producción actual. Así mismo, realice un paralelo entre ambos procesos para verificar cuáles se pueden optimizar o realizar de una forma diferente. Otra opción sería contratar una persona de Coragro Orgánicos S.A.S, empresa colombiana especializada en fertilizantes y agricultura ecológicos, para que analice opciones ecológicas en los materiales utilizados en el proceso.	Inicialmente serían los viáticos y el sueldo de la persona a contratar. Luego de esto, la inversión serían los costos asociados a los resultados obtenidos en el estudio.	Actualmente AUGURA no puede exportar a ciertos países por el alto nivel de emisiones que genera y al aplicar opciones que minimicen la huella de carbono, aumentaría sus clientes a nivel mundial.

*Tabla 7. Cuadro resumen de las alternativas propuestas.*

Recientemente, el departamento de ciencia y tecnología de Filipinas desarrolló un tapabocas a base de la extracción de esta fibra, esto disminuye el plástico de un solo uso, lo cual propone un sinnúmero de posibilidades en la industria vinculando problemas actuales de producción sintética. Se ha encontrado también, la posibilidad de utilizar el pseudo tallo de la planta de banano para fabricar toallas sanitarias, telas, papel, comida y materiales compuestos para construcción (Balda et al., 2021). De acuerdo con lo anterior, se plantean como posibles soluciones a problemas de índole nacional, la incursión de materiales derivados de la biomasa del banano como reemplazo sostenible de recursos sintéticos o que son contaminantes para el medio ambiente.

### **Medición del Impacto:**

Según los resultados obtenidos en el análisis realizado en el campo experimental, y acorde a la norma ISO 14031, la cual permite evaluar el desempeño ambiental, se puede obtener el indicador de desempeño operacional (IDOs). Esto con el objetivo de informar el impacto real en aspectos ambientales y la relación de las emisiones

contaminantes específicas al aire al año, cabe resaltar que este indicador IDOs es el principal y más relevante para la evaluación del resultado final del proceso. En dicha relación, por cada hectárea de producción, con una densidad de siembra de 1.700 plantas, en promedio se emiten 31 TON CO<sub>2</sub>e anuales, lo que equivale a 593 kg CO<sub>2</sub>e semanal por hectárea, generando una relación de 0.85 kg CO<sub>2</sub>e por kg de banano apto para exportación. Este resultado es un valor alto a comparación de la relación que se obtuvo en 6 compañías bananeras en Ecuador, con una media de 0.45 kg CO<sub>2</sub>e por kg de banano. La relación del campo experimental supera un 90% a la relación obtenida por el grupo Factor CO<sub>2</sub>, siendo este un valor alarmante al resaltar que en el cálculo realizado en Ecuador se realizó se tiene en cuenta las emisiones de transporte al ser una operación propia, siendo este un factor importante de emisión, al ser el responsable del 44.59% de las emisiones del proceso (Banco de Desarrollo de América Latina [CAF], 2016).

Entre tanto, el costo de producir una hectárea de banano, bajo las condiciones mencionadas anteriormente, es de \$26,024,303 pesos colombianos. Y sobre esto, existen diferentes opciones de mitigación de los gases de CO<sub>2</sub>, tales como la siembra de árboles, el aprovechamiento de las manos que no clasifican para exportación en la comercialización nacional (Corabastos, 2021) o en la producción y comercialización de harina de banano (Medranda Barahona & Soledispa Sarcos, 2019).

Con las alternativas propuestas se puede reducir entre un 16% y un 23% de los costos al aprovechar las manos descartadas en el proceso. Esto, bajo el supuesto de una maquila para la producción de la harina de banano con un costo asociado del 60% del precio en el mercado que corresponde a \$16,000. Estos valores no incluyen los costos de transporte (ver Anexo 5). Además de obtener una reducción de costos, con la implementación de estas propuestas, se puede reducir el impacto en la huella de carbono por los desechos orgánicos, obteniendo una relación de 0.75 kg CO<sub>2</sub>e por kg de banano, lo que traduce a una disminución de 3.9 TON CO<sub>2</sub>e anual.

## **7. Limitaciones, conclusiones y recomendaciones.**

El estado actual del desempeño ambiental en el proceso de producción de banano tipo exportación en el campo experimental de AUGURA presenta resultados desfavorables en los niveles de emisión de la huella de carbono, debido a la elevada cantidad de biomasa en los suelos y escasos controles en el marco sostenible. A pesar de que se manejan distintas certificaciones a nivel mundial tales como Global GAP, aún falta la implementación de estrategias de producción limpia para mitigar el efecto que sus acciones causan en la atmósfera y ser más competitivos con el mercado internacional.

Es posible aplicar una herramienta que calcule los índices de huella de carbono y gases de efecto invernadero en las fincas bananeras, donde se vean reflejadas acciones para mitigar el impacto del resultado y a su vez obtener beneficio económico de esas acciones a tomar.

En efecto, la calculadora juega un papel fundamental para la toma de decisiones de los actores de la industria bananera, ya que de esta manera son capaces de visualizar cuantitativamente, el impacto negativo que tienen ciertos procesos y reflexionar sobre las distintas formas en las que se podría hacer un seguimiento a las formas convencionales y de igual manera disminuir gastos o sacar provecho de la situación. Teniendo en cuenta lo anterior, se promueven estrategias de producción limpia, las cuales nos muestran las diferentes posibilidades que hay para hacer uso de los desechos y materiales que afectan directa o indirectamente el medio ambiente. La cantidad de biomasa obtenida de la producción de banano tipo exportación muestra una oportunidad para desarrollar otras de ingreso que extrayendo fibra de buena calidad de las plantas en los suelos. Esta fibra ofrece buen potencial para que grandes industrias como la papelera, la cual es considerada una de las más contaminantes, usen este recurso como elección sobre otros materiales dañinos. Por consiguiente, se hace referencia a la versatilidad que tienen estos residuos a comparación de otros en la industria agrícola y se plantea el uso de su fibra como una alternativa eco-amigable y con un precio menor que la fibra sintética.

En consecuencia, de lo anterior, se han realizado investigaciones científicas a cerca de este planteamiento, sin embargo, la mayoría de las investigaciones son limitadas a los laboratorios, por lo que se requiere una mayor ampliación de los procesos para configurarlos industrialmente. Esto sugiere que para futuras aplicaciones de estas fibras sea necesario estandarizar algunos procesos y cantidades de desechos en las fincas de Augura para

lograr datos más exactos sobre esta alternativa. Por esto, se puede inferir que, si es posible implementar opciones para fomentar un cambio en las fincas bananeras de Carepa, Antioquia, impulsando la aplicabilidad de las distintas opciones que ofrece el reciclaje de los desechos de la producción del banano aprovechando su versatilidad.

## 8. Glosario

**Agricultura sostenible:** Es aquella que garantiza la seguridad alimentaria mundial y que a su vez promueve ecosistemas saludables apoyando la gestión sostenible de la tierra, el agua y los recursos naturales (FAO, 2020).

**Agroquímicos:** Los agroquímicos son sustancias químicas utilizadas en la agricultura con el fin de mantener los cultivos vegetales y animales; Estos deben ser empleados con cautela ya que en ocasiones pueden llegar a ser perjudiciales para los seres vivos y su entorno (Universidad de Valencia, 2020).

**AUGURA:** Es la asociación de bananeros de Colombia, la cual fue creada en 1963 para representar, promover y fortalecer la agroindustria bananera en el país uniendo a productores y comercializadoras de la región de Urabá y el departamento del Magdalena (AUGURA, 2020).

**CORBANA (Corporación Bananera Nacional):** Es el ente oficial regulador de banano en Costa Rica, el cual se encarga de fomentar el desarrollo de producción y comercialización de la fruta, y de promover el progreso del sector bananero. CORBANA cuenta con uno de los mejores Centros de Investigación en banano a nivel de América Latina y el Caribe (CORBANA, 2020).

**Dedos:** Nombre con el cual se conoce la unidad de banano en los campos de cultivo.

**Fertilizantes:** Mezcla de sustancias ricas minerales para la nutrición de la planta.

**Fungicidas:** Químico que se aplica en los procesos agrícolas para el control de hongos.

**Herbicidas:** Químico que se aplica en los procesos agrícolas para el control de maleza.

**Hijos indeseables:** Son las plantas de la siguiente generación, los cuales son eliminados para conservar la energía en la planta madre y el fruto a cultivar.

**Huella de carbono:** Ha surgido como una medida de la cuantificación del efecto de los gases de efecto invernadero y se perfila como un indicador capaz de sintetizar los impactos provocados por las actividades del hombre en el entorno. Es presentada como una herramienta de gestión y un impulso para adoptar una estrategia proactiva en el logro de la sustentabilidad de las organizaciones (Valderrama et al., 2011).

**Huella hídrica:** La huella hídrica de cualquier bien o servicio, es el volumen de agua utilizado-directa e indirectamente para su producción, sumados los consumos de todas las etapas de la cadena productiva. Es un indicador de sostenibilidad que permite identificar relaciones causa-efecto a nivel socioambiental, siendo las actividades socioeconómicas el principal factor de presión sobre los recursos naturales (Arévalo et al., 2011).

**Manos:** Es la agrupación de dedos de banano tal como nacen de la planta.

**Planta madre:** Es la planta en producción, la cual genera el fruto a cosechar.

**Producción limpia:** El programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA) define el termino como “La aplicación continua de una estrategia integrada de prevención ambiental en los procesos, los productos y los servicios, con el objetivo de reducir riesgos para los seres humanos y para el medio ambiente, incrementar la competitividad de la empresa y garantizar la viabilidad económica” (Fúquene, 2007).

**Racimo:** Parte de la panta la cual contiene los bananos, el raquis y las flores durante el proceso de siembra.

**Raquis:** Tallo del racimo el cual sostiene los bananos y las flores en la planta.

## 9. Anexos

No.	Nombre	Tipo de archivo	Enlace directo
1	Diagrama BFD proceso banano de exportación	PDF	<a href="https://drive.google.com/file/d/1d9PZPUEwkPgjKAUTDrikJuSt_54zNXEd/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1d9PZPUEwkPgjKAUTDrikJuSt_54zNXEd/view?usp=sharing</a>
2	Diagrama PFD proceso banano de exportación	PDF	<a href="https://drive.google.com/file/d/14cV9pLEiQSi59qVNUvYa_bwP1DYzfE4g/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/14cV9pLEiQSi59qVNUvYa_bwP1DYzfE4g/view?usp=sharing</a>
3	Balance de materia, balance de energía y cálculo de emisiones de CO2e	Excel	<a href="https://drive.google.com/file/d/1VZwLcI_fApkKIHsL1B6a-Dsqf41prx7/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1VZwLcI_fApkKIHsL1B6a-Dsqf41prx7/view?usp=sharing</a>
4	Calculadora emisiones CO2e proceso banano exportación	Excel	<a href="https://drive.google.com/file/d/11Ow3YtBEmjkn_4VQfv_PFLbtionI1dF/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/11Ow3YtBEmjkn_4VQfv_PFLbtionI1dF/view?usp=sharing</a>
5	Análisis económico proceso banano en campo experimental	Excel	<a href="https://drive.google.com/file/d/11TPoXzRhWuO-VJWmHMiRy-UhKhk7xNOS/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/11TPoXzRhWuO-VJWmHMiRy-UhKhk7xNOS/view?usp=sharing</a>
6	Acta de reunión trabajo de grado - Asesores bananeros	Word	<a href="https://drive.google.com/file/d/1PI23Y-7HI9wZw1PS5h432bsuhEoKXgq/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1PI23Y-7HI9wZw1PS5h432bsuhEoKXgq/view?usp=sharing</a>

## 10. Referencias

- Al-Mansour, F., & Jecic, V. (2017). A model calculation of the carbon footprint of agricultural products: The case of Slovenia. *Energy*, 136, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.099>
- Arévalo, D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. In *SOSTENIBILIDAD TECNOLOGÍA Y HUMANISMO*. <https://doi.org/10.1508/cytologia.72.95>
- AQUAE fundación. (2021). Los gases de efecto invernadero. <https://www.fundacionaquae.org/los-gases-de-efecto-invernadero/>
- AUGURA. (2020). *Nosotros*. <https://augura.com.co/nosotros/>
- Balda, S., Sharma, A., Capalash, N., & Sharma, P. (2021). Banana fibre: a natural and sustainable bioresource for eco-friendly applications. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(5), 1389–1401. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02041-y>
- Banco de Desarrollo de América Latina [CAF]. (2016). *Medición de la Huella de Carbono de las exportaciones de alimentos en Ecuador*. 18. [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/893/Memoria HC2\(email2\).pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/893/Memoria_HC2(email2).pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Carvajal, R., Alberto, C., Vélez, C., & Marcela, D. (2014). Priorización De Proyectos Inviabiles Financieramente En Zonas NoInterconectadas Mediante La Evaluación Económica Y Social. *Revista Ciencias Estratégicas*, 22(32), 237–248.
- Centro de Comercio Internacional [ITC]. (2012). *Normas de la huellade carbonon de productos agrícolas* (p. 68).
- Chaverri, A. L. V., Solís, M. Á. V., NájeraFernández, J., & Zamora, L. A. G. (2017). *Guía metodológica para la huella de carbono y lahuella de agua en la producción bananera* (p. 140). <http://www.fao.org/3/a-i8333s.pdf>
- Cienfuegos Silvera, A. G. (2012). *Desarrollo de procesos cognitivos*. 41.
- Corabastos. (2021). *Históricos de precios*. <https://www.corabastos.com.co/>
- CORBANA. (2020). *¿Quiénes somos?* <http://www.corbana.co.cr/>
- Delgadillo Osorio, D., & Garcia Clavijo, J. (2018). *Alternativas de producción más limpia en la Finca Guadualito Santa Paula: propuesta para una finca de aprendizaje en la Vereda San Peregrino del*

- municipio de Manizales, Caldas.*  
<http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/2222/David>
- Domenech, M., López, F., Lorenzo, A., Izquierdo, L., & Esquivel, L. (2011). *Diagnóstico preliminar de las emisiones gaseosas en la industria de los derivados de la caña de azúcar.*  
<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223122261005.pdf>
- Espinosa, C. S. (2012). *Bonos verdes-¿un sistema de descontaminación medioambiental eficiente?*  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/24861/u622755.pdf?sequence=1>
- Fishel, F. M. (2009). Fungicide Resistance Action Committee 's (FRAC ) Classification Scheme of Fungicides According to Mode of Action 1. *Boards*, 1–7.
- Fonseca, F. (2017). La producción más limpia como estrategia ambiental en el marco del desarrollo sostenible. In *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información Vol. 4 Núm 8.*
- Fúquene, C. E. (2007). *Producción limpia, contaminación y gestión ambiental.*
- Gómez-Orejuela, I., & Vianchá-Sánchez, Z. (2017). *Buenas prácticas agrícolas como alternativa de producción limpia en el procesoproductivo de cítricos y mango en el municipio de Viotá (Cundinamarca, Colombia)* (p. 15).
- Guerrero, J. (2013). *Evaluación de desempeño ambiental (EDA).*
- Hassen Villamizar, H. (2000). Producción limpia, gestión ambiental y desarrollo sostenible. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 39.  
<https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revista/article/view/147/133>
- Hernández-Hernández, N., & Garnica-González, J. (2015). Árbol de Problemas del Análisis al Diseño y Desarrollo de Productos ProblemTree Analysis to the Design and Development Products. *Conciencia Tecnológica*, 50, 38–46.  
<https://www.redalyc.org/pdf/944/94443423006.pdf>
- ISCC System GmbH. (2016). Emisiones de Gases de Efecto <invr. 48. <http://www.fao.org/assets/infographics/FAO-Infographic-GHG-LatinAmerica-es.pdf>
- John C., R., & Saúco, V. G. (2010). *Bananas and plantains.*  
[https://books.google.com.co/books?hl=en&lr=&id=0GxOPqj2UVYC&oi=fnd&pg=PR5&ots=fRseMJRyqj&sig=LOKC\\_THEDI\\_X2IBLIt1JWgfa2CQs&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=en&lr=&id=0GxOPqj2UVYC&oi=fnd&pg=PR5&ots=fRseMJRyqj&sig=LOKC_THEDI_X2IBLIt1JWgfa2CQs&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- López, H. U., & Parrado, C. A. (2004). *Buenas prácticas agrícolas en sistemas de producción de tomate bajo invernadero.*
- Machovina, B., & Feeley, K. J. (2013). Climate change driven shifts in the extent and location of areas suitable for export banana production. *Ecological Economics*, 95, 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.08.004>
- Martínez, R., & Andrés, F. (2010). Metodologías e instrumentos para la formulación, evaluación y monitoreo de programas sociales.  
*Gestión de Programas Sociales: Del Diagnóstico a La Evaluación de Impactos*, 13.
- Medranda Barahona, J. M., & Soledispa Sarcos, P. L. (2019). *Producción de Harina de Banano Orgánico y Comercialización hacia España.* 1–25. <http://generadoras.cl/media/page-files/716/Boletin Enero 2019.pdf>
- Mejía, G., & Gómez, J. (2010). Los desechos generados por la industria bananera colombiana. *Seminario Internacional Gestión de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI*, 1–9.  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxix.pdf>
- Morón, J. (2000). Las exportaciones colombianas de banano, 1950-1998. *Documentos De Trabajo Sobre Economía Regional Banco De La República*, 14(14), 69.  
<http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER14-BANANO.pdf>
- Oceana. (2020). Gases de efecto invernadero. <https://europe.oceana.org/es/node/46897>
- Ospina, O., & Farfán, F. (2003). *Potencial para la producción y certificación de café orgánico en fincas del departamento de Caldas.* <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/251/1/arc054%2802%29145-161.pdf>
- PNUD. (2021). *Objetivos de desarrollo sostenible [PNUD].*  
<https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Porras, Á. C., & González, A. R. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Revista Academia y Virtualidad*, 9.

- <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/ravi/article/view/2004/1988>
- Restrepo, J. H. A., Martínez, T. R., & Carmona, M. J. (2007). *Buenas prácticas agrícolas (BPA) la producción del fríjol voluble*. <http://www.fao.org/3/a-a1359s.pdf>
- Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B., & Shaeiwitz, J. A. (2009). *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*.  
[https://books.google.com.co/books?hl=en&lr=&id=kWXyhVXztZ8C&oi=fnd&pg=PT3&dq=turton+analysis+syntesis&ots=p\\_iWsGtQyF&sig=l3XFKgm\\_zE0iiFZNq6N47M7Ikhc#v=onepage&q=turton](https://books.google.com.co/books?hl=en&lr=&id=kWXyhVXztZ8C&oi=fnd&pg=PT3&dq=turton+analysis+syntesis&ots=p_iWsGtQyF&sig=l3XFKgm_zE0iiFZNq6N47M7Ikhc#v=onepage&q=turton)
- Universidad de Valencia. (2020). Los agroquímicos más utilizados. In *Master Universitario en Química*.  
<https://www.uv.es/uvweb/master-chemistry/en/blog/los-agroquimicos-mas-utilizados-1285949128883/GasetaRecerca.html?id=1285953068917>
- Valderrama, J., Espíndola, C., & Quezada, R. (2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Formación Universitaria*, 4, 1–4.
- Yepes, G. Y. F., & Cuartas, P. A. C. (2014). Análisis de beneficios socioambientales por la implementación de estrategias de producción más limpias en el sector agropecuario de la cuenca media del río Chinchiná, Colombia. In *Acta Agronómica*, 63(3), 193-203 (p. 11).  
[https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/40255](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/40255)