



Alternativas de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa obtenida en el cierre de ciclos de materiales en las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" ubicadas en el departamento del Quindío.

2102-015

Debbie Upegui Muñoz

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 04 Mayo 2022

Alternativas de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa obtenida en el cierre de ciclos de materiales en las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" ubicadas en el departamento del Quindío.

2102-015

Debbie Upegui Muñoz

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director:
John Fredy Arias Duque

Línea de Investigación:
Gestión integral sustentable - Salud ambiental

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia

2022

Acta de sustentación

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios por darme la fortaleza y sabiduría no solo en el desarrollo de este proyecto sino a lo largo de toda la carrera.

A mis padres por el amor, esfuerzo y dedicación que han tenido en mi formación tanto como persona como profesional y por siempre apoyarme y guiarme en cada una de mis decisiones.

A mi hermana por ser mi principal ejemplo a seguir, por ser mi mentora y compañera de vida.

A mis abuelos, en especial a la que me acompaña desde el cielo por compartir conmigo su sabiduría, por sus consejos de vida y su amor incondicional.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por el entendimiento, sabiduría y fortaleza que me brindó a lo largo de mi carrera y al momento de desarrollar este proyecto.

A mi familia por el apoyo, esfuerzo y dedicación que han puesto en mí, por siempre guiarme y apoyarme en cada decisión que tome y por creer en mí en todo momento.

A mi director John Fredy Arias por guiarme en el desarrollo de este proyecto, por compartir conmigo su tiempo, experiencia, sabiduría y conocimientos para culminar de manera exitosa el proceso de la elaboración del proyecto de grado.

Al programa de Ingeniería Ambiental y a todos los docentes que hacen parte de él ya que gracias a sus enseñanzas a lo largo de toda la carrera pude aplicar los conocimientos adquiridos en el desarrollo de mi proyecto de grado demostrando lo que se nos reiteró a lo largo de toda la carrera.

Y a las personas que fueron participes en el desarrollo de este proyecto como los trabajadores de las diferentes empresas, la familia Gómez, dueña de las mismas por abrirme las puertas de sus negocios, compartir sus conocimientos, experiencias e información propicia para culminar de manera exitosa con la elaboración del mismo.

Tabla de contenido

1. Resumen.....	11
2. Abstract	11
3. Introducción	12
4. Planteamiento del problema.....	14
4.1 Descripción del problema.....	14
4.2 Formulación del problema.....	14
4.3 Pregunta de investigación.....	15
5. Objetivos	15
5.1 General	15
5.2 Específico	15
6. Justificación	16
7. Marco de referencia	17
7.1 Estado del arte	17
7.2 Marco teórico-conceptual.....	21
7.2.1 Economía circular.....	21
7.2.2 Ecología industrial.....	21
7.2.3 Desarrollo sostenible	22
7.2.4 Producción más limpia	22
7.2.5 Simbiosis industrial	23
7.2.6 Modelos de negocio.....	23
7.2.7 Gestión de residuos.....	24
7.2.8 Ciclo de vida.....	24
7.3 Marco geográfico	25
7.4 Marco legal y normativo	27
7.5 Marco institucional.....	30
8. Diseño metodológico	34
8.1 Alcance	34
8.2 Enfoque	34
8.3 Método.....	34

8.4 Metodología.....	35
8.4.1 Objetivo específico 1	35
8.4.2 Objetivo específico 2	36
8.4.3 Objetivo específico 3	40
9. Plan de trabajo.....	40
10. Aspectos Éticos	43
11. Resultados, análisis y discusión.....	43
11.1 Objetivo 1	43
11.1.1 Ecobalance.....	43
11.1.2 Caracterización y cuantificación	47
11.1.3 Flujo de corrientes	52
11.2 Objetivo 2	53
11.2.1 Revisión bibliográfica de alternativas	53
Biodigestor	53
Fibra natural	57
Bioetanol	59
Compostaje.....	60
11.2.2 Priorización de alternativas	63
11.3 Objetivo 3	74
12. Conclusiones.....	78
13. Recomendaciones.....	80
14. Referencias bibliográficas.....	81

Listado de tablas

Tabla 1. Matriz bibliográficas del estado del arte	19
Tabla 2. Matriz de normatividad vigente	28
Tabla 3. Matriz de instituciones en relación con el proyecto.....	32
Tabla 4. Criterios de evaluación en la matriz de priorización de oportunidades	38
Tabla 5. Matriz metodológica	41
Tabla 6. Matriz de entradas, proceso y salidas empresa Dos Molinos	44
Tabla 7. Matriz de entradas, procesos y salidas empresa Pulpoza.....	46

Tabla 8. Matriz de entradas, procesos y salidas Finca La Máquina.....	47
Tabla 9. Total de residuos orgánicos acumulados semanalmente por empresa.....	48
Tabla 10. Caracterización de residuos generados semanalmente en las empresas	51
Tabla 11. Composición típica del biogas	56
Tabla 12. Matriz de priorización de alternativas propuestas	64
Tabla 13. Costos de aprovechamiento <i>A. comosus</i>	68
Tabla 14. Balance económico de una planta de compost	69
Tabla 15. Estructura de costos e ingresos para la producción de bioetanol.....	70
Tabla 16. Resumen puntajes de calificación matriz de priorización.....	73
Tabla 17. Relación C:N de algunos materiales usados en el compostaje	77

Listado de figuras

Figura 1. Localización vista general empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca “La Máquina”	25
Figura 2. Localización planta de producción Pulpoza y Café Dos Molinos. Armenia-Quindío	26
Figura 3. Zonificación Finca “La Máquina”. Montenegro-Quindío	27
Figura 4. Relacionamiento de las instituciones frente al proyecto	31
Figura 5. Metodología desarrollo objetivo específico 1	36
Figura 6. Acumulación de residuos orgánicos empresas Pulpoza y Dos Molinos	48
Figura 7. Comparación generación de residuos semanal y proyección anual por empresa.	49
Figura 8. Cuarteo de residuos sólidos	52
Figura 9. Porcentaje promedio de generación de residuos orgánicos	52
Figura 10. Flujo actual de corriente de materiales	52
Figura 11. Flujo de corriente de materiales cruzados	53
Figura 12. Síntesis de las etapas presentes en la digestión anaeróbica	55
Figura 13. Esquema de Economía Circular	65
Figura 14. Litros producidos de bioetanol por hectárea de cultivo.....	66
Figura 15,16. Sistema de compostaje implementado en la Universidad del Quindío	70

Figura 17. Sistema de volteo para camas de compostaje.....	75
--	----

Anexos

Anexo 1. Plan de acción sistema de compostaje.....	93
Contenido	93
Información medida	94
Cronograma de actividades	95
Recursos	96
Beneficios	97
Seguimiento y monitoreo	98
Anexo 2. Plan de acción implementación de un biodigestor	99
Contenido	99
Información medida	100
Cronograma de actividades	101
Recursos	102
Beneficios	103
Seguimiento y monitoreo	104

1. Resumen

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las empresas Pulpoza, procesadora de frutas para elaboración de jugos verdes, café- restaurante Dos Molinos y Finca “La Máquina” donde se encuentra un cultivo de plátano, todas ubicadas en el departamento del Quindío, teniendo como objetivo principal diseñar alternativas de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa generada en el cierre de ciclos de las empresas anteriormente mencionadas. La metodología utilizada inicia con la cuantificación de los residuos orgánicos generando 98,8 ton/semana seguido de la caracterización de los mismos, obteniendo como resultado que los de mayor generación son los resultantes de la cosecha de plátano como el pseudotallo, hojas y vástago los cuales representan el 97,14% del total de residuos; a partir de esto se realizó el análisis y priorización de alternativas mediante una matriz teniendo en cuenta factores como la viabilidad y costos de implementación, impacto económico, social y ambiental, entre otros; a partir de esto se logró concluir que las alternativas de mayor viabilidad son el compostaje y la implementación de un biodigestor que produzca biol y biogás como método que permita el aprovechamiento de los residuos fomentando la economía circular, soportando la teoría de simbiosis industrial y dándole cumplimiento a las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados.

Palabras clave: Residuos orgánicos, ciclo de vida, economía circular, simbiosis industrial.

2. Abstract

The present research work was developed in the companies Pulpoza, a fruit processor for the production of green juices, Dos Molinos cafe-restaurant and Finca "La Maquina" where there is a banana crop, all located in the department of Quindío, with the main objective of designing circular economy alternatives with an industrial symbiosis approach for the use of biomass in the closure of cycles of the aforementioned companies. The methodology used begins with the quantification of the organic residues generating 98,8 ton/week followed by their characterization, obtaining as a result that those with the highest generated are those resulting from the banana harvest such as the pseudostem, leaves and stem, which represent 97.14% of the total waste; Based on this, the analysis and prioritization of alternatives was carried out through a matrix, taking into account factors such as viability and implementation costs, economic, social and environmental impact, among others; from this, it was possible to conclude that the most viable alternatives are composting and the implementation of a biodigester that produces biol and biogas as a method that allows the use of waste, promoting the circular economy, supporting the theory of industrial symbiosis and fulfilling to the targets of the related Sustainable Development Goals.

Keywords: Organic waste, lifecycle, circular economy, industrial symbiosis.

3. Introducción

La mala gestión, manejo y generación de residuos ha venido convirtiéndose en los últimos años en una de las problemáticas ambientales y sociales más preocupantes de la época, debido a que estas malas prácticas comprometen no solo el entorno ecológico sino también la salud humana y los entornos locales, agravando al mismo tiempo los desafíos del cambio climático (Tuck, 2018); cabe resaltar que estas acciones se encuentran ligadas directamente con las dinámicas de las poblaciones tales como los hábitos de consumo, los procesos de transformación industrial y la poca cultura relacionada al aprovechamiento de los materiales descartados. Esto se ve reflejado en las cifras de concepción mundial de desechos sólidos urbanos donde para el 2010 se generaban alrededor de 1,300 millones ton/año, pronosticando para 2025 unos 2,200 millones ton/año y a 2050 un aumento del 70% con respecto a los niveles actuales (Kaza, et al. 2018; Tinajeros, D. 2020).

Según datos de la ONU (2018) cada habitante de América Latina y el Caribe genera un kilo de basura al día, del total de los residuos generados 145.000 ton/día son destinados a basurales, quema u otras prácticas inadecuadas, lo que representa grandes riesgos tanto para las personas que operan habitualmente en el lugar de disposición como para la población circundante; del mismo modo desata problemáticas ambientales tales como la emisión de gases tóxicos y de efecto invernadero, contaminación de cuerpos hídricos, proliferación de vectores y transformación de ecosistemas y paisajes. Se estima además que la mitad de los residuos urbanos generados son orgánicos y que el 90% de estos no son aprovechados. Como búsqueda de una solución para esta problemática se han venido implementando estrategias y prácticas que se enfocan en la producción más limpia y el desarrollo sostenible; la más renombrada es la economía circular que plantea cambiar el modelo “reducir, reutilizar y reciclar” por un ciclo no lineal que permita mitigar los impactos antrópicos al ambiente reduciendo el consumo de recursos (Chávez, et al. 2016, Tinajeros. 2020).

En Colombia, actualmente rige el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” en el cual se introduce la Estrategia Nacional de Economía Circular enfocada para el cierre de ciclos de material, innovación tecnológica y nuevos modelos de negocio que a su vez promocionan la simbiosis industrial (Gobierno de la República de Colombia. 2019); está por su parte

busca fomenta la sostenibilidad desde los materiales desechados, resultantes en las operaciones de cada industria haciendo una evaluación y análisis de las entradas y salidas de cada proceso; es decir, con la implementación de esta estrategia lo que se busca es el aprovechamiento de biomasa resultante del cierre de ciclo de materiales transformándola en materia prima o energía de otros procesos, bien sea dentro de una misma empresa o una secundaria (Hurtado, et al. 2017); una de sus principales metas para 2030 es elevar la tasa de reciclaje al 17,9% en base a los datos obtenidos de 2015 que era de 8,60% (Gobierno de la República de Colombia. 2019), además de cambiar a nivel mundial como expresa la fundación Ellen Macarthur, el sistema alimentario por uno basado en los principios de economía circular ya que la agricultura industrial se ha convertido en una de las fuentes de contaminación y emisión de gases de efecto invernadero.

De este modo lo que se buscó en el caso de estudio de la finca “La Máquina”, la empresa procesadora de fruta Pulpoza y Dos molinos, café-restaurante, fue proponer alternativas de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa resultante de los procesos de cosecha de plátano que tienen lugar en la finca, la extracción de pulpa que deja como principal residuo la cáscara de frutas, semillas y los residuos ordinarios desechados de los alimentos que se venden en el restaurante. Cabe mencionar que estas tres fuentes de ingresos pertenecen al mismo núcleo familiar donde hasta la fecha han venido incorporando malas prácticas de manejo de materia orgánica, debido a que estos residuos son dispuestos directamente en el suelo del cultivo de plátano sin antes pasar por un proceso aprovechamiento como el compostaje.

En el ámbito de ingeniería ambiental la importancia de introducir y aplicar dichos conceptos enseña a ser agentes de cambio para los procesos productivos desde etapas como el diseño, la explotación hasta la gestión y así reducir el impacto ambiental ocasionado, los riesgos y costos, también lograr en conjunto a lo anteriormente mencionado aumentar la eficiencia y productividad de la industria en la que se implemente y potencializando los componentes profesionales, conscientes y comprometidos a dirigir sus esfuerzos hacia un modelo de consumo sostenible. Para esto fue necesario plantear el problema y las acciones mediante las cuales se va a abordar, a partir de esto definir los conceptos de mayor importancia y de conocimiento común junto con los artículos que permitieron establecer las oportunidades de aprovechamiento de los residuos generados identificados a partir de una cuantificación y caracterización

previa, además se establecieron las relaciones directas e indirectas entre actores y el proyecto y las normativa tenida en cuenta para el desarrollo del proyecto.

4. Planteamiento del problema

4.1 Descripción del problema

El crecimiento demográfico, las actividades antrópicas y los estilos de vida consumistas son los principales factores que han impulsado a la alta generación de residuos o materiales descartados (Kaza, et al. 2018). Cuando estos residuos tienen una gestión y/o disposición inadecuada, se generan efectos nocivos que favorecen situaciones de riesgo tanto a nivel ambiental, como de salud pública e incluso económico y cultural. Para 2016 se calculó que en Iberoamérica se estaban generando alrededor de 1,3 millones ton/año de residuos en zonas urbanas, lo que representa una tasa per cápita de 1,20 kg/día, de los cuales, 46% de estos residuos son orgánicos aprovechables que a razón de las malas prácticas de manejo terminan su vida útil en un relleno sanitario (Chávez, et al. 2016).

En Colombia, con base a la problemática La Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios (Superservicios) para 2019 estimó que se generan aproximadamente 11,6 millones ton/año de residuos sólidos, de los cuales el 40% podrían ser aprovechados mediante alguna alternativa de economía circular; sin embargo cifras de la Misión de Crecimiento Verde del Departamento Nacional de Planeación-DNP (2018) calculan que de estos únicamente se reciclan el 17%, lo que ha traído como consecuencia que el 22% de los 158 rellenos sanitarios que hay en el país estén sobresaturados, hayan finalizado su vida útil o les quede un poco menos de dos años de servicio representando un riesgo en caso de no implementar estrategias para prevenir, minimizar y valorizar los residuos en el esquema de economía circular.

4.2 Formulación del problema

A nivel departamental, en el Quindío se reportó por parte de la empresa prestadora del servicio público de aseo EPA (Empresas Públicas de Armenia) que fueron dispuestas 85.727 toneladas de residuos en el relleno sanitario en el año 2021 de los cuales el 20% son reciclables y el 53% son orgánicos (ACODAL, 2021), lo que demuestra el auge de un enorme problema de disposición de residuos en el lugar donde se centra el caso de estudio. Industrias agrícola/ alimentaria como la

finca “La Máquina” productora de plátano a pequeña escala, Pulpoza la cual es una empresa dedicada al procesamiento de frutas para la extracción de pulpa y Dos Molinos, un café-restaurante, ubicadas en el departamento del Quindío, en el municipio de Montenegro y Armenia respectivamente son un pequeño eslabón de las muchas empresas pertenecientes a la misma industria responsables de la generación de grandes cantidades de residuos ordinarios a la semana, especialmente orgánicos (Bienestar Familiar, 2020).

Estas tres empresas pertenecen al mismo grupo familiar y coinciden en que los residuos de mayor generación son los orgánicos tales como cáscaras o restos de fruta, de huevo y algunos restos de verduras. La situación que se presenta desde hace cuatro (4) años hasta la fecha en relación con estas empresas es que todos los residuos orgánicos generados son recolectados para posteriormente ser usados como “abono” dentro del cultivo de la finca; no obstante, dichos residuos no pasaban por un proceso correcto de aprovechamiento antes de ser adicionados al suelo, generando impactos negativos no solo en la productividad a mediano y largo plazo sino también en el estado del recurso suelo.

4.3 *Pregunta de investigación*

¿Cuáles son las estrategias de economía circular que permitirán el aprovechamiento de los residuos orgánicos de las empresas “Pulpoza, Dos Molinos” y Finca “La Máquina” en mecanismos de simbiosis industrial que posibiliten el cierre de ciclos de materiales?

5. Objetivos general y específicos

5.1 General

Proponer alternativas de economía circular con enfoque de simbiosis industrial, para el aprovechamiento de biomasa en las empresas “Pulpoza, Dos Molinos” y Finca “La Máquina”, ubicadas en el departamento del Quindío.

5.2 Específicos

- Elaborar un diagnóstico de la producción y caracterización de los flujos de materiales para identificar oportunidades de simbiosis industrial.

- Definir y priorizar alternativas de economía circular para su implementación en el proceso de cierre de ciclo de materiales orgánicos de las empresas.
- Establecer un plan de acción para la implementación de las alternativas de economía circular priorizadas.

6. Justificación

En la búsqueda de alternativas de desarrollo sostenible y producción más limpia, la implementación de nuevas tecnologías como el compostaje, la producción de biogás o la fabricación de materiales biodegradables han adquirido un especial auge por su capacidad de contribuir no sólo de manera positiva al ambiente sino también a nivel económico, en vista de que la materia se vuelve a incorporar al ciclo de vida. La simbiosis industrial integra además tres (3) tipos de sinergias: sinergia de mutualidad, de sustitución y de génesis (Marchi, et al. 2017).

La sinergia de mutualidad está basada en el uso compartido de servicios comunes, instalaciones o infraestructura, la de sustitución se basa en la reutilización de flujos o corrientes residuales y la de génesis está relacionada con la creación de nuevas actividades para satisfacer las necesidades de reutilización de flujo; si bien de forma holística estos tres tipos de sinergias se complementa, dos de estas se acomodan mejor en función al caso de estudio, convirtiéndolas en las más viable para implementación ya que proporciona la oportunidad de disminuir los costes de entrada de recursos y/o de tratamiento de residuos, estas son las de mutualidad y sustitución (Hurtado Ruiz, et al. 2017).

En base al caso y lo anteriormente mencionado, como un corto análisis de los flujos de entradas y salidas de las empresas se tienen en primer lugar los procesos productivos llevados a cabo dentro de la marca Pulpoza, está como se ha venido mencionando está dedicada al procesamiento de fruta y comercialización de pulpa de juego verde, su principal producto viene a base de pepino, jengibre, apio, piña y espinaca, generando como principal flujo residual las cáscaras de estas frutas, semillas y mermas que son aquellas frutas que no cumplen con las condiciones de calidad; al ser apenas un start up en auge, lleva a cabo sus procesos dentro de las instalaciones de Café Dos Molinos en la ciudad de Armenia, por lo que se resalta la sinergia de mutualidad entre ambas marcas; en segundo lugar si bien los principales productos que se comercializan dentro de este café-restaurant son alimentos cocinados también utilizan alimentos con potencial orgánico para el complemento de los platos en especial café, frutas y huevos, de

los que se obtienen de igual manera principalmente residuos de cáscaras. Finalmente, y como el factor que convierte estas dos empresas en una oportunidad de simbiosis industrial se encuentra la Finca “La Máquina” ubicada en el municipio de Montenegro, esta finca cuenta con 19.200 m² sembrados en plátanos que son comercializados en el mercado local e incluso en el mismo restaurante. Hasta la fecha los propietarios de estas líneas de negocio (Familia Gómez) hacen la recolección de los residuos orgánicos resultantes de los procesos y se le adicionan al suelo del cultivo sin antes pasar por un proceso de aprovechamiento.

Este tipo de prácticas por su parte desequilibra los factores primordiales del recurso suelo, afectando a largo plazo no solo la salud del mismo sino también la productividad del cultivo (Orozco, M. J. 2017); de este modo se sustenta la necesidad de diseñar alternativas de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de la biomasa resultante del cierre de ciclos de las empresas con la finalidad de erradicar las malas prácticas de manejo de residuos orgánicos, fomentar el aprovechamiento de los mismos, evitar continuar con la afectación del suelo y promover e innovar en técnicas sostenibles que desde el ámbito de Ingeniería Ambiental trabajan en conjunto con los factores sociales, ambientales, económicos y culturales.

7. Marco de referencia

7.1 Estado de arte

Uno de los primeros conceptos que contribuyó a la consecución del desarrollo sostenible es el de ecología industrial y fue definido por Frosh, et al (1989) como la ciencia de la sostenibilidad por su carácter interdisciplinario y sus principios; para el mismo año surgió “The Natural Step”, una organización implementada en una docena de países con el fin de fomentar el uso de los recursos de forma eficaz y coherente respecto a las necesidades humanas (Robert, 1989). Para los años 90's se publicó el libro de McDonough y Braungart llamado “De la cuna a la cuna” donde habla sobre la inspiración de la biosfera como modelo para el desarrollo de la transformación del flujo de los procesos industriales. Abriendo paso así a la economía circular.

El concepto de economía circular surge como una filosofía de organización del diseño de producción sin generar desechos mediante la fabricación de productos de fácil desmontaje y reutilización, adicionalmente establecer modelos empresariales para que los fabricantes tengan incentivos económicos

para fomentar el cumplimiento del ciclo: recoger, reutilizar como materia prima y volver a fabricar (Caicedo, 2017). En Europa se ha venido viendo un auge frente a su la transición a una economía circular; es por ello que La Comisión Europea en 2015 adoptó una inversión de 650 millones de euros destinados para investigación e innovación (CirculateNews, 2017). “Según el Banco Mundial, América Latina genera 160 millones de toneladas de residuos sólidos al año -con un promedio per cápita de 1,1 kg/día- del cual menos del 3% se reutiliza o recicla. Sin embargo, se espera que para el 2030 la región aumente su población en un 17%, llegando a 705 millones, incrementando su generación de residuos per cápita en un 45%, alcanzando 1,6 kg por día” (CirculateNews, 2017).

El ejemplo más claro en relación con la ecología industrial, la economía circular y la simbiosis industrial es el Parque Eco-Industrial en Kalundborg, Dinamarca, escenario donde la industria y la comunidad local han cooperado entre ellos con la finalidad de reducir desechos, polución y compartir de manera eficiente los recursos dándole un enfoque de sostenibilidad donde además intervienen factores fundamentales a tener en cuenta como la cercanía entre empresas, intercambio de materia, energía o información obteniendo así un beneficio mutuo (Chertow, 2008). A través de este parque la ciudad ha encontrado nuevos escenarios donde gran parte del flujo de materiales se recicla para proteger las reservas naturales y aumentar las oportunidades industriales (Pinzón, 2002).

En Colombia, existe una comunidad conformada por más de 800 empresas multisectoriales que hacen parte de la Red de Empresas Sostenibles “RedES-CAR” en donde se han presentado múltiples casos de éxito respecto a rutas de producción más limpia y simbiosis industrial como es el aprovechamiento de poda de pasto generada por la empresa Zona Franca de Occidente S.A.S en alimentación bovina en la productora agropecuaria SUALS o el aprovechamiento de residuos de manera generados por la empresa de Helados Popsy por la empresa Primavera para la fabricación de madera aglomerada. Del mismo modo en la tabla 1 se exponen 5 trabajos de investigación que contribuyeron en la elaboración del presente proyecto teniendo en cuenta factores tales como sus objetivos, metodología, materiales y resultados.

Tabla 1. Matriz bibliográfica del estado del arte.

Año	Título	Autores	Lugar	Objetivo	Metodología	Resultados
2016	Building up a bio-based synergetic industrial network in the Northern Harbour of Malmö	Rouffiac, A	Malmö, Suecia	Diseñar una red industrial simbiótica para implementar en el puerto de Malmö	Revisión bibliográfica	Trabajo investigativo para conocer la actividad industrial existente en el puerto, se plantea reemplazar la generación de energía y los combustibles de origen fósil por una proveniente de recursos biológicos existentes en la zona
2020	Desarrollo de un modelo de negocio de compostaje de residuos sólidos orgánicos para la comercialización de abono orgánico	Ayala, R. V.; Ramírez, J.; Rey, J.; Taxa, M. I.	Santiago de Surco, Perú	Desarrollar un modelo de negocio de compostaje de residuos sólidos orgánicos para la comercialización de abono orgánico	Revisión bibliográfica, identificación de cadena de suministros y financiamiento y fabricación del equipo	El proyecto Green Compost requerirá de una inversión inicial de 495 mil soles destinando el 75% de esta inversión a una compostera de alta tecnología con un potencial de reducción del 83% del tiempo de tratamiento en comparación con una compostera natural. Se proyecta recuperar la inversión en 3.56 años y disminuir 6 mil toneladas de emisión de CO_2
2020	Revisión Bibliográfica de la Simbiosis Industrial como Estrategia para la Gestión de Residuos en la Economía Circular	Tinarejos, D.	Arequipa, Perú	Conocer las estrategias para la gestión de residuos a través de la simbiosis industrial en el modelo de economía circular	Revisión bibliográficas	Se demostró un aumento en la generación de residuos sólidos que además son sometidos a una inadecuada disposición y procesos de aprovechamiento y reciclaje prácticamente nulos, se menciona además que existe muy poca participación en cuanto a tratamiento de residuos por parte de las empresas.
2020	Caracterización de los residuos de la cosecha de plátano hartón para un potencial uso industrial	Florez, A. O., Sánchez J. V., & Sánchez, J.	Norte de Santander, Colombia	Caracterizar partes de la planta del plátano que son considerados como desechos a fin de identificar propiedades que	Recolección de materia prima, caracterización de las harinas, análisis químico mediante fluorescencia de	La composición química reveló una alta concentración de K_2O seguido de otros óxidos como CaO , P_2O_5 y SiO_2 . Los valores de los análisis muestran condiciones favorables para aplicaciones industriales,

				puedan ser útiles para su incorporación en los procesos industriales del departamento, fortaleciendo la economía circular.	rayos x y tamizado, secado	especialmente en el sector de alimentos, químico y de papel.
2021	Aplicación de la Economía Circular mediante el aprovechamiento máximo de la Piña (<i>Ananas comosus</i>)	Morales, D.N., Condori, A., Torrez, D. A.	La Paz, Bolivia	Disminuir la basura orgánica que actualmente es generada por los desechos del procesamiento del fruto <i>Ananas comosus</i>	Fermentación y destilación para producción de bioetanol, extracción de fruta por decorticación, producción de mermelada por medio de la cocción y licuado de pulpa, producción de papel mediante la separación de lignina y celulosa.	El modelo propuesto produce papel con la cáscara para la reducción del uso de papel tradicional, Fibra natural de las hojas como alternativa ante las fibras de plástico, Bioetanol de los corazones de la pulpa como una alternativa para materia prima de combustible que ayude a disminuir el impacto ambiental por el uso de energía proveniente de recursos no renovables y mermelada de la pulpa de <i>Ananas comosus</i> obteniendo un subproducto alimenticio totalmente natural sin conservantes ni colorantes

Fuente: Autores (2021).

7.2 Marco teórico-conceptual

7.2.1 Economía circular

En base al tema principal del trabajo de investigación que son las alternativas economía circular (EC) resulta fundamental mencionar que este fue un concepto promovido por gobierno de la Unión Europea, China, Japón, Canadá, entre otros y del mismo modo empresas y organizaciones del sector social. La EC responde a los retos del modelo lineal ya que este promueve un flujo cíclico para la extracción, transformación, distribución, uso y recuperación no solo de materiales sino también de energía y la disminución de uso de recursos naturales. Este tipo de economía tiene como objetivo sustentar materiales, productos y componentes en sus niveles de uso más altos (Cerdá, et al. 2016) y así contribuir al desarrollo sostenible y la producción más limpia.

La economía circular está sustentada bajo tres (3) principios. El primero es eliminar los residuos y la contaminación, asumiendo que la economía actual está basada en un proceso lineal pero que a partir del diseño de los productos se puede promover un ciclo que piense en alternativas sostenibles como el que puedan ser reutilizados, reparados y reciclados, el segundo es circular productos y materiales, esto significa mantener los materiales en uso sea como producto o como materia prima, de manera que nada se convierta en un desecho y se conserve el valor de los productos y materiales y el tercero por su parte es regenerar la naturaleza al pasar de una economía lineal a una circular apoyando procesos naturales y dando espacio para que la naturaleza prospere (Ellen Macarthur, 2022).

7.2.2 Ecología industrial

La ecología industrial, es un área interdisciplinaria que busca aterrizar el funcionamiento de los ecosistemas industriales al de los naturales, pero con un factor relacional entre industria, medio social, medio natural y desarrollo sostenible (Cervantes, 2011). Este concepto surgió a principios de los años noventa basadas en la economía de rendimiento planteada a partir del diseño metodológico “de la cuna a la cuna” junto al enfoque de sistemas de economía azul de Gunter Pauli, abriéndole paso a la economía circular (Gobierno de la República de Colombia. 2019). Cabe mencionar que la ecología industrial no se escapa de estudiarse bajo la teoría general de

sistemas en donde cada proceso se debe estudiar de forma independiente, pero a su vez interrelacionada a un proceso mayor (Considine, 2003).

Dicha ecología explora las actividades industriales en respuesta al conocimiento de sus implicaciones ambientales, promoviendo el desarrollo de métodos de producción más sostenibles, buscando a largo plazo el balance entre las actividades antrópicas y los recursos naturales (Considine, 2003).

7.2.3 Desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible por su parte es un paradigma desde el cual se busca la tendencia de elaborar modelos que “(...) satisfacen las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Pérez, 2003). La concepción de sostenibilidad se evalúa al día de hoy desde tres (3) tipos de modelos, los normativos, los analíticos y los sistemáticos (Kammerbauer, 2001); del primero un claro ejemplo es el Informe de Brundtland ya que refleja el carácter normativo del modelo utilizado, que a su vez resulta analítico debido a que se basa en los procesos como consecuencia de la relación entre afectados e interesados, mientras los sistemáticos están fundamentados en la teoría general de sistemas y abarca conceptos de resiliencia, adaptabilidad y cambio (Folke, et al. 2010; Olsson, et al. 2014).

7.2.4 Producción más limpia

Por otra parte, la producción más limpia es una estrategia que contribuye a la sostenibilidad ambiental a partir de la gestión ambiental aplicada a los procesos, productos y servicios con la finalidad de volverlos más óptimos. Bernal, et al (2016) argumenta que la producción más limpia es la forma más eficiente de llevar a cabo los procesos, obtener los productos y proveer los servicios y a su vez reducir los impactos sobre la salud y el ambiente ya que al optimizar los procesos como se mencionó anteriormente, disminuyen los costos de la producción de desechos y emisiones. Bajo esta estrategia, se es muy utilizado el concepto de “ecoeficiencia” que como su nombre lo indica es el factor entre el valor añadido de lo que se ha producido y el impacto ambiental que ha costado producirlo (Ministerio de ambiente, 2012) y se aplica a: Procesos productivos, preservando las materias primas y la energía, eliminando y reduciendo la cantidad y

toxicidad de las emisiones y desechos. Productos, reduciendo los impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del mismo, desde que la materia prima es extraída hasta su eliminación y finalmente servicios, incorporando la inquietud por lo ambiental en el diseño y distribución (Bernal, et al. 2016).

7.2.5 Simbiosis industrial

La simbiosis industrial se define según Ayres (1989) como la fusión de dos o más industrias diferentes donde cada una busca encontrar un acceso óptimo a los componentes y elementos materiales a partir de la creación de ventajas competitivas frente al crecimiento industrial a través del intercambio de insumos para el fomento del uso medido y responsable de los recursos naturales (Paes, et al. 2019).

Este concepto está fundamentado en el seguimiento de sus etapas metodológicas; el análisis del metabolismo industrial de un sector determinado radica en realizar un balance cuantitativo y cualitativo de los flujos de recursos para así reconocer las sinergias potenciales y las oportunidades de desarrollo, en la identificación de las sinergias entran las actividades industriales y un análisis más específico caracterizando los flujos de entrada y salida de cada una de las operaciones (Galán et al, 2021); dentro de la sinergia del modelo de simbiosis encontramos la de mutualidad basada en el uso y/o utilización de servicios colectivos, construcciones o infraestructuras de las partes que la conforman, de sustitución establecida a partir de la circulación excedente de una empresa transformada y pasada a circulación de llegada de otra y de génesis, la cual está vinculada con la invención de una tarea para complacer los requerimientos de otra compañía (Ovalle, 2018).

7.2.6 Modelos de negocio

Aplicando las estrategias de economía circular con enfoque de simbiosis industrial se busca contribuir con la optimización de procesos, mejora de la gestión y uso responsable de los recursos lo que se traduce a su vez en beneficios económicos y sociales como la disminución de costos de energía y materia prima, valor agregado en los mercados, fortalecimiento de competencias y cooperación de servicios y productos e innovación y patentes tecnológicas; adicionalmente puede surgir modelos de negocios basados bien sea en el intercambio de residuos de forma interna o

externa; es decir dentro de la misma empresa o negociación con terceros, esta primera es considerada la más simple pues la gestión de los residuos y la reincorporación al ciclo se hace desde el mismo componente administrativo y de inversión lo que no representaría problemáticas secundarias (Ovalle, 2018; Tinajeros, 2020).

7.2.7 Gestión de residuos

Los residuos son flujos de materiales sólidos, líquidos, gaseosos y/o de energía descartados o emitidos por establecimientos y hogares a través de procesos productivos, de consumo o acumulación (Instituto Nacional de Estadística, 2019). Estos son clasificados según su origen y su naturaleza. En cuanto al origen se denominan domiciliarios cuando estos residuos se producen a partir de las actividades domésticas, se consideran comerciales cuando son generados mientras se desarrollan actividades de bienes o servicios y agropecuarios cuando son resultantes de labores pecuarias y agrícolas. Por otra parte, cuando se habla de su naturaleza se hace referencia a los orgánicos, provenientes de fuentes biológicas que pueden descomponerse de manera natural o los inorgánicos originados a partir de fuentes minerales o que tuvieron su origen de procesos de fabricación industrial (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

Según los Organismos de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014) la gestión de los residuos es una de los componentes primordiales a tener en cuenta al final del ciclo de un producto para evitar los impactos negativos antes de su disposición final. La gestión de residuos sólidos se divide en ocho (8) acciones: Generación, segregación en fuente, almacenamiento, comercialización, recolección y transporte, transferencia, tratamiento y disposición final; no obstante para el caso de estudio únicamente se profundizará en la generación, la segregación o separación en la fuente que es una de las acciones a tener en cuenta para hacer más fácil el aprovechamiento, tratamiento y comercialización de los residuos, como su nombre lo indica este consiste en separar los residuos por tipo y características similares.

7.2.8 Ciclo de vida

Si bien “ciclo de vida” es el concepto más utilizado hablando en términos ecológicos, este no ha sido definido formalmente. Los diccionarios tradicionales como la RAE lo describen como “una serie de etapas a través de las cuales pasa un fenómeno periódico” (Ibáñez, 2020). ; no obstante,

este y otras definiciones hacen entender de forma indirecta que el objeto es sometido a un ciclo lineal donde inicia de una forma y termina su vida útil de otra completamente diferente, de modo contrario en ecología el concepto de ciclo de vida es lo que comúnmente se denomina “desde el nacimiento hasta la tumba” donde el impacto ambiental inicia con la extracción de materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza, convirtiéndose en un residuo (Romero, 2003).

7.3 Marco geográfico

El Departamento del Quindío se encuentra ubicado en la parte centro-occidental del país, cuenta con una superficie de 1.847 km². Limita por el norte con los departamentos de Risaralda y Valle del Cauca, por el sur-este con el departamento de Tolima y por el oeste con el Valle del Cauca. Cuenta con una población total de 539.904 según el censo del DANE en 2018. Su división administrativa está dada en 12 municipios, entre los se encuentran los dos en los que se centra el caso de estudio; Armenia y Montenegro (Gobernación del Quindío, 2013).

En el siguiente mapa se puede observar la vista general de la localización y el trayecto desde donde tienen lugar los procesos productivos de la marca Pulpoza y el café-restaurante Dos Molinos en la ciudad de Armenia hasta la Finca “La Máquina”-Montenegro donde son dispuestos los residuos orgánicos. Cabe resaltar que la distancia entre ambos es de aproximadamente 12 km.

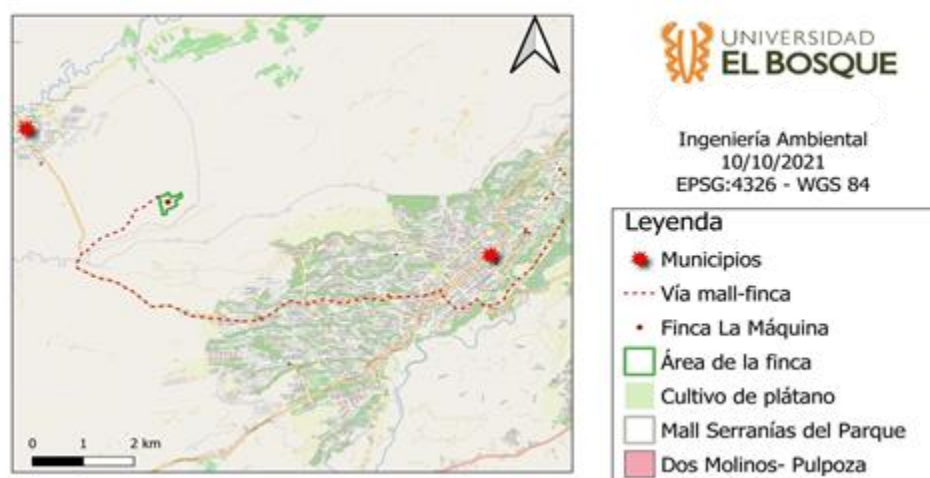


Figura 1. Localización y vista general empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca “La Máquina”- Quindío. Autor (2021).

El municipio de Armenia, capital del Quindío es el lugar donde como ya se mencionó anteriormente la marca Pulpoza y Café Dos Molinos llevan a cabo sus procesos productivos, las instalaciones de estos se encuentran ubicados en la carrera 6 # 8 Norte - 40 en el local #2, esta dirección dentro de la ciudad corresponde a las coordenadas latitud norte 4°32'49'' y 75°39'23'' longitud oeste. En el siguiente mapa se puede observar la localización de dichas instalaciones las cuales se encuentran dentro de un mall de comidas llamado Serranías del Parque ubicado al norte de la ciudad.



Figura 2. Localización planta de producción Pulpoza y Café Dos Molinos. Armenia-Quindío. Autor (2021).

Para concluir con el marco geográfico en el siguiente mapa se puede observar más detalladamente la zonificación de la finca “La Máquina” ubicada en las coordenadas latitud norte 4°33'04 y longitud oeste 75°43'44'', esta finca tiene un área total de 160.000 m² de los cuales 19.200 m² están cultivados en plátano; los metros restantes están distribuidos en la zona construida correspondiente a la casa principal, la casa del administrador y el área de recreación y pastizales.

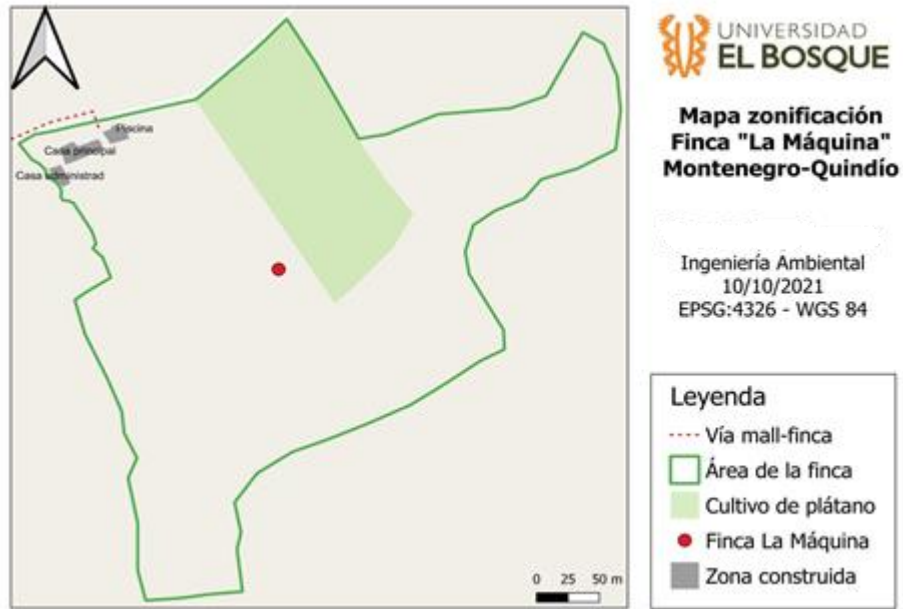


Figura 3. Zonificación Finca “La Máquina”. Montenegro- Quindío. Autor (2021).

7.4 Marco legal y normativo

En el desarrollo de la investigación se tuvo en cuenta la normativa vigente a nivel nacional e internacional sobre alternativas de aprovechamiento y manejo de residuos sólidos orgánicos para de esta manera proponer un plan de desarrollo de alternativas de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa resultante de los procesos de las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca “La Máquina” que cumpla con los requisitos legales.

Tabla 2. Matriz de normatividad vigente.

Normativa	Entidad	Aporte
Ley 142 de 1994	Congreso de Colombia	Artículo 14.15 Reconoce el aprovechamiento como una actividad complementaria del servicio público, modificado por el art. 1 de la ley 689 de 2001.
Ley 99 de 1993	Congreso de Colombia	Por medio del cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.
Decreto 1077 de 2015	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Plantea siete propósitos de aprovechamiento entre los cuales se encuentra disminuir los impactos ambientales, tanto por demanda y uso de materias primas como por los procesos de disposición final.
Decreto 2981 de 2013	Presidencia de la República	Establece el aprovechamiento en el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos empleando procesos de reincorporación al ciclo económico y productivo mediante la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, compostaje o cualquier otra modalidad
Resolución 2674 de 2013	Ministerio de Salud y Protección Social	Establece buenas prácticas de manufactura relacionadas con procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos. Capítulo I- Inciso 5. Disposición de residuos sólidos.
Resolución 754 de 2014	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Artículo 9- Parágrafo 1. Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en el marco del PGIRS. Parágrafo 2. Promover la incorporación del material reciclable en la cadena productiva.

CONPES 3874 de 2016	República de Colombia	Política nacional para la gestión de residuos sólidos que tiene como objetivo el aprovechamiento de los mismos para lograr una incorporación en el ciclo productivo y alcanzar su viabilidad social, económica y financiera, de manera que garanticen su sostenibilidad en el tiempo y reduzcan el impacto ambiental.
CONPES 3934 de 2018	República de Colombia	Política de Crecimiento Verde, la cual tiene por objetivo impulsar el aumento de la productividad y la competitividad económica del país asegurando el uso sostenible del capital natural y la inclusión social de manera compatible con el clima. Apartado 4.1.4 Desarrollo incipiente de los negocios verdes y sostenibles (NVS)
CONPES 3918 de 2018	República de Colombia	Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia. Para el proyecto en desarrollo los ODS con mayor predominancia son 11. Ciudades y comunidades sostenibles, 13. Acción por el clima y 17. Alianzas para lograr los objetivos
ISO 26000 de 2010	Organización Internacional de Normalización	Norma internacional orientada a la Responsabilidad Social Empresarial guiada a contribuir con el desarrollo sostenible.
ISO 14001 de 2015	Organización Internacional de Normalización	Define los criterios para un sistema de gestión medioambiental (SGM).

Fuente. Autor (2021).

Soportando la información anteriormente brindada se tienen en cuenta también en el ámbito normativo los planes de desarrollo vigentes tanto en la ciudad de Armenia “Armenia pa’ todos 2020-2023” que es donde se da la generación de los residuos y el del municipio de Montenegro “Activos por Montenegro 2020-2023” donde se llevará a cabo el aprovechamiento de los mismos establecen respectivamente que:

- Línea de estrategia número 70. Fomento a la separación, aprovechamiento y comercialización de residuos sólidos, medido mediante el porcentaje de cumplimiento de las actividades planificadas para el fomento a las actividades anteriormente mencionadas.
- El Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del municipio de Montenegro fue adoptado mediante el Decreto No 87 del 17 de diciembre de 2015, Segunda Generación – PGIRS/2G.
- En el periodo 2016 – 2019 se llevaron a cabo acciones como lo fue, actualización del mismo en el primer año del periodo administrativo y ejecución del componente de corto plazo durante los años subsiguientes en temas como lo son: Sensibilización de la comunidad para el reciclaje, uso y aprovechamiento de estos residuos reutilizable, presentación de informe de seguimiento.

También cabe mencionar que actualmente en Colombia rige el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” el cual introduce a una Estrategia Nacional de Economía Circular que fortalece el desarrollo económico, ambiental y social del país armonizada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en especial el 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15 y 17. Dentro de esta estrategia se pueden evidenciar los beneficios tanto ambientales, como económicos, sociales y ambientales de poner en práctica la economía circular junto con los indicadores y metas donde se incluye intensidad energética, productividad hídrica, tasa de reciclaje y reducción de gases de efecto invernadero.

7.5 Marco institucional

En el siguiente esquema que se muestra a continuación se exponen las instituciones que están involucradas de manera directa o indirecta en el desarrollo del proyecto junto con la descripción de la misma. Cabe mencionar que al momento de establecer la relación entre la institución y el proyecto se planteó que es “indirecta” en la medida que la institución en cuestión está involucrada de forma implícita pero no se ve beneficiada o afectada por la ejecución del proyecto; mientras que cuando se establece una

relación directa es porque aquella institución está involucrada de manera explícita y se ve beneficiada por la ejecución del proyecto.



Figura 4. *Relacionamiento de las instituciones frente al proyecto.* Autor (2022).

En la tabla 3 se muestra la construcción de la matriz institucional donde aparte de la descripción de cada autor relacionado también se habla sobre su aporte frente al desarrollo del proyecto en base a la relación expuesta anteriormente.

Tabla 3. Matriz de instituciones en relación con el proyecto.

Institución	Descripción	Relación
Alcaldía de Armenia	Es una entidad que se rige por el diseño, control y seguimiento de sus metas e indicadores, apunta a la atención de las necesidades básicas de los habitantes del municipio; que invierte los recursos de manera eficaz que cuenta con personal técnicamente preparado (Alcaldía de Armenia, 2021)	Son las entidades gubernamentales que rigen en el territorio donde se lleva a cabo el proyecto investigativo, en caso de Armenia porque allí se encuentran las empresas Pulpoza y Dos Molinos y Montenegro ya que en ese municipio es donde se encuentra la finca “La Máquina” y donde se hace la disposición final de residuos orgánicos.
Alcaldía de Montenegro	Entidad con responsabilidad social y de gobierno eficiente, justo y transparente promoviendo un modelo de progreso integral, cubriendo sectores indispensables para la calidad de vida y la generación de oportunidades que le permitan ingresos a las familias (Alcaldía Municipal de Montenegro, Quindío. 2020)	
Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ	Entes corporativos integrado por entidades territoriales que administran el medio ambiente, recursos naturales renovables y desarrollo sostenible (CAR, 2021)	Entidad encargada de la evaluación, control y seguimiento ambiental como vertimiento, emisión y disposición respecto al uso de recursos naturales renovables.
Pulpoza	Empresa procesadora de alimentos y productora de jugos verdes	Empresas donde se generan residuos orgánicos que son dispuestos de manera incorrecta en la finca “La Máquina”
Dos Molinos	Empresa alimenticia dedicada a la producción y comercialización de alimentos y bebidas.	
Finca “La Máquina”	Finca ubicada en el municipio de Montenegro- Quindío. Fuente de ingreso principal turismo y cultivo de plátano	Lugar de disposición de los residuos orgánicos dentro del cultivo de plátano

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)	Entidad pública de orden nacional comprometida a contribuir al desarrollo sostenido del sector agropecuario, pesquero y acuícola, mediante la prevención, vigilancia y control de los riesgos sanitarios, biológicos y químicos, así como la investigación aplicada y la administración (ICA, 2008)	Diseña y ejecuta estrategias que ayudan a prevenir, controlar y reducir riesgos ambientales que pueden afectar la producción agropecuaria
Empresas Públicas de Armenia (EPA)	Empresa Industrial y Comercial del Estado, prestadora de servicios públicos domiciliarios, con experiencia en la gestión de servicios de agua potable y saneamiento básico. (EPA, 2021)	Empresa municipal encargada del servicio de aseo y por ende de la recolección de los residuos urbanos para disposición final en el relleno sanitario ubicado en Montenegro
Universidad del Quindío	Es la primera y única institución de educación superior pública acreditada en alta calidad en el Departamento del Quindío (UQ, 2021)	Institución educativa ubicada en el municipio de Armenia y que sirve como apoyo para fines investigativos.
Universidad el Bosque	Universidad de formación multidisciplinaria con un foco que articula su desarrollo en la salud y calidad de vida. Comprometida con las necesidades y oportunidades locales, regionales y nacionales (UEB, 2019)	Institución educativa que comprende el desarrollo del proyecto investigativo
Otros	Este espacio da cabida a las diferentes empresas que puedan verse involucradas dentro del proyecto como el caso de empresas con las que se haga algún tipo de convenio o fincas aledañas que se vean beneficiadas con la toma de decisiones.	Se pueden encontrar relación con caficultores para la obtención de cascarilla de café, fincas aledañas que se vean beneficiadas de alguna forma con el desarrollo del proyecto, empresas con las que se hagan alianzas, etc.

Fuente. Autor (2022).

8. Diseño metodológico

8.1 Alcance

El proyecto de investigación se enmarca en los tipos de alcance descriptivo y correlacional. Descriptivo debido a que esta busca priorizar, valga la redundancia, la descripción de los fenómenos que tienen cabida dentro de la investigación (Ramos, 2020), para este caso en específico encontramos que lo que se busca hacer es plantear una propuesta de varias alternativas de economía circular enfatizando en la simbiosis industrial para así transformar las malas prácticas llevadas a cabo dentro de las empresas, mitigar y evitar continuar con la contaminación del recurso suelo y aprovechar el potencial de los residuos obtenidos del cierre de procesos y de este modo buscar potencializar las líneas de negocio involucrados dándole un enfoque de producción más limpia optimizando los procesos.

Por otro lado, se establece que es correlacional a razón de que se busca determinar la relación entre dos o más variables (Ramos, 2020), en este caso la relación de los residuos respecto a los procesos productivos donde podrían ser reincorporados y ejecutar una de las propuestas planteadas siempre y cuando esta cumpla con las expectativas y exigencias tanto de los residuos como de las empresas.

8.2 Enfoque

Dicho proyecto se clasifica como un estudio de enfoque mixto (Cruz, et al. 2019) en vista de que lo que se realizó fue un análisis cualitativo de los procesos productivos llevados a cabo dentro de las instalaciones de cada una de las empresas el cual requiere de la descripción detallada de los mismo y de las potenciales soluciones planteadas a partir del análisis del caso, haciendo uso de técnica de recolección de datos como revisión documental y el análisis cuantitativo en la medida que se realizó la cuantificación de todos los material resultantes del cierre de ciclos de las empresas en cuestión.

8.3 Método

La investigación está basada en el desarrollo de la misma a partir del método descriptivo en función de resaltar detalladamente cada una de las alternativas propuestas una vez hecho el análisis de las variables en relación; es decir las empresas y los residuos que estas generan una vez se realiza el cierre de materiales.

8.4 Metodología

8.4.1 Objetivo específico 1

Elaborar un diagnóstico de la producción y caracterización de los flujos de materiales para identificar oportunidades de simbiosis industrial.

En el desarrollo de este objetivo fue necesario en primer lugar realizar una revisión bibliográfica para la estructuración y formulación del proyecto en base a las temáticas que este abarca, con ayuda de revistas indexadas, artículos científicos, libros, entre otros obtenidos a partir de plataformas como la Biblioteca Juan Roa Vásquez y Google Académico. Una vez recopilada la información primaria se pasó a realizar una visita técnica a cada una de las empresas (Pulpoza, Dos Molinos y Finca “La Máquina”) para así realizar un diagnóstico de la producción y cuantificación de la cantidad y tipo del material resultante del cierre de ciclos.

Dentro de la visita técnica se habló con el CEO de la marca Pulpoza y Dos Molinos, igualmente encargado de la producción de plátano de la Finca La Máquina con la finalidad de entender las dinámicas de las empresas, del mismo modo se realizó un recorrido por las plantas de producción del café-restaurant y la empresa procesadora de fruta y se participó en una jornada de cosecha de plátano en la finca para recolectar la mayor información posible para la estructuración de un diagrama en bloque el cual funciona como la herramienta para el análisis de sistemas que comprenden las entradas, procesos y salidas de las actividades productivas llevadas a cabo dentro de cada una de las empresas.

Por otra parte, en base a la metodología del cuadrante se realizó la cuantificación de los residuos teniendo como primera instancia la acumulación de los residuos orgánicos generados durante siete (7) días calendario, una vez cumplido este tiempo fueron trasladados a la finca donde generalmente son dispuestos y en la zona de parqueadero se realizó una división en forma de círculo con radio de 1,5 m dividido en cuatro (4) cuadrantes iguales y numerados respectivamente. Una vez esta parte de la metodología estuvo lista, se extendieron los residuos contenidos en las canecas por todo el círculo y se seleccionaron dos cuadrantes opuestos (I y III) (Alayón Castro, E. 2020; Ministerio del Ambiente. 2020) para finalmente hacer la separación de los residuos orgánicos de los cuadrantes seleccionados en base a su naturaleza; es decir, si hacía parte de los residuos del cultivo podría ser vástago, tronco u hojas o si eran alimentos verduras,

cascaras de huevo, frutas cítricas como la piña, naranja o mandarina y no cítricos como banano, fresa, entre otros.

En la Figura 5 se presenta el esquema que sintetiza la metodología para el primer objetivo específico:

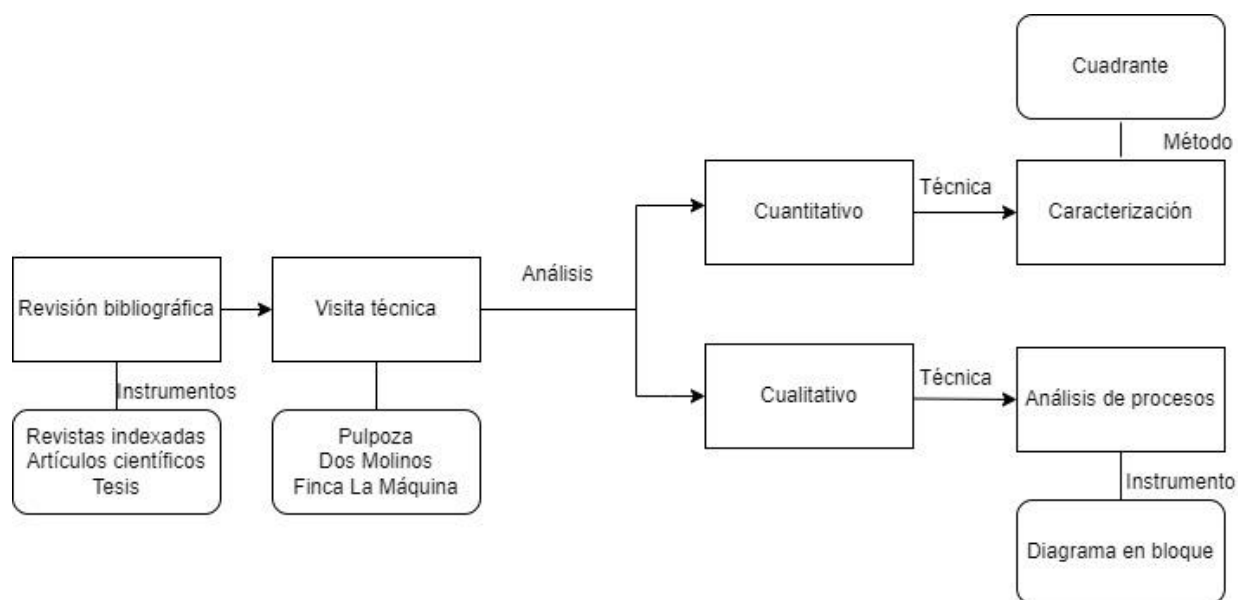


Figura 5. Metodología desarrollo objetivo específico 1. Autor (2022).

8.4.2 Objetivo específico 2

Definir y priorizar alternativas de economía circular para su implementación en el proceso de cierre de ciclo de materiales de las empresas.

Para el cumplimiento del objetivo específico número dos se parte desde el análisis de propuestas de alternativas de economía circular con enfoque de simbiosis industrial mediante el cual lo que se busca es analizar, como su nombre lo indica, las posibles propuestas que se puedan presentar teniendo en cuenta las características previamente evaluadas de los residuos, una vez definidas las alternativas se procede a hacer una revisión bibliográfica de cada una de ellas para posteriormente priorizar las alternativas que sean más viables para implementar en las empresas el caso de estudio basados en la matriz de priorización propuesta por el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Colombia Productiva (2020) en la “Guía empresarial de Economía Circular”.

En la tabla 4 se presentan los criterios y métodos de evaluación propuestos en la matriz de priorización, cabe resaltar que esta matriz permite “priorizar y clasificar las oportunidades de mejora o potenciales proyectos relacionados con la Economía Circular, vincular actores multidisciplinario internos y externos para orientar la toma de decisión respecto a la implementación de oportunidades en el contexto de sostenibilidad a corto, mediano y largo plazo y contar con criterios objetivos para llegar a un consenso sobre las decisiones de implementación de oportunidades de Economía Circular, y poder plantear los siguientes pasos en el desarrollo de estas y la relación con diferentes actores de la cadena de valor”.

Tabla 4. Criterios de evaluación en la matriz de priorización de oportunidades.

C1. Nivel de circularidad	
Evaluar el potencial de circularidad de cada oportunidad y su potencial de réplica o escalamiento. Se sugiere asignar una ponderación del 40%. Las pautas para su evaluación son:	
Afecta a la circularidad	Potencial de réplica o escalamiento
Califique con 1 sí la oportunidad NO aumenta la circularidad de la empresa	Califique con 1 sí la oportunidad tiene un potencial bajo
Califique con 3 sí la oportunidad SI aumenta la circularidad de la empresa	Califique con 2 sí la oportunidad tiene un potencial medio
	Califique con 3 sí la oportunidad tiene un potencial alto
C2. Nivel de relacionamiento	
Evalúa el nivel de relacionamiento que genera cada oportunidad y su impacto sobre los siguientes actores claves: Gobierno, industria, universidades, sociedad. Se sugiere asignar una ponderación del 25% a este criterio. Las pautas para realizar esta evaluación se presentan a continuación:	
Nivel de relacionamiento con actores	Impacto sobre los actores
Califique con 1 sí la oportunidad involucra a 1 actor.	Califique con 1 sí el impacto es bajo
Califique con 2 sí la oportunidad involucra a 2 o 3 actores	Califique con 2 sí el impacto es medio
Califique con 3 sí la oportunidad involucra a 4 actores o más	Califique con 3 sí el impacto es alto
C3. Factibilidad de implementación	
Evalúa que tan factible es la realización de la oportunidad de Economía Circular identificada, teniendo en cuenta los costos/inversión para la empresa y las capacidades técnicas y tecnológicas necesarias. Se sugiere asignar una ponderación del 25% a este criterio. Las pautas de evaluación son las siguientes:	
Costo de implementación para la empresa (equipos, infraestructura, mano de obra)	Capacidades técnicas (formación especializada del personal)
Califique con 1 sí el costo de implementación es alto (retorno > a 3 años)	Califique con 1 sí el requerimiento de capacidades es alto
Califique con 2 sí el costo de implementación es medio (retorno > 1 y ≤ 3 años)	Califique con 2 sí el requerimiento de capacidades es medio
Califique con 3 sí el costo de implementación es bajo (retorno ≤ 1 año)	Califique con 3 sí el requerimiento de capacidades es bajo
C4. Impacto sobre la sostenibilidad	
Evalúa el impacto económico, social y ambiental de cada oportunidad. Se sugiere asignar una ponderación del 10% a este criterio, considerando que la sostenibilidad está implícita en la evaluación de la circularidad de cada oportunidad. Para la evaluación se siguen las siguientes pautas:	

Impacto Económico	
Ingresos	Ahorros
Califique con 1 sí se estima que la oportunidad NO genera ingresos nuevos	Califique con 1 sí se estima que la oportunidad NO genera ahorros
Califique con 2 sí se estima que la oportunidad genera ingresos \leq al 5%	Califique con 2 sí se estima que la oportunidad genera ahorros \leq 5%
Califique con 3 sí se estima que la oportunidad genera ingresos $>$ 5%	Califique con 3 sí se estima que la oportunidad genera ahorros $>$ 5%
Impacto Social	
Con relación al impacto social, se evalúa sí cada oportunidad genera o no genera nuevos empleos y también el impacto que tendría a nivel interno de la compañía en términos de generación de capacidades de los empleados. Las pautas para realizar esta evaluación se presentan a continuación:	
Nuevos empleos	Generación de capacidades
Califique con 1 sí la oportunidad NO genera nuevos empleos	Califique con 1 sí la oportunidad NO fortalece las capacidades de empleados
Califique con 3 sí la oportunidad genera nuevos empleos	Califique con 3 sí la oportunidad SI fortalece las capacidades de empleados
Impacto Ambiental	
Finalmente, este criterio evalúa el impacto ambiental de cada oportunidad, considerando dos aspectos (1) la eficiencia de recursos y (2) el ahorro de energía. A continuación, se dan las pautas para realizar esta evaluación	
Eficiencia de recursos	Ahorro de energía
Califique con 1 sí con la oportunidad NO optimizo recursos (materias primas y agua)	Califique con 1 sí con la oportunidad NO se genera ahorro energía
Califique con 2 sí con la oportunidad optimizo levemente recursos (materias primas y agua)	Califique con 3 sí con la oportunidad SI se genera ahorro energía
Califique con 3 sí con la oportunidad optimizo considerablemente recursos (materias primas y agua)	

Fuente. Centro Nacional de Producción Más Limpia y Colombia Productiva (2020).

8.4.3 Objetivo específico 3

Establecer un plan de acción para la implementación de las alternativas de economía circular priorizadas.

Para el desarrollo de este último objetivo específico fue necesario en primer lugar contar con el desarrollo total de la actividad antecedente, la cual fue la priorización de alternativas y de este modo establecer un plan de acción que según lo propuesto por la Comisión Europea, uno de los principales lineamientos para llevar a cabo el Pacto Verde Europeo es el desarrollo de un Plan de Acción en Economía Circular enfocado en la transformación de los métodos de fabricación de los productos hacia un modelo de crecimiento regenerativo donde se devuelva un porcentaje de lo tomado de recursos naturales al planeta (Comisión Europea, 2020).

Dicho plan de acción se realizó para cada una de las alternativas propuestas y priorizadas en el objetivo anterior. Para la formulación del plan primero fue necesario recolectar toda la información medida la cual corresponde a la información general de la medida a implementar, descripción, objetivo áreas y procesos relacionados con la misma; posteriormente plantear las actividades necesarias para llevarlo a cabo el plan de acción presentadas mediante un cronograma de actividades, destinar los recursos bien sea económicos, tecnológicos y humanos, presentar los beneficios tanto ambientales, sociales y comerciales para finalmente establecer del mismo modo un plan de seguimiento y monitoreo para garantizar el correcto funcionamiento del plan de acción.

9. Plan de trabajo

A continuación, se expone mediante una matriz la metodología empleada para el desarrollo del trabajo investigativo. Esta se encuentra estructurada de manera que por objetivo específico se muestren las actividades realizadas para el cumplimiento de los mismos, las variables en caso de que existan, la técnica la cual hace referencia a la manera en que se ejecutó, los instrumentos identificado también como las herramientas utilizadas y el logro el cual expresa en cierta medida el resultado esperado mediante el cual también se pudo evaluar el correcto cumplimiento del objetivo y por ende la efectividad del proyecto.

Tabla 5. Matriz metodológica.

Objetivo general	Diseñar alternativas de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa en las empresas Pulpoza, Dos molinos y Finca La máquina ubicadas en el departamento del Quindío					
Objetivos específicos	Actividad	Variable	Técnica	Instrumento	Logro	
Elaborar un diagnóstico de la producción y caracterización de los flujos de materiales para identificar oportunidades de simbiosis industrial.	Búsqueda de información en base de datos para la estructuración y formulación del proyecto	-	Revisión bibliográfica	Artículos científicos, revistas indexadas, tesis	Estructuración del documento y desarrollo de la temática	
	Definir las entradas y salidas de la empresa a través de un ecobalance	Entradas, procesos y salidas	Ecobalance	Diagrama en bloque	Identificar la materia prima que ingresa a cada uno de los procesos de las empresas y del mismo modo las salidas	
	Determinar la cantidad de residuos orgánicos generados por las empresas mediante el pesaje y caracterización de los mismos	Peso	Caracterización, pesaje	Visita técnica, báscula, excel	Obtención de la cifra total en kilos de materia orgánica, realizar una selección detallada sobre los residuos que pueden ser usados dentro del compostaje	
Definir y priorizar alternativas de economía circular para su implementación en el proceso de cierre de ciclo de materiales de las empresas.	Realizar una revisión bibliográfica de los diferentes alternativas de economía circular	-	Revisión bibliográfica	Artículos científicos, revistas indexadas, tesis	Evaluar todas las posibles alternativas de economía circular aplicables en el cierre de ciclos de material en las empresas	
	Priorizar las alternativas que sean más viable para implementar en las empresas del caso de estudio	Relacionamiento, implementación, impacto sobre la sostenibilidad	Priorización de alternativas	Matriz de priorización	Establecer el tipo de compostaje más viable para implementación.	

Establecer un plan de acción para la implementación de las alternativas de economía circular prioritizadas	Definir el nombre que recibe cada una de las medidas	Medidas	Identificación de medidas	Libro de excel	Establecer el nombre, objetivo, descripción, área y característica de cada medida
	Establecer el cronograma de actividades por plan de acción	Tiempo	Elaboración de cronograma		Delimitar el tiempo y cumplimiento de las actividades previstas
	Determinar los recursos necesarios para implementar y los beneficios que trae el plan de acción	Recursos y beneficios	Selección de recursos e identificación de beneficios		Establecer los recursos necesarios en cada etapa del plan de acción y los beneficios que este trae consigo
	Establecer el plan de seguimiento y monitoreo de cada plan de acción	Desempeño	Cumplimiento del plan		Garantizar la buena implementación y funcionamiento del plan

Fuente. Autor (2022).

10. Aspectos Éticos

De acuerdo con la ley 1032 de 2006, legislación nacional que reconoce el plagio como un delito yo como autora del presente proyecto declaro que durante el desarrollo de este no se ha incurrió en la violación de derecho de autores y todos los procesos realizados han sido completamente transparentes.

Respecto al uso de información personal se garantizó el cumplimiento de la Ley 1581 de 2012 que constituye el marco general de la protección de datos personales en Colombia en la medida que las personas que fueron entrevistadas y el uso de la información que se me fue brindada ha sido usada únicamente con fines educativos para el desarrollo del proyecto, además en ningún momento las personas fueron obligadas a hacer parte de este o dar información con la que no estuvieran de acuerdo. Adicionalmente se compromete hacer la entrega de este documento y de brindad la ayuda necesaria a los diferentes participantes de ser requerido en caso de querer implementar algunas de las alternativas expuestas.

11. Resultados, análisis y discusión

11.1 Objetivo 1: *Elaborar un diagnóstico de la producción y caracterización de los flujos de materiales para identificar oportunidades de simbiosis industrial.*

11.1.1 Ecobalance

El diagnóstico de la producción del flujo de materiales de cada una de las empresas se obtuvo a partir de la aplicación de la teoría general de sistemas mediante la construcción de un diagrama de flujo de procesos en bloque la cual consiste en identificar las entradas las cuales son los ingresos del sistema incluyendo recurso humano, recursos materiales o de información seguido del análisis de cada proceso de transformación al cual son sometidas estas entradas para finalmente obtener como resultado las salidas las cuales pueden convertirse en productos, desechos o ser retroalimentadas (López, A. 1989). Es importante mencionar que las salidas resaltadas en color verde en las tablas que se presentan a continuación indican que dichos residuos orgánicos pueden ser involucrados bien sea en el mismo sistema o en otro de modo que se abra paso para la aplicación de la teoría de simbiosis industrial.

En la tabla 6 se evidencia el diagrama de flujo en bloque estructurada para la empresa Dos Molinos, esta es una empresa dedica al comercio de alimentos preparados en la cual se tienen como entradas la materia prima que vendrían siendo los diferentes alimentos en crudo y el personal, dicha materia prima pasa por una serie de procesos como la compra, el lavado, el picado, la preparación de los platos que involucran su uso y la venta del mismo obteniendo como salidas los residuos, los cuales se dividen en no aprovechables, aprovechables y orgánicos, estos últimos hacen referencia a las semillas, hojas, restos de alimentos crudos no animales y alimentos cocinados respectivamente.

Tabla 6. *Matriz de entradas, procesos y salidas empresa Dos Molinos.* Autor (2022).

Café-Restaurante Dos Molinos		
Entradas	Procesos	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> → Materia prima <ul style="list-style-type: none"> - Alimentos - Agua → Insumos <ul style="list-style-type: none"> - Energía - Transporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Compra • Lavado • Picado • Mezcla • Preparación • Venta 	<ul style="list-style-type: none"> → Residuos <ul style="list-style-type: none"> • Orgánicos (Semillas, hojas, restos de fruta y verdura) • No aprovechables (Restos de comida cocinada, recipientes contaminados) • Aprovechables (Plástico, cartón) → Aguas residuales → Emisión de gases

En la tabla 7 se presenta el diagrama de la marca Pulpoza, dedicada al procesamiento de frutas, más específicamente pepino, jengibre, apio, piña y espinaca para la elaboración de jugos verdes en agua la cual pasa primero por un proceso de pesado donde semanalmente se hace la recepción de 544 kg, posteriormente esta pasa por un proceso de selección y clasificación donde la más madura se utiliza primero para evitar que se dañe y se generen más residuos; una vez se cumple

con esto se pasa a hacer el lavado de las mismas con la finalidad de que al pelar y trocear la fruta no se contamine con posibles restos de suciedad, bacterias, alérgenos, entre otras sustancias que se pueden encontrar en la cáscara, posteriormente se procede a hacer el despulpado con ayuda de una máquina despulpadora que como su nombre lo indica transforma la pulpa de las frutas en un puré para después someterla a un periodo de cocción breve al cual se le denomina escaldado y finalmente pasar el producto a una etapa de enfriamiento para ser empacado, almacenado y comercializado.

Como salidas resultantes de los procesos anteriormente mencionados se obtienen el producto y las ganancias de la comercialización del mismo, residuos orgánicos tales como las semillas, cáscaras y restos de fruta o verdura que no son incorporados en el ciclo de fabricación de pulpa. El residuo que se genera en mayor cantidad es el corazón, la cáscara y la corona de la piña, siendo casi el 70% respecto al total es decir 224 kilos de residuos. Adicionalmente salen aguas residuales por procesos como el lavado y RAEE en caso de que la maquinaria se descomponga, en consecuencia, al uso de este último insumo se generan gases de efecto invernadero y cabe la posibilidad de que por defectos de fábrica o complicaciones en el uso de los empaques se estropeen y no puedan ser usados así que salen como un residuo sólido.

Tabla 7. Matriz de entradas, procesos y salidas empresa Pulpoza. Autor (2022).

Pulpoza		
Entradas	Procesos	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> → Insumos <ul style="list-style-type: none"> - Energía - Maquinaria - Empaques → Materia prima <ul style="list-style-type: none"> - Pepino - Jengibre - Apio - Piña - Espinaca - Agua 	<ul style="list-style-type: none"> ● Recepción de fruta ● Pesado ● Selección ● Clasificación ● Lavado ● Pelado ● Troceado ● Despulpado ● Puré ● Escaldado ● Enfriado ● Conservación ● Empaquetado ● Almacenamiento ● Comercialización 	<ul style="list-style-type: none"> → Pulpa → Residuos <ul style="list-style-type: none"> ● Orgánicos (Semillas, cáscaras, restos de fruta) ● Aprovechables (Plástico, cartón, papel) ● RAEE (maquinaria descompuesta) ● Aguas residuales ● Emisiones de gases

En cuanto al diagrama en bloque de la Finca La Máquina (tabla 8) para el sistema del cultivo de plátano se tienen como entradas la materia prima que son los colinos y agua, insumos como fertilizantes, bolsas y abono y el personal encargado de operar en los procesos de siembra donde la planta da frutos entre 12 a 14 meses el cual es embolsado con la finalidad de generar una barrera de protección evitando que se contaminen o sean consumidos por la fauna; después de esto se fertiliza, se hace limpieza del suelo y se abona, adicional se hace el deshojado de la planta, fumigación y la cosecha del fruto cada 15 días para su comercialización en el mercado local o el uso de los mismos en procesos de la empresa Dos Molinos, para esto se hace la clasificación del fruto que según la Norma Técnica Colombiana es de calidad extra cuando los plátanos están formados, tienen un grado de $\frac{3}{4}$ lleno, presentan coloración uniforme según su grado de madurez y péndulo bien cortado (no puede ser arrancado ni retorcidos), de primera cuando el fruto está bien formado y no presenta manchas entre las aristas; si es de segunda puede presentar daños superficiales pero no presentar manchas en más de una tercera parte de su superficie total y de muestra cuando los plátanos de cualquier variedad no cumplan con los requisitos de las calidades

anteriores o que son muy pequeños, totalmente deformes, quebrados, y que presenten daños biológicos apreciables (NTC 1109, 1976).

De estos procesos resultan salidas tales como las bolsas los cuales son residuos sólidos reciclables, envases que competen a insumos químicos usados en el cultivo y los residuos orgánicos aprovechables como el vástago, tallos y hojas los cuales no son involucrados en ningún proceso más que su propia descomposición en el mismo suelo del cultivo.

Tabla 8. *Matriz de entradas, procesos y salidas Finca la Máquina. Autor (2022).*

Finca la Máquina		
Entradas	Procesos	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> → Insumos <ul style="list-style-type: none"> - Fertilizante - Bolsas - Abono → Materia prima <ul style="list-style-type: none"> - Colino - Agua 	<ul style="list-style-type: none"> ● Siembra ● Embolsado ● Fertilización ● Limpieza ● Abonado ● Deshojado ● Fumigación ● Cosecha ● Venta 	<ul style="list-style-type: none"> → Residuos <ul style="list-style-type: none"> ● Orgánicos (Vástago, tallos y hojas) ● Bolsas ● Envases → Emisiones de gases → Producto <ul style="list-style-type: none"> ● Extra ● Primera ● Segunda ● Muestra

11.1.2 Caracterización y cuantificación

La caracterización y cuantificación de los residuos orgánicos obtenidos en el cierre de ciclo de materiales de las empresas se llevó a cabo a partir de la metodología del cuadrante o cuarteo expuesta por Alayón, 2020 la cual originalmente está diseñada para la cuantificación de todo tipo de residuos sólidos clasificándolos según su material aprovechable, no aprovechable u orgánico; sin embargo para este trabajo investigativo se acopló la metodología a la caracterización y cuantificación únicamente de residuos orgánicos la cual será explicada paso a paso a continuación.

Inicialmente se hizo la acumulación de los residuos por cada una de las empresas durante siete días calendario correspondientes a los días del 5 al 11 de diciembre del 2021, teniendo como evidencia la figura 6.



Figura 6. Acumulación de residuos orgánicos empresas Pulpoza y Dos Molinos. Autor (2022).

Una vez acumulados los residuos se hace el pesaje de los mismos obteniendo como resultados los datos expresados en la tabla 9 donde evidentemente la empresa con la cantidad de residuos más representativa es la Finca “La Máquina” ya que allí es donde se hace la cosecha del plátano. Cadavid et all (2011) plantean que cerca del 95% de los residuos orgánicos que se generan en un cultivo de plátano no son aprovechados ya que la meta fundamental de un cultivador es la producción y comercialización del fruto, por lo que después de cumplida la función los residuos restantes como el vástago, tallos y hojas los destinan como abono para la cosecha por medio de su descomposición.

Tabla 9. Total de residuos orgánicos acumulados semanalmente por empresa.

Empresa	Total (kg) de residuos acumulados
Dos Molinos	105,23
Pulpoza	320
Finca La Máquina	98.400

Fuente. Autor (2022).

En la figura 7 se muestra en comparación con los datos presentados en la tabla anterior la proyección de generación de residuos para un año de 52 semanas, es importante mencionar que la generación de residuos para la finca se calculó a 26 semanas debido a que la cosecha de plátano se hace únicamente cada 15 días. De esto es posible analizar que por más que la generación se reduzca a la mitad del tiempo el material resultante de la cosecha de plátano es altamente representativa, además que se estima que este es el valor de residuos que se disponen directamente en el suelo del cultivo sin ningún tipo de tratamiento previo.

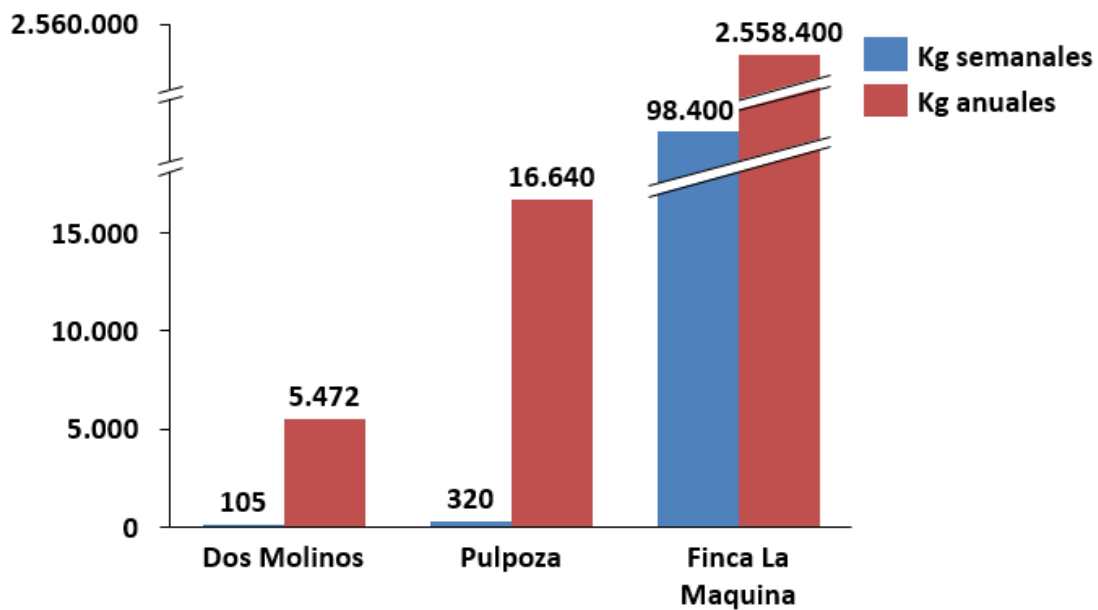


Figura 7. Comparación generación de residuos semanal y proyección anual por empresa. Autor (2022).

Una vez completa la fase de acumulación y pesaje se pasó a extender dentro de los cuatro cuadrantes del círculo formado como se muestra en la figura 8 los residuos de manera homogénea y se seleccionaron dos opuestos, en este caso el cuadrante I y III.

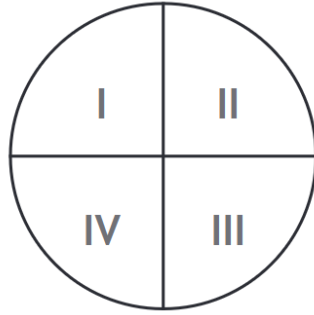


Figura 8. Cuarteo de residuos sólidos. Alayón (2020).

Es así como por cada uno de los cuadrantes seleccionados se comenzó a hacer la caracterización de los residuos. Aquí es donde se hizo el acoplo de la metodología puesto que normalmente la clasificación de los residuos se hace según la naturaleza del materiales como plástico, papel, cartón vidrio, etc; no obstante como para el caso de estudio solo se hizo la acumulación de residuos orgánicos se clasificaron en 8 variables: pseudotallo, tronco e hojas de plátano, verduras, tubérculos, cascaras de huevo, frutas cítricas, no cítricas y otros, dentro de esta última tienen cabida todos aquellos residuos que por su tamaño reducido o deterioro de sus características físicas resultaban difíciles de clasificar. Cabe resaltar que se hizo esta clasificación con la finalidad de identificar cuáles eran los residuos que más se están generando y según sus características cuales son las alternativas más viables para proponer. Por ejemplo, las cáscaras y otros residuos cítricos son utilizados para la elaboración de compostaje, pero en una pequeña proporción ya que su tiempo de descomposición es más largo y a su vez pueden acidificar el compostaje (De la Cruz, A. 2017).

En la construcción de la tabla 10 aparte del pesaje de cada material por cuadrante fue necesario implementar la siguiente ecuación para calcular el porcentaje de presencia de cada material por cuadrante

$$\text{Porcentaje (\%)} = \frac{\text{kg por tipo de residuo} \times 100}{\text{kg total de residuos}}$$

Ecuación 1. Porcentaje cuadrantes.

Para posteriormente aplicar la fórmula 2 mediante la cual se halla el porcentaje promedio y así obtener los resultados expuestos.

$$\text{Porcentaje promedio (\%)} = \frac{\text{Porcentaje CI} + \text{Porcentaje CIII}}{2}$$

Ecuación 2. Porcentaje promedio.

Tabla 10. Caracterización de residuos generados semanalmente en las empresas.

Bolsa	Naturaleza del material	Peso (Kg)		Porcentaje (%)		Porcentaje Promedio
		Cuadrante I	Cuadrante III	Cuadrante I	Cuadrante III	
1	Vástago	26.496	19.584	97,64	95,65	97,14
2	Pseudotallo y hojas de plátano	545,4	576	2,00	2,84	2,42
3	Verduras	23,34	11,8	0,09	0,06	0,07
4	Tubérculos	10,2	11,75	0,04	0,06	0,05
5	Cascaras de huevo	16,73	34,9	0,06	0,17	0,12
6	Frutas cítricas	16,69	14,35	0,06	0,07	0,07
7	Frutas no cítricas	6,62	10,66	0,02	0,05	0,04
8	Otros	25,68	19,15	0,09	0,09	0,09
Total		27.137,66	20.262,61	100	100	100

Fuente. Autor (2022).

En base a los resultados se construyó la figura 9 donde es posible evidenciar que los residuos de mayor porcentaje de generación son los correspondientes a la cosecha de plátano; es decir, el vástago, pseudotallo y hojas debido a que estos representan el 99,56% respecto al total, esto se debe principalmente a que según el cálculo, por cosecha se generan 1 kilo de vástago por planta y 40 kilos correspondientes al tronco y hojas; es decir alrededor de 41 kilos por planta multiplicado por las 2.700 sembradas en la Finca La Máquina. Respecto al 0,44% restante que corresponde al material generado por el cierre de ciclos de las empresas Pulpoza y Dos Molinos pueden no ser altamente representativos; sin embargo, no son despreciables. Cabe resaltar que dentro de los días que no se hace cosecha estos se duplican ya que este proceso se hace cada 15 días y la recolección solo se hizo durante siete días como se puede evidenciar en la proyección anual de generación de residuos.

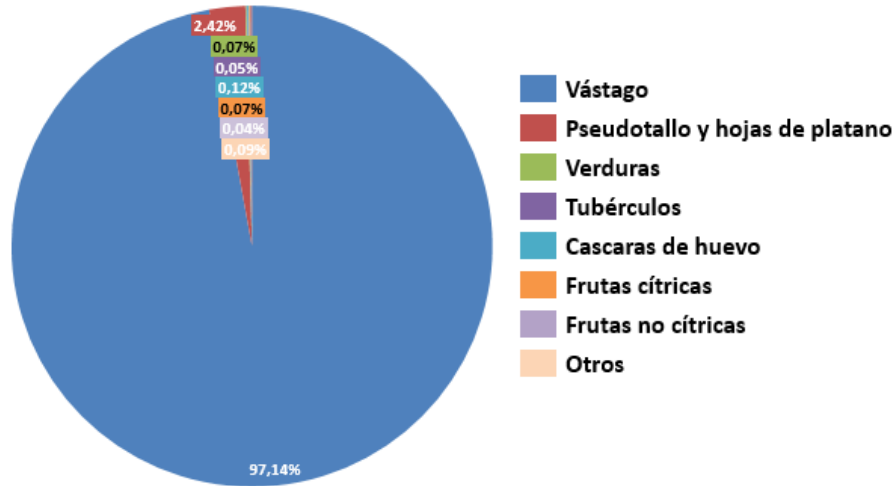


Figura 9. Porcentaje promedio de generación de residuos orgánicos. Autor (2022).

11.1.3 Flujo de corrientes

En la figura 10 se muestra el actual flujo de corrientes de materiales resultantes del cierre de ciclos de las empresas en cuestión. Como se mencionó, la problemática que se busca resarcir está basado en el hecho de que las empresas Dos Molinos y Pulpoza están destinando el total de 425,23kg de residuos orgánicos a la semana para su esparcimiento en el suelo del cultivo de plátano en la finca “La Máquina” sin pasar antes por un proceso de aprovechamiento lo que desata problemáticas en relación a la salud ambiental.



Figura 10. Flujo actual de corriente de materiales. Autor (2022).

Por otro lado, en la figura 11 se puede observar el flujo de corrientes cruzadas al que se espera llegar con el desarrollo del proyecto de manera que los residuos generados por cada una de las empresas se reincorporen al sistema productivo cumpliendo con el enfoque de simbiosis industrial, de manera que mediante el aprovechamiento de los residuos generados por las tres empresas estos cumplan un ciclo de economía circular donde además se produzcan productos como es el plátano sembrado en la finca que puede ser usado para la elaboración de diferentes platos en el café restaurante Dos Molinos, cabe resaltar que el material de las corrientes que se observan en la figura son aquellos que fueron resaltados de color verde en el apartado 11.1.1 correspondiente al ecobalance.

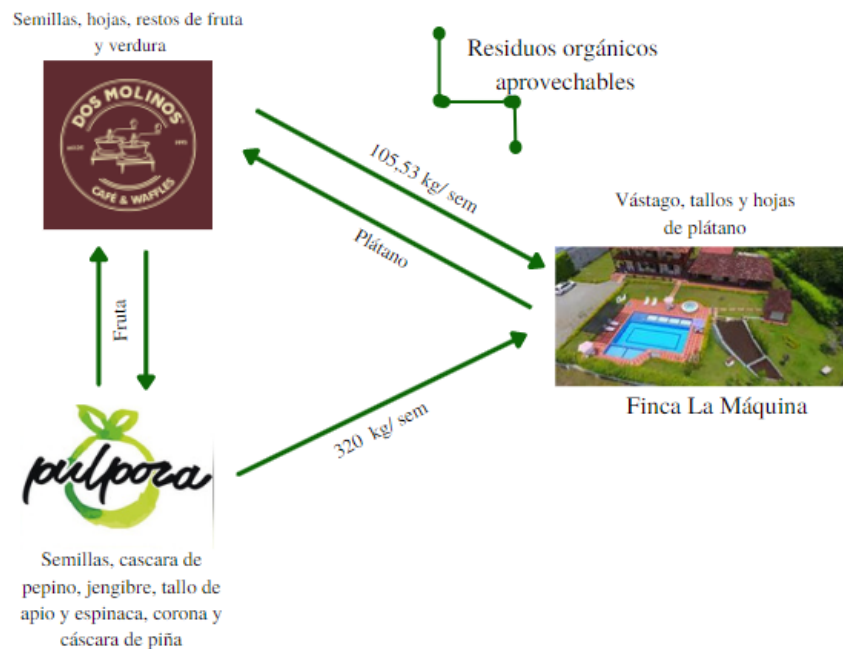


Figura 11. Flujo de corriente de materiales cruzados. Autor (2022).

11. 2 Objetivo 2: Definir y priorizar alternativas de economía circular para su implementación en el proceso de cierre de ciclo de materiales orgánicos de las empresas.

11.2.1 Revisión bibliográfica de alternativas

- **Biodigestores**

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es un sistema cerrado herméticamente dentro del cual se deposita biomasa como excremento, desechos vegetales, entre otros residuos orgánicos en una determinada dilución de agua para que, a través de la fermentación anaeróbica, la cual es un tratamiento microbiológico en ausencia de oxígeno se de la producción de gas metano y fertilizantes

orgánicos ricos en nitrógeno, fosforó y potasio denominados como biogás y biol respectivamente (Vélez et all, 1997; Sainz, 2020).

El proceso anaeróbico ocurre en cuatro etapas (Guevara, 1996; Gonzales, 2014):

A. Hidrólisis: Se da la degradación de compuestos orgánicos complejos como lípidos, proteínas, hidratos de carbono y compuestos inorgánicos por acción de enzimas hidrolíticas en compuestos solubles más simples como azúcares, aminoácidos y grasas.

B. Acidogénesis: Los compuestos resultantes de la etapa anterior pasan a ser transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono principalmente y en menor cantidad en alcoholes, ácidos grasos volátiles y ácidos orgánicos por acción de bacterias acidogénicas. Para este momento el material en cuestión se encuentra en zona ácida; es decir que el valor de su pH oscila entre 5.1 y 6.8.

C. Acetanogénesis: Bacterias acetogénicas oxidan los compuestos generados en la etapa anterior convirtiéndolos en acético e hidrógeno y en pequeña cantidad dióxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno, bicarbonatos y compuestos amoniacales. El pH en esta etapa aumenta a valores ácidos entre 6.6 y 6.8 y se caracteriza por la presencia de mal olor por la generación de ácido sulfhídrico.

D. Metanogénesis: Durante esta etapa se presenta la interacción de dos tipos de microorganismos; los metanógenos acetoclásicos encargados de la degradación del ácido acético hasta compuestos como metano y dióxido de carbono y los metanógenos hidrogenotróficos encargados del hidrógeno y dióxido de carbono convirtiéndolos en metano y agua. Finalizando esta transformación de compuestos el pH se encuentra en una zona alcalina comprendida entre valor de 6.9 y 7.4.

En la figura 12 se muestra en resumen las etapas por las que pasan los residuos orgánicos en la digestión anaeróbica, los compuestos químicos que intervienen en cada una de ellas y los microorganismos responsables de la degradación de los mismos (Hilbert, 2003).

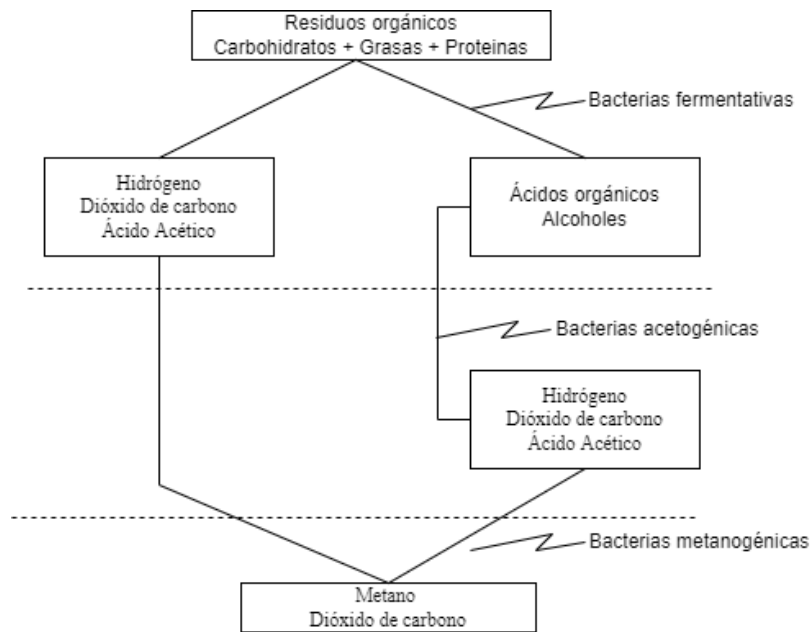


Figura 12. *Síntesis de las etapas presentes en la digestión anaeróbica.* Hilbert (2003).

Existen tres grupos de digestores, los primeros son los digestores discontinuos o también llamados de primera generación los cuales están diseñados para tratar residuos orgánicos con alto contenido en sólidos lo que lleva a que los periodos de tiempo hidráulico entre 30 a 60 días (Álvarez, 2013; Vargas, 2018), dentro de este grupo se encuentran digestores chinos e hindú recibiendo este nombre por su aparición en estos países y por otro lado están los digestores continuos o de segunda generación los cuales se dividen en varios tres tipos, de mezcla completa los cuales constituyen un tratamiento para todo tipo de residuos orgánicos semi-sólidos, se caracteriza por la eliminación periódica de la biomasa a medida que lo hace el residuo orgánico digerido y no permite una alta concentración de bacterias por lo que la producción de biogás por unidad de volumen del digestor es reducida, también se encuentran los de flujo- pistón basado en el tratamiento de residuos con elevada materia en suspensión, el de contacto de reciclado de lodos en los cuales se hace una decantación de la biomasa arrastrada por el efluente con alta concentración microbiana lo que disminuye el tiempo de retención y finalmente los digestores de tercera generación los cuales tienen como objetivo en común aumentar la concentración de biomasa activa para de manera proporcional aumentar el rendimiento energético por unidad de volumen de digestor, entre estos se encuentra el filtro anaerobio y de película fija que permiten altas sobrecargas sin disminuir su eficiencia más no procesan correctamente sólidos en suspensión, lechos de lodos floculado o granulado y lechos fluidizados o expandidos que presenta una alta eficiencia frente a los otros tipos de digestores por la tecnología que usa (Álvarez, 2013).

Por otro lado y como se mencionó en un primer momento, los productos obtenidos de los biodigestores son dos, primero se obtiene el biogás el cual se define como una mezcla de gases que se pueden evidenciar en la tabla 11 con su respectivo porcentaje de concentración en el producto que además tienen por característica principal la combustión lo que los hace de potencial uso para fines domésticos e industriales, como lo demuestra el estudio realizado por Ávila, et al (2017) donde en la Escuela de Agro negocios en el Tecnológico de Costa Rica se instalaron cuatro biodigestores los cuales fueron alimentados con alrededor de 229,16 kg diarios de residuos sólidos biodegradables generados en el restaurante institucional para la producción de biogás obteniendo como resultado una relación C/N de 14:1 que aunque es baja era la esperada para los tipos de residuos utilizados, además de un porcentaje superior al 50% de materia orgánica llevándolos a la conclusión de que mediante el tratamiento local de residuos biodegradables a partir de la digestión anaerobia se pueden mitigar problemáticas ambientales tales como ampliar la vida útil de los rellenos sanitarios, reducir la contaminación de cuerpos hídricos por mala disposición de los residuos o por infiltración de lixiviados, disminuir las emisiones de CO_2 , además de generar beneficios económicos como el aprovechamiento de biogás como fuente de energía renovable.

Tabla 11. *Composición típica del biogás.*

Gas	Concentración
Metano (CH_4)	55-70%
Dióxido de carbon (CO_4)	30-45%
Hidrógeno (H)	1-3%
Nitrógeno (N)	0,5-3%
Ácido sulfhídrico (H_4S)	0,1-0,2%
Trazas de vapor	-

Fuente: Deublein & Steinhauser (2008); FAO (2011).

En segundo lugar, como subproducto del proceso de descomposición anaerobia a los que están expuestos los residuos orgánicos dentro del biodigestor se obtiene el biol el cual es un abono foliar natural o biofertilizante líquido que dentro de la agricultura es utilizado para estimular el desarrollo de las plantas desde el enraizamiento, incremento de biomasa, floración hasta poder germinativo de las semillas debido a su fuente orgánica de fitorreguladores (Siura, et all. 2009). La composición del

biol comprende un 85% de materia orgánica, de 2 a 3% de nitrógeno, 1 a 2% de fósforo y 1% de potasio (Castro, et al. 2019), adicionalmente presenta una relación C/N (carbono/ nitrógeno) de 25 a 30, agua/ materia seca igual a 10, temperatura óptima de 25 – 35°C y un pH alrededor de 7.0, características que hacen de este abono un producto ideal para incrementar la cantidad y calidad de una cosecha (Chacón, 2011).

Como se menciona, el biol favorece diferentes aspectos dentro de un cultivo, es por esta razón que del mismo modo se clasifican los tipos de abono; el biol biocida es utilizado comúnmente para el control de plagas y enfermedades, también está el biol para suelo y hojas el cual cumple la función de nutrir la planta y a su vez reponer los nutrientes del suelo y el abono foliar el cual es el mayormente utilizado por agricultores debido a que este nutre directamente a la planta por las hojas, cuenta con mayor número de macro y micronutrientes, acelera el crecimiento de la planta y mejora e incrementa el rendimiento de la misma (Chacón, 2011; Toalombo, 2013). Un claro ejemplo de lo anteriormente mencionado se evidencia en el estudio realizado por Barrera, et all (2011) en San Juan de Urabá-Antioquia donde se evaluó el efecto del abono orgánico (biol) sobre el crecimiento y producción de plátano donde evidenciaron que el uso de los mismos influyó de manera significativa las variables de crecimiento y desarrollo del racimo aumentando el peso y grosor del mismo por lo que se puede decir que esta alternativa es considerada como una de las más viables para su implementación en las empresas del caso de estudio, cabe resaltar que tanto el biogás como el biol pueden ser productor de manera independiente o conjunta basados en las necesidades de las empresas.

- **Fibra natural**

Las fibras naturales son materiales filamentosos de origen biológico con características químicas, físicas y mecánicas que les confieren cualidades en su aspecto, textura, longitud, resistencia y flexibilidad ideales para su uso en diferentes aspectos. Existen dos fuentes de fibra natural, el animal y la vegetal, esta última es un conjunto de células de alta resistencia mecánica cuyo principal compuesto es la lignina y la celulosa, directamente asociadas a la función de sostén de la planta (Rendón & Neyra, 2020).

Existen una gran variedad de fibras naturales y formas de clasificarlas, una de estas hace referencia al lugar de procedencia; es decir, se denominan fibras largas (duras o blandas) cuando provienen del

sistema vascular de las hojas y del tallo de la planta. Las fibras cortas provienen de semillas y frutos y las fibras misceláneas provienen de otras regiones de la planta (Gómez, et all. 1998). Actualmente se utilizan una gran variedad de fibras naturales para la fabricación de papel, artesanías y madera; no obstante la gran mayoría de estas fibras son obtenidas de procesos que contribuyen a la tala de árboles y por ende la destrucción de los bosques (Mannise, 2016); ya que poseen algunas características a nivel productivo y económico como la fácil adquisición, el bajo costo de procesamiento y características físicas y químicas que los hace un material ideal para la fabricación de subproductos (Gaitán, et al. 2016).

Es por esta razón que los desechos agroindustriales pueden transformarse en materia prima ideal para prácticas como la fabricación de papel mitigando a su vez diversas problemáticas ambientales; en primer lugar y en base al caso de estudio se estaría dando una correcta gestión de los residuos con enfoque de economía circular y simbiosis industrial, pero a su vez se estaría reduciendo el impacto ambiental negativo ocasionado por la producción de papel industrial; actividad que ha incrementado la tala de árboles, la contaminación del agua y ha reducido la sostenibilidad de los ecosistemas (Reyes, et al. 2021).

El papel es un material con estructura porosa constituido por fibras bien sea de origen vegetal o sintético entrelazadas entre sí y es fabricado a partir de una pasta acuosa que es pasada a través de una malla y posteriormente es secada de forma sucesiva hasta obtener el producto final. La Cámara Argentina del Papel y Afines (CAPA) clasifica el papel en cuatro (4) grandes grupos: Gráficos, donde se encuentra el papel prensa para periódicos, para la edición de libros, folios, sobres, carpetas y cuadernos, para Envases y Embalajes como cartón ondulado, estucado, bolsas y sacos, Higiénicos y sanitarios y Especiales, donde se agrupan papeles de seguridad, filtro, decorativo, autoadhesivo y metalizado (CAPA, 2017). Debido a la materia orgánica generada en el caso de estudio, el papel de fabricación sería el gráfico.

La fibra natural más utilizada como refuerzo es la fibra dura ya que posee características de resistencia a la tracción y la versatilidad, uno de los ejemplos más comunes es las hojas de la piña (Espín Cárdenas & Tello Manosalvas, 2015). Según un análisis hecho por Araya en 1998 los residuos de la industrialización de la piña constituyen hasta el 65% del fruto repartidos en la corona, el corazón, la

cáscara y el rastrojo correspondiente al material vegetal de la planta es desechado en su totalidad después del ciclo comercial. Dicho análisis se soporta en base al caso de estudio de este proyecto donde para la empresa Pulpoza como se mencionó en el análisis de la tabla 7 el residuo más generado son los resultantes del procesamiento de la piña.

Por otro lado, estudios como el de Reyes, et al (2021) demuestran que el papel artesanal hecho a base de fibra de plátano posee propiedades que lo hacen viable para su uso en actividades como pintura, escritura e impresión. También mencionan que la dentro de la fabricación de papel artesanal se disminuye el uso de aditivos químicos eliminando la persistencia de sustancias tóxicas, evitando así la contaminación de fuentes hídricas.

- **Bioetanol**

El etanol o alcohol etílico es una especie química con alta demanda debido a su variedad de posibles usos, la producción de este compuesto tiene dos rutas, la sintética y la biológica. La producción sintética se lleva a cabo a través de una reacción catalítica de hidratación de etileno en estado de vapor, este producto es mayormente usado como solvente y reactivo químico (Cortínez, 2010) mientras que el etanol producido de manera biológica se hace pasando a través de un proceso de fermentación y son usados mayormente como combustible, solvente industrial, reactivo químico y sometido a otros procesos como bebidas (Purwadi, 2006).

La producción de etanol o bioetanol a partir de material orgánico es un proceso misceláneo; es decir un proceso formado por varios elementos que pasan por cinco (5) etapas: Preparación de la materia prima, hidrólisis, fermentación alcohólica, recuperación de etanol y tratamiento de efluentes (Llengue, et al 2020). En Colombia, cifras del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo sostenible indican que el 65% de los residuos generados son orgánicos, cifra que se asemeja a la brindada por ACODAL (2021) donde el 53% de los residuos generados en el departamento son orgánicos; es decir que tienen un gran potencial de aprovechamiento para la producción de bioetanol de tercera generación a partir de biomasa, compuesta por dos polímeros de carbohidratos, celulosa (35-50%), hemicelulosa (15-25%), un polímero fenólico y lignina (20-25%) (Olsson & Hahn-Hiigerdl, 1996); en síntesis el bioetanol de tercera generación se puede obtener a partir de jarabes

glucosas productor en la hidrólisis de residuos lignocelulósicos el cual tiene como principal fuente las cáscaras de frutas, residuo que en su mayoría es desvalorizado (Tejeda, et al. 2015).

Como bien se demostró en el apartado 11.1.1 y 11.1.2 los residuos orgánicos de mayor generación corresponden a los resultantes del proceso de cosecha de plátano y despulpe de frutas y verduras, de este último proceso los residuos con mayor incidencia de generación corresponden a la cáscara y corona de la piña. En estudios como el de Tejeda, et al (2015) se demuestra que a partir de la cáscara de piña es posible obtener bioetanol, además también se puede obtener metanol el cual sirve como anticongelante para vehículos, combustible, disolvente de tinta, etc o como el estudio de Gebregergs, et al (2016) que demostró que residuos de la cosecha de plátano es un insumo ideal para la producción de etanol obteniendo parámetros óptimos como el 1,50% v/v de concentración de ácido, temperatura de 91,02°C y 21,66 min de tiempo de retención lo que indica una probabilidad del 99% de confianza en la producción de al menos 45,088% de etanol aplicando el modelo de regresión polinomial garantizando un alto porcentaje de aprovechamiento de los residuos orgánicos y convirtiéndolo en un producto mediante el cual se pueda hacer un recaudo económico bien sea utilizándolo para las mismas empresas en cuestión o vendiendo el producto.

- **Compostaje**

La obtención de abonos orgánicos como subproducto del compostaje constituye una práctica importante para el reciclaje y el aprovechamiento de algunos residuos orgánicos, y su importancia a nivel agroindustrial recae en su capacidad de recuperar los suelos, fijar el carbono, mejorar la absorción de agua, entre otras. En la fertilización orgánica son válidas todas las fuentes de nutrientes sea excremento de ganado, desperdicios vegetales u otros materiales orgánicos; no obstante cada uno de estos tienen que pasar por un proceso específico según el origen del material y tener una transformación dentro del compostaje o fermentación antes de su aplicación en el suelo (Orozco, M. J. 2017) ofreciendo así las condiciones ambientales ideales para la salud y productividad de un cultivo; como lo soporta un estudio realizado por Damian Suclupe, M. J. et al en 2018 donde la muestra empleada fue un cultivo de arroz al cual se le aplicaron dos tratamientos, el primero fue agregar a una enmienda orgánica (humus de lombriz y compost) y el segundo la adición de agroquímicos, el resultado que se obtuvo fue que para el tratamiento 1 la cosecha de arroz tuvo un rendimiento de 4.795,20 kg, superando al tratamiento 2 que tuvo un rendimiento de 3.124 kg.

Un nivel de fertilidad adecuado del suelo está determinado por factores como materia orgánica, biomasa microbiana, textura, estructura, profundidad, plasticidad, capacidad de drenaje, almacenamiento de agua, retención de nutrientes y ausencia de los elementos tóxicos (López, M. 2010); sin embargo cuando uno de estos factores se ve afectado de forma negativa el suelo comienza un proceso de degradación que a largo plazo puede llegar al punto de erosión y/o desertización, situación que se busca prevenir en la finca “La Máquina”.

En la actualidad, la valorización de los residuos se ha convertido en una gran oportunidad de negocio y una de las áreas de investigación más importantes; el vertedero convencional, la incineración, el compostaje y las diferentes formas de manipular los desechos sólidos han llevado al avance tecnológico y por ende crecimiento económico (Abdel-Shafy, et al. 2018). En el caso de la producción de compostaje se valora en base al dinero que se recupera de la venta de abono orgánico, por la entrada de los mismos residuos e incluso por su efecto sobre el entorno. La gestión de la mayoría de residuos orgánicos puede plantearse a través de su utilización en suelos de distintos tipos y usos, pero estableciendo cómo elegir los que pueden ser aplicados directamente o los que deben tratarse previamente (Rueda, et al. 2015). De lo contrario, se producirá un deterioro lento pero continuo de la calidad del recurso suelo con todas las consecuencias que se derivan de esto. De aquí la necesidad de recordar los fundamentos del compostaje para ver la oportunidad actual de aplicarlo, determinar los factores que influyen, los aspectos técnicos de su desarrollo y control, así como la influencia de todo ello en el rendimiento, en las emisiones y en la calidad, manejo y aplicación del compost.

En relación con lo anteriormente mencionado resulta relevante mencionar que el compostaje se define como un proceso biológico que ocurre en condiciones aeróbicas en donde se debe tener un especial control de humedad y temperatura para garantizar un buen abono; sin embargo, para que esto ocurra el compost debe pasar por cuatro fases primordiales (Román, et al. 2013.; Paraschiv et al., 2017).

A. Fase Mesófila: Dura entre dos y ocho días y consiste en que la materia orgánica inicia su proceso de compostaje a temperatura ambiente y a las horas o incluso días aumenta su temperatura hasta los 45°C, esto debido a la actividad microbiana en la cual la principal fuente de alimento de los organismos presentes es el carbono (C) y el nitrógeno (N). Dentro de esta fase

es posible que compuestos como azúcares produzcan ácidos orgánicos lo que provoca el descenso del pH.

B. Fase termófila: Esta fase puede durar desde unas semanas hasta meses, inicia cuando las temperaturas suben a más de 45°C y los microorganismos mesófilos son reemplazados en su mayoría por bacterias termófilas que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de carbono como la celulosa y la lignina, además actúan transformando el nitrógeno en amoníaco aumentando el pH. Esta también recibe el nombre de higienización ya que el cloro generado dentro del proceso destruye bacterias y contaminantes de origen fecal, adicionalmente a temperaturas por encima de los 55°C se eliminan los quistes, huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de maleza.

C. Fase Mesófila II: Una vez agotadas las fuentes de carbono y nitrógeno dentro del compostaje, la temperatura desciende a 40-45°C; no obstante, continúa la degradación de polímeros como la celulosa. A estas temperaturas los organismos mesófilos reinician su proceso y el pH desciende, aunque generalmente permanece alcalino.

D. Fase de maduración: La temperatura del compost pasa nuevamente a temperatura ambiente, esta fase dura alrededor de unos meses durante los cuales se producen reacciones de condensación y polimerización de compuestos carbonados dando paso a la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

Cabe resaltar además que existen tres tipos generales de compostaje los cuales son compostaje en pilas estática en donde la estructura utilizada es hueca con el fin de en su interior almacenar todos los residuos orgánicos y comúnmente se ubica de manera vertical, adicionalmente cuenta con una tapa y se adiciona material seco bien sea hojas o aserrín para mantener controlada la humedad del compostaje; como su nombre lo indica en ninguna parte del proceso la pila se mueve. Por otro lado, tenemos las pilas estáticas aireadas donde su proceso es igual que el anteriormente expuesto con la diferencia que cuenta bien sea con tuberías de aire o agujeros que permitan el control de la temperatura y la humedad; finalmente el tercer tipo de compostaje es por medio de pilas de volteo las cuales son mayormente usadas en el sector agrícola y consiste en girar la estructura de forma manual o mecánica con el fin de oxigenar el compostaje, adicionalmente a futuro ayuda que el compost no se compacte y sea más fácil de manipular (Twenergy, 2020).

Aunque no han sido muchos los estudios publicados que analicen de forma holística el factor económico, social y ambiental del compostaje, pero sí algunos que se han trabajado ya sea de forma cualitativa o cuantitativa como el de Jackson et al. (2004) el cual presenta un análisis económico y estadístico desde los cambios en la productividad que logra generar el uso del compostaje sobre diferentes cultivos de fresas en California, Estados Unidos. A nivel nacional se encuentra un trabajo investigativo muy interesante de Oviedo et al publicado en 2017 donde afirman que el compostaje es una de los procesos más empleados para el aprovechamiento de los bioresiduos; sin embargo su implementación en países en vía de desarrollo como Colombia no ha sido efectiva debido a la limitada investigación existente y la falta de cultura ambiental donde estudios como el de Marmolejo et al (2010-2011) soportan que al tener una cultura ambiental desarrollada dentro de la sociedad podría ser un factor benéfico para este tipo de procesos ya que el compostaje de sustratos separados en la fuente presentan menor tiempo de transformación para la materia orgánica que los que son separados en las plantas y facilitó la obtención de un producto con mayor contenido de carbono orgánico total, haciendo válida la hipótesis planteada por Hargreaves et al. en 2008 y soportada por López et al. en 2010 sobre que una de las condiciones críticas que determinan la calidad del compost, potencia su uso y su comercialización es la presencia de contaminantes; “un compost de calidad no se logra si los sustratos contienen impurezas o componentes indeseables, como metales pesados o compuestos orgánicos persistentes”.

10.2.2 Priorización de alternativas

Basados en la revisión bibliográfica de las alternativas anteriormente expuestas, se realizó la priorización de las mismas con ayuda de la matriz planteada por el Centro Nacional de Producción Más Limpia expuesta en la tabla 12 y donde como se mencionó en la metodología, intervienen diferentes factores que permiten darle una priorización alta, media o baja a la alternativa propuesta.

Tabla 12. Matriz de priorización de alternativas propuestas.

MATRIZ DE PRIORIZACIÓN



Análisis de oportunidades de circularidad		C1. Nivel de circularidad- FP 40%				C2. Nivel de relacionamiento FP 25%				C3. Factibilidad de implementación- FP				C4. Impacto sobre la sostenibilidad- FP 10%						PUNTAJE TOTAL DE LA OPORTUNIDAD	PRIORIZACION		
		Impacto en indicadores de		Calificación	Relacionamiento		Calificación	Evaluación factibilidad		Calificación	Impacto Economico		Impacto Social		Impacto Ambiental		Calificación						
		Afecta la Circularidad	Potencial de replica o escalamiento		Nivel de relacionamiento con actores	Impacto sobre los actores		Costo de implementación para la empresa	Capacidades técnicas y tecnológicas		Ingresos	Ahorros	Nuevos empleos	Generación de capacidades	Eficiencia de recursos	Ahorro de energía							
N°	Oportunidad	Califique con 1 si la oportunidad NO aumenta el Índice de Circularidad de Materiales Califique con 3 si la oportunidad SI aumenta el Índice de Circularidad de Materiales	Califique con 1 si la oportunidad tiene un potencial de réplica bajo Califique con 2 si la oportunidad tiene un potencial de réplica medio Califique con 3 si la oportunidad tiene un potencial de réplica alto	PROMEDIO C1	PUNTAJE PONDERADO C1	Califique con 1 si la oportunidad impacta mínimo a 1 actor. Califique con 2 si la oportunidad impacta entre 2 o 3 actores Califique con 3 si la oportunidad impacta a 4 actores o más	Califique con 1 si el impacto es bajo Califique con 2 si el impacto es medio Califique con 3 si el impacto es alto	PROMEDIO C2	PUNTAJE PONDERADO C2	Califique con 1 si el costo de implementación es alto (retorno > a 3 años) Califique con 2 si el costo de implementación es medio (retorno > 1y ≤ 3 años) Califique con 3 si el costo de implementación es bajo (retorno ≤ 1 año)	Califique con 1 si el requerimiento de capacidades técnicas y/o tecnológicas es alto Califique con 2 si el requerimiento de capacidades técnicas y/o tecnológicas es medio Califique con 3 si el requerimiento de capacidades técnicas y/o tecnológicas es bajo	PROMEDIO C3	PUNTAJE PONDERADO C3	Califique con 1 si la oportunidad NO genera ingresos nuevos Califique con 2 si la oportunidad genera ingresos leves Califique con 3 si la oportunidad genera ingresos considerables	Califique con 1 si la oportunidad NO genera ahorros Califique con 2 si la oportunidad genera ahorros leves Califique con 3 si la oportunidad genera ahorros considerables	Califique con 1 si la oportunidad NO genera nuevos empleos Califique con 3 si la oportunidad genera nuevos empleos	Califique con 1 si la oportunidad NO fortalece las capacidades de empleados Califique con 3 si la oportunidad SI fortalece las capacidades de empleados	Califique con 1 si con la oportunidad NO optimizo recursos Califique con 2 si con la oportunidad optimizo levemente recursos Califique con 3 si con la oportunidad optimizo considerablemente recursos	Califique con 1 si con la oportunidad NO ahorro energía Califique con 3 si con la oportunidad SI ahorro energía	PROMEDIO C4	PUNTAJE PONDERADO C4		
1	Biol	3,0	3,0	3,0	1,2	3,0	3,0	3,0	0,8	2,0	2,0	2,0	0,5	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,0	2,5	0,3	2,7	Alta
2	Biogás	3,0	3,0	3,0	0,9	3,0	3,0	3,0	0,3	2,0	2,0	2,0	0,6	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,8	0,3	2,0833	Alta
3	Compostaje	3,0	3,0	3,0	0,9	3,0	3,0	3,0	0,3	2,0	2,0	2,0	0,6	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,0	2,7	0,3	2,0667	Alta
4	Bioetanol	3,0	1,0	2,0	0,6	3,0	2,0	2,5	0,3	1,0	1,0	1,0	0,3	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	3,0	2,7	0,3	1,4167	Baja
5	Fibra natural	3,0	2,0	2,5	0,8	3,0	2,0	2,5	0,3	1,0	2,0	1,5	0,5	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	1,0	2,2	0,2	1,6667	Baja
6	Papel	3,0	2,0	2,5	0,8	3,0	2,0	2,5	0,3	1,0	2,0	1,5	0,5	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	1,0	2,2	0,2	1,6667	Baja

Fuente: Colombia Productiva, Centro Nacional de Producción Más Limpia (2020); Autor (2022).

La primera calificación que reciben las alternativas es el nivel de circularidad donde como su nombre lo indica se evalúa la capacidad de recirculación de materiales; es decir, si los materiales si cumplen con un ciclo que soporte la teoría de economía circular desde la extracción de la materia prima, su procesamiento, el diseño del producto o servicio, la fabricación, el uso y el fin de la vida útil del mismo (Quirós, 2020), esta teoría se puede ver expresada de manera gráfica en la figura 13 donde el numeral 6 hace referencia a la extracción de materia prima bioquímica en donde la biomasa pasa por un proceso de conversión para obtener un producto químico o ser utilizado como combustible por medio de la cual se soporta la alternativa de la producción de bioetanol; por otra parte, el numeral 7 hace referencia al proceso de digestión anaeróbica por el que pasa el material orgánico para producir biogás utilizado como fuente de energía y el 8 es el compostaje o biol utilizado para producir un abono que sirva como nutriente para el suelo y la agricultura. De igual manera y aunque no esté de forma explícita, otro tipo de proceso de recircularización es la fabricación de fibra natural de la cual se puede obtener productos como el papel o textiles, es por esta razón que la calificación que obtuvieron todas las alternativas propuestas fue de 3,0 lo que implica que si aumentan el índice de circularidad de materiales.

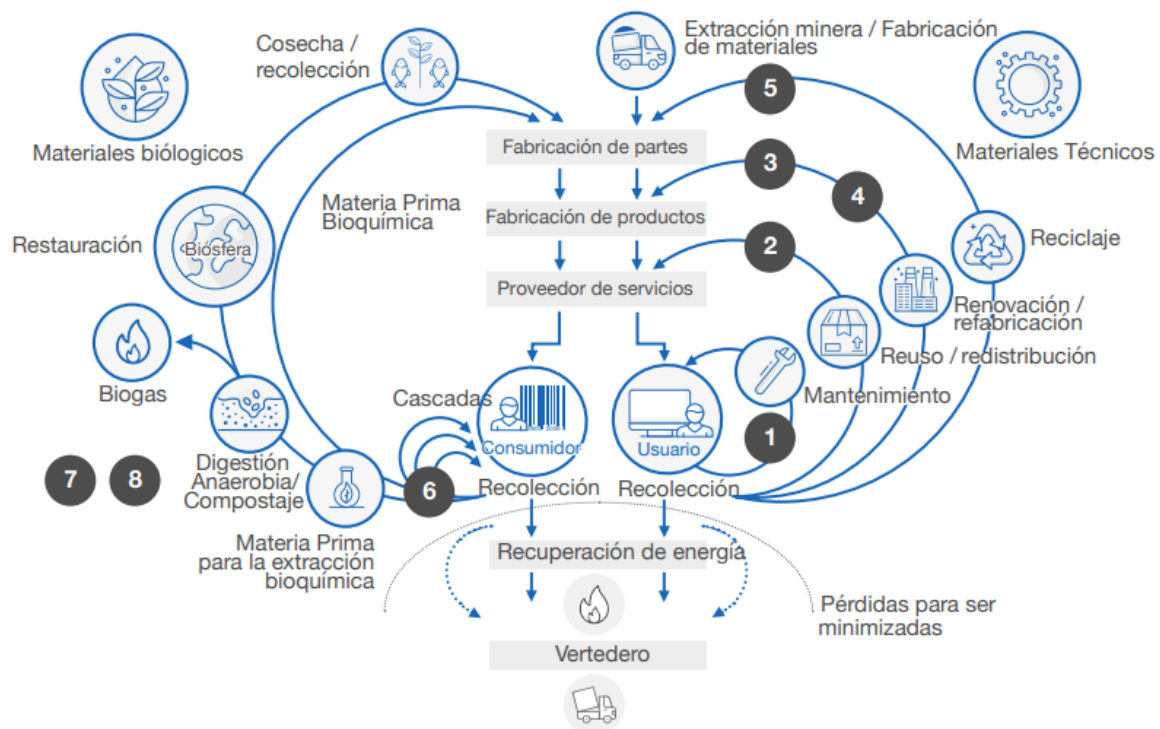


Figura 13. Esquema de Economía Circular. Colombia Productiva (2020).

Esta primera calificación también incluye el potencial de réplica o escalamiento el cual hace referencia a la acción de incrementar la eficiencia del proyecto a medida que crece y reduce el costo por beneficio; para este ítem el biol, el biogás y el compostaje obtuvieron un puntaje de 3,0 lo que indica que estas alternativas si tienen un alto potencial de réplica basados primero en el tiempo estimado de implementación el cual es de 1 a 3 meses, 2 semanas o un mes y de 3 a 4 meses respectivamente, adicional a esto, los costos de inversión y de contratación de personal capacitado es bajo a comparación del bioetanol que recibió una calificación de 1,0 indicando que su potencial de réplica es bajo en vista a que este es un producto que requiere de grandes cantidades de residuos orgánicos como se muestra en la figura 1 extraída del estudio realizado por Fulton et al (2004) donde como valor mínimo por una hectárea cultivada en cebada se obtienen 500 litros de bioetanol y como valor máximo de una hectárea cultivada en caña de azúcar la cual se considera como la materia prima predilecta para la fabricación de este producto (Gracida et al. 2014) se obtienen casi 6.000 litros, teniendo en cuenta además la necesidad de mayor inversión, tecnología más especializada, entre otros factores de los que se hablará más adelante. Resulta importante resaltar que, aunque se hizo la búsqueda de la producción de bioetanol a partir de plátano no se encontró mayor información debido a que los estudios se centran principalmente en el procesamiento de la cáscara de banano debido a que este en comparación del plátano es un fruto con mayor porcentaje de almidón, elemento esencial para la elaboración de etanol.

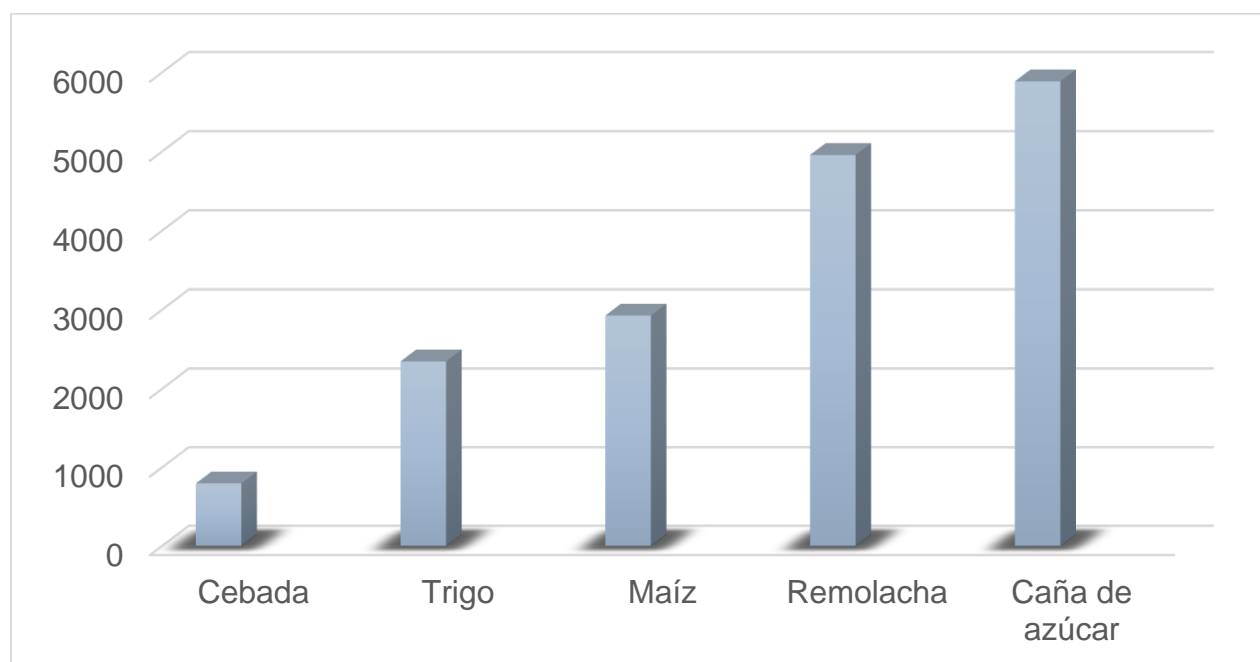


Figura 14. Litros producidos de bioetanol por hectárea de cultivo. Fulton et al. (2004).

En la segunda calificación donde se evalúa el nivel de relacionamiento se tuvieron en cuenta factores como la interacción y beneficio de los actores para la cual todas las alternativas obtuvieron una valoración de 3,0 indicando que tienen la oportunidad de impactar más de tres actores, principalmente la industria en vista a que impacta de manera benéfica a las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca “La Máquina”, a la Universidad el Bosque en virtud de que este trabajo fue desarrollado como requisito de grado para Ingeniería Ambiental donde a su vez permite evaluar la competitividad de quien lo elabora y las capacidades y conocimientos adquiridos a partir de lo enseñado, también a la sociedad puesto que el proyecto fue propuesto con la finalidad de mitigar una problemática ambiental que a mediano y/o largo plazo amenaza con la salud ambiental y en cuestión de simbiosis industrial también se presenta el escenario de que a partir de la ejecución de alguna de estas alternativas se convierta en una oportunidad de negocio que sirva para la comercialización de materia prima a terceras empresas siendo este otro actor involucrado y beneficiado.

La factibilidad de implementación es el tercer parámetro de calificación, en el cual se tuvieron en cuenta factores como el costo de implementación para la empresa el cual se evalúa a partir del periodo de retorno de inversión y las capacidades técnicas y tecnológicas; donde el bioetanol obtuvo una calificación de 1,0 en ambos factores debido a que si bien, este producto resulta una alternativa bastante prometedora por ser una fuente renovable y por lo tanto inagotable y su combustión produce menos niveles de gases de efecto invernadero (entre el 12 y el 26%), también el costo de producción de biocombustibles dobla casi el de la gasolina y el periodo de retorno de inversión supera los 3 años, además para poder utilizarlo se necesita llevar a cabo modificaciones dentro de los motores de manera tal que no se genere un aumento significativo en el consumo del combustible (Cortinez, 2010). Las alternativas de fibra natural y papel también obtuvieron una calificación de 1,0 en el ítem de costos de implementación y 2,0 en capacidades técnicas y tecnología debido a que si bien no son alternativas que requieren tecnologías de punta si necesitan de procesos complejos y además se estima que el periodo de retorno de la inversión es de aproximadamente 4,11 años (Pérez, 2018).

En la tabla 13 se puede observar un análisis económico realizado por Morales, et al (2021) donde se logra evidenciar el costo de materia prima e insumos por cada subproducto que se puede obtener a partir del procesamiento de piña (*Ananas comosus*) en especial los valores correspondientes a la producción de fibra natural y papel. Cabe mencionar que los valores expuestos a continuación están expresados en

moneda boliviana (Bs.) que convertida al precio del dólar hoy da los resultados mostrados al final de la tabla.

Tabla 13. *Costos de aprovechamiento de A. comosus.*

Producto	Cantidad	Costo materia prima e insumos (Bs)	Costos por uso de laboratorio (USD)	Costos por producto (Bs)
Bioetanol	10 ml	0,82	18,5	19,32
Fibra natural	56 g	1,43	18,5	19,32
Mermelada	414, 2 g	3,12	9,3	12,42
Papel	32, 79 g	3,09	9,3	12,39
Total costos (Bs)		7,64	55,6	63,24
Total costos (USD)		1,11	8,08	9,19

Fuente: Morales, et al (2021).

En el caso de los productos generados dentro de un biodigestor (biol y biogás) y el compostaje recibieron una calificación de 2,0 tanto en costos de implementación como en capacidades técnicas en vista de que estas alternativas requieren un control de parámetros bastante riguroso como es el control de pH, acidez, temperatura, etc, con el fin de garantizar la obtención de un subproducto de calidad. Estudios como el de Dueñas et al (2019) muestran que los costos operacionales de un biodigestor que opera en su totalidad con los residuos vegetales generados en una finca ubicada en el municipio de Facatativá tiene un costo mensual de \$293.900 donde se incluyen centros de acopio de material, estructura y montaje del sistema, seguimiento y monitoreo del biodigestor y almacenamiento de biogás, lo que indica al año una inversión de \$3.526.800; sin embargo, dentro del mismo estudio referencian que la compañía Sauter Biogás GMHB establece que un biodigestor con capacidad de tratar un volumen de 720 m³ que procesa 10 t/día generaría aproximadamente 450 m³ de metano al día requiere un costo de inversión de 75.000 USD, es decir \$240.000.000.

En cuanto al compostaje siendo considerada una de las alternativas más fáciles de implementar es necesario tener en cuenta otro tipo de factores aparte de los ya mencionados, según la FAO (2013) se deben analizar: La elección del sistema de compostaje, cantidad y tipo de material orgánico que se va a compostar y la cantidad de compost que será usado dentro de la finca y/o para comercialización. En el Manual de Compostaje del Agricultor (2013) se presenta el balance económico (tabla 14) de una compostera que produce 10 toneladas de compost cada seis meses, proveniente de los desechos de 20

cerdos y 750 kg de cascarilla de arroz. Según eso, la producción de compostaje cuesta 342,8 USD a lo que hoy serían alrededor de un millón trecientos mil pesos (\$1.300.000); cabe resaltar que este valor puede aumentar o disminuir dependiendo de las especificaciones que requiera, por ejemplo, la cascarilla de arroz que es utilizada como el material seco para el control de la humedad puede ser remplazado por cascarilla de café la cual el dueño de la finca “La Máquina” consigue completamente gratis debido a convenios que tiene con caficultores.

Tabla 14. *Balance económico de costos de una planta de compost.*

Detalles	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Recolección (Jornal)	2	14	28
Transporte (Jornal)	2	14	28
Control de parámetros (Jornal)	6	14	84
Pesaje y empaçado (Jornal)	0,5	14	7
Bolsas de polietileno	200	0,1	20
Cascarilla de arroz (kg)	750	0,1	75
Pala	2	5,5	11
Carretilla	1	78,5	78,5
Construcción compostera	1	11,3	11,3
Total costos			342,8

Fuente: FAO (2013).

Con la finalidad de conocer un poco más acerca de las diferentes formas de hacer compostaje se realizó una visita a la Universidad del Quindío en la cual manejan un sistema de compostaje cíclico compuesto por tres camas como se evidencia en la figura 15 y 16 donde se aprovechan los residuos sólidos orgánicos generados en el restaurante de la institución. Este sistema se encuentra elaborado de esta manera primero para tener la capacidad de aprovechar alrededor de 840 kg de residuos trimestral y segundo para que en el momento en que se clausure la tercera cama los residuos orgánicos de la primera ya hayan pasado por su proceso de descomposición y esté listo el compostaje para ser usado. Se estima que este proceso tarda alrededor de nueve meses; cabe mencionar que este proceso puede agilizarse haciendo uso de lombrices, escarabajos o la aplicación de microorganismos.



Figura 15, 16. Sistema de compostaje implementado en la Universidad del Quindío. Autor (2022).

En la última calificación se evaluaron los impactos sobre la sostenibilidad, entre estos se encuentran los impactos económicos en los que se incluyen los ingresos que se pueden tener al usar las diferentes técnicas propuestas y el ahorro que estas representan para quien las vaya a implementar. Para el factor de ingresos, todas las alternativas propuestas fueron calificadas con 2,0 como oportunidad media de ingresos menos el compostaje y el bioetanol que recibieron una calificación de 3,0 como oportunidad alta de ingresos. En la tabla 15 se puede evidenciar la estructura de costos expuesta en el trabajo investigativo de Lizarazo, et al (2015) para la producción de un litro de bioetanol a escala de laboratorio. Se estima que se pueden obtener 8.324.733 L con el 20% de producción total de papa lo que arroja unos ingresos de \$183.144.126.000.

Tabla 15. Estructura de costos e ingresos para la producción de bioetanol.

Estructura de costos	
Items	Costo (\$)
Costos materia prima utilizada	6.047,40
Mano de obra	5.768,75
Costos indirectos de fabricación	6.742,62
Total costos	18.558,77
Estructura de ingresos	
Ingresos operacionales (\$/L)	22.000,00

Fuente: Lizarazo, et al (2015).

Por otro lado, el compostaje en relación con el ejemplo expuesto en la tabla 14 genera un ingreso total de 800 USD por 10 toneladas producidas en seis (6) meses. Aterrizando estas cifras al caso de estudio donde se están generando 395,2 ton/mes de residuos orgánicos y suponiendo que un kilo de residuos se convierte en 300 g de compost y que tardaría los mismos seis meses en estar listo, se estaría generando un total de 948,72 USD de ingresos.

Con respecto al factor de ahorro fue necesario entrevistar al jornalero encargado de los procesos llevados a cabo dentro del cultivo y al propietario del mismo con la finalidad de saber actualmente cuales son los gastos que se están generando en cuanto abonos y fertilizantes para el cultivo. De estas entrevistas se obtuvo que aproximadamente por planta sembrada se le son adicionados 400 g de fertilizantes y abonos al año, teniendo en cuenta que hay 2.400 plantas sembradas se hizo el siguiente cálculo donde se tiene que para las tres (3) cuadras sembradas en plátano de la finca son utilizados 960.000 g de abonos y fertilizantes al año.

$$2.400 \text{ plantas} \times 400 \frac{g}{\text{año}} = 960.000 \frac{g}{\text{año}} \times \text{planta}$$

Según la información obtenida de las entrevistas se logró identificar que se hace la compra de un saco de abono por 50 kilos producido y comercializado por el Comité de Cafeteros del Quindío el cual tiene un precio a la fecha 07/04/2022 de \$159.900. Haciendo la conversión de gramos a kilos de la cifra anteriormente obtenida son 960 kilos de abono y a partir de esta información se hizo el siguiente cálculo obteniendo como resultado que al año son invertidos tres millones setenta mil ochenta pesos (\$3.070.080) en la compra de abonos y fertilizantes.

$$\frac{960 \text{ k}}{50 \text{ k}} = 19,2 \text{ bultos de abono} \times \$159.900 = \$3.070.080$$

Es por esto que las alternativas de producción de biol y compostaje obtienen una calificación de 3,0 considerada como una oportunidad de generar ahorros considerables a razón de que al momento de que la finca esté produciendo su propio abono bien sea a partir de cualquiera de las dos alternativas no sería necesario hacer la inversión expuesta en la ecuación anterior ya que se estima estar generando un total de 4.23,45 kg de compost a la semana y como mínimo al año sea utilizado un kilo de abono orgánico para cada planta; es decir 2.400 kg al año que van a ser usados dentro de la finca y 21.7840,8 kg que

pueden ser comercializados, donados o utilizados en otros ámbitos. Adicional a esto, las Empresas Públicas de Armenia- ESP (EPA) encargadas de la recolección de residuos sólidos y quien imparte la tarifa de aseo en los servicios públicos plantea que demostrando una disminución considerable de la generación de residuos sólidos principalmente de la planta de producción de Café Dos Molinos y Pulpoza se puede obtener un descuento desde el 20% en la tarifa de aseo.

El biogás también obtuvo una calificación de 3,0 a razón de que estudios como el de Vargas (2017) donde realizando la factibilidad de uso de biogás para una fábrica demuestra el ahorro de 21,5 kW durante 10 horas 330 días se traduce a un ahorro de energía de 11.460 USD teniendo en cuenta que el precio del kWh en Perú es de 0,60 soles; es decir 0,16 USD. Aterrizando estas cifras al caso de estudio suponiendo que el biogás se va a utilizar como fuente de energía para la finca donde aproximadamente se consumen en promedio 1.159 kWh al año y se disminuye el uso de 21,5 kWh representa un ahorro de \$682.073,94 al año en de energía eléctrica.

Por otra parte, alternativas como el bioetanol, la fibra natural y el papel reciben una calificación de 2,0 consideradas como una oportunidad de generar ahorros leves ya que como bien se mencionó anteriormente para poder hacer uso del bioetanol es necesario hacer modificaciones en los motores lo que elevaría el costo de implementación y por otra parte dentro de las empresas involucradas no se están llevando a cabo proceso de los que se obtenga o sea necesario papel y/o fibra natural por lo que no sería relevante el ahorro; sin embargo y como se habló en las factores de ingreso en la medida que estos sean comercializados a terceros el impacto económico sería más significativo.

Para evaluar el impacto social se tuvieron en cuenta dos factores, primero la generación de nuevos empleos y segundo el fortalecimiento de las capacidades de los trabajadores. En este ítem todas las alternativas propuestas obtuvieron una calificación de 3,0 indicando que al ser implementadas esto permite la oportunidad de generar empleos tanto directos como indirectos; por ejemplo, la contratación de jornaleros que estén encargados del manejo del biodigestor o del compostaje o por medio de la comercialización de fibra y papel donde se promueve la economía tanto para las empresas como fuente generadora como para quienes adquieran la materia prima para elaboración de otros productos. Y además aquellas personas que trabajan directamente con cada una de las alternativas adquieren nuevos conocimientos y capacidades ayudándolos a desenvolverse en diferentes escenarios e incluso pudiendo

transmitir estos conocimientos a terceros dentro de su círculo social más cercano aumentando la capacidad de réplica de estas oportunidades en lugares diferentes a las empresas y promoviendo así la producción más limpia, la economía circular y la simbiosis industrial.

Finalmente se evaluó el impacto ambiental donde también intervienen dos factores. El primero es la eficiencia de recursos donde se califica si realmente se están optimizando recursos para el cual las alternativas de biol, biogás y compostaje obtuvieron una calificación 3,0 demostrando que estas permiten optimizar considerablemente el uso de recursos como se evidencio en el análisis de ahorro donde sí se fuera a implementar el compostaje o el biol no habría necesidad de invertir en insumos agrícolas como fertilizantes y si se implementa el uso de biogás se estaría optimizando energía eléctrica; las otras alternativas como fibra natural, bioetanol y papel obtienen una calificación de 2,0 indicando que la oportunidad de optimización de recursos es leve. El segundo factor que se evaluó en el impacto ambiental fue el ahorro de energía donde únicamente las alternativas relacionadas con el ahorro de energía obtuvieron una calificación alta (3,0) es decir el bioetanol y el biogás, mientras que las otras alternativas al no representar ahorro de energía obtuvieron una calificación de 1,0.

Para darle fin a la priorización de alternativas se calculó el promedio de puntuación de las calificaciones que obtuvieron cada una de las alternativas el cual se puede observar en la tabla 16 donde P corresponde al promedio y PP al puntaje ponderado y a raíz de esto se obtuvo el valor de priorización teniendo en cuenta el puntaje total máximo para determinar si la oportunidad tiene un valor alto de priorización, medio y mínimo para las de valor bajo.

Tabla 16. *Resumen puntajes de calificación matriz de priorización.*

Oportunidad	Nivel de circularidad		Nivel de relacionamiento		Factibilidad de implementación		Impacto sobre la sostenibilidad		Puntaje total	Priorización
	P	PP	P	PP	P	PP	P	PP		
Biol	3,0	1,2	3,0	0,8	2,0	0,5	2,5	0,3	2,7	Alta
Biogás	3,0	0,9	3,0	0,3	2,0	0,6	2,8	0,3	2,1	Alta
Compostaje	3,0	0,9	3,0	0,3	2,0	0,6	2,7	0,3	2,1	Alta
Bioetanol	2,0	0,6	2,5	0,3	1,0	0,3	2,7	0,3	1,4	Baja
Fibra Natural	2,5	0,8	2,5	0,3	1,5	0,5	2,2	0,2	1,7	Baja
Papel	2,5	0,8	2,5	0,3	1,5	0,5	2,2	0,2	1,7	Baja

Fuente: Autor (2022).

De los resultados anteriores es posible decir entonces que las alternativas, aunque todas fueron seleccionadas por la posibilidad de ser implementadas y generar un aporte a nivel de economía circular y simbiosis industrial solo tres (3) fueron priorizadas como altas respecto a las otras por los aspectos evaluados con anterioridad y se les elaboro un plan de acción expuesto en el siguiente apartado.

11.2 Objetivo 3: *Establecer un plan de acción para la implementación de las alternativas de economía circular priorizadas.*

Para la elaboración del plan de acción se tuvieron en cuenta las alternativas de biol, biogás y compostaje. De estas alternativas se obtuvieron dos planes de acción, uno que corresponde a la elaboración de compostaje (Anexo 1) y el otro que corresponde a la implementación de un biodigestor (Anexo 2), se realizó de esta manera debido a que como se mostró en el apartado 11.2.1 el biogás y el biol son los dos productos resultantes de la operación de un biodigestor; no obstante en la priorización de alternativas se hizo la calificación de ambos productos por separado con la intención de mostrar que aportes, ventajas y desventajas tenía cada una.

Cada plan de acción cuenta con un contenido de cinco (5) ítems. El primero de este es la información media donde se muestran los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) relacionados con las alternativas, para ambas se estableció que los ODS con mayor relevancia son el objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles debido a que como la FAO menciona, las ciudades y áreas metropolitanas son el centro del crecimiento económico pero también los responsables de generar alrededor del 70% de las emisiones de carbono mundial y de hacer uso de más del 60% de los recursos, de esta manera el cumplimiento de este objetivo propone como una de sus metas reducir el impacto ambiental negativo prestando especial atención a la gestión de los desechos municipales y apoyar vínculos económicos, sociales y ambientales entre zonas urbanas, periurbanas y rurales, metas que se buscan alcanzar con el desarrollo de este proyecto haciendo el aprovechamiento de los residuos orgánicos producidos por las empresas reduciendo así el impacto negativo de la mala gestión de estos junto con la vinculación y la sinergia de las tres empresas a manera de apoyo socioeconómico y ambiental.

Por otra parte, se hace el relacionamiento con el objetivo 12. Producción y consumo responsable ya que como se menciona, “el consumo y la producción mundial dependen del uso del medio ambiente natural y de los recursos de manera continúa teniendo efectos destructivos sobre el planeta” donde en base al

caso de estudio, principalmente la agricultura es una de las actividades económicas del sector primario que tiene mayor impacto sobre el ambiente trayendo consecuencias tales como la pérdida de hábitats, erosión y sedimentación, deterioro de la calidad del suelo por uso excesivo y prolongado de agroquímicos, emisiones de gases de efecto invernadero, ente otros que soportan la necesidad de tomar medidas sostenibles para contrarrestar dichos efectos como lo es la implementación de sistemas como el compostaje o un biodigestor que generan productos orgánicos y aportan al cumplimiento de las metas de reducir el uso de energía eléctrica fósil y promover el uso de energías renovables y finalmente el objetivo 17. Alianzas para lograr los objetivos, el cual menciona que es necesario establecer asociaciones inclusivas a nivel regional, nacional y/o local con el fin de fomentar el crecimiento y el comercio donde se ve explícitamente la intención de implementar alternativas que permitan la simbiosis industrial dándole cumplimiento a las metas de fortalecer la movilización de recursos internos, promover el desarrollo de tecnologías ecológicamente racionales, apoyar la creación de capacidades científicas, tecnológicas e innovadoras.

Se presenta además un cronograma de actividades donde cabe resaltar que estos planes han sido diseñados a modo de ser una guía para las empresas en caso de querer implementar alguna de estas alternativas, donde para el compostaje se estima un tiempo mínimo de seis (6) meses de trabajo inicial partiendo desde la capacitación de los trabajadores, la construcción de las seis (6) camas composteras las cuales se dimensionaron con una profundidad y ancho de 2m y 5m de largo con la posibilidad volumétrica de albergar 20 m³ de residuos en base a la metodología vista con la que trabajan en la Universidad del Quindío que a su vez está soportada por el Manual de Compostaje del Agricultor (FAO, 2013) donde menciona que en caso de haber más de tres camas o pilas en su defecto se hace el volteo avanzado disponiendo de las pilas nuevas en el espacio dejado por la pila volteada como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 17. Sistema de volteo para camas de compostaje. FAO (2013).

De igual manera dentro del cronograma se tuvo en cuenta la producción a partir de lo expuesto anteriormente y aplicación del abono orgánico, mientras que para el biodigestor se estimó una etapa inicial de cuatro (4) meses iniciando de igual manera con una capacitación y estimando la compra de un biodigestor, se sugiere un biodigestor de capacidad volumétrica de 100 m³ para garantizar el tratamiento de alrededor de 98,8 m³ a la semana. La diferencia temporal de ambas alternativas radica en el proceso de descomposición del material orgánico donde para el compostaje este tarda en condiciones normales al menos unos 4 meses teniendo en cuenta todas las etapas y estableciendo que el tiempo de retención de un biodigestor es de 40 a 40 días en climas tropicales (FAO, 2011), cabe mencionar que esta proyección no se hizo teniendo en cuenta el uso de aceleradores como cucarrones, lombrices o adición de microorganismos.

Por otra parte se exponen los recursos tanto económicos, como humano, instrumental y material requeridos para la ejecución de la alternativa, teniendo en cuenta las inversiones, las personas que intervienen y sus respectivos pagos, instrumentos cotidianos o incluso de laboratorio y los materiales tanto de construcción como la materia prima que son los residuos orgánicos, junto a esto también se presentan los beneficios a nivel económico, ambiental, social y comercial que se complementan con los factores evaluados durante el desarrollo de la matriz de priorización y finalmente el seguimiento y monitoreo donde se exponen los indicadores a tener en cuenta durante las diferentes etapas de la puesta en marcha de cada una de las alternativas, cabe mencionar que hay varios parámetros en común como el pH y temperatura donde debe ser alcalino y a temperatura ambiente respectivamente.

Para el biodigestor se hace además un seguimiento de la carga orgánica volumétrica (COV) que como se mencionó anteriormente es de 98,8 m³/sem, no obstante ese seguimiento debe hacerse de manera diaria para garantizar un control más óptimo de la variable donde se estima que al día se estaría alimentando el biodigestor con una carga de 14,1 m³/día, en relación a la COV se hace el seguimiento sobre la generación del biogás donde según el Manual de Biogás escrito por García (2015) la digestión anaerobia produce entre 400 a 700 L por cada kilogramo de materia; es decir que en promedio se estarían generando 7.764,8 L o 77,6 m³ y posee un poder calorífico de 4.500 a 5.600 Kcal/ m³. Por otro lado, para el compostaje se hace de igual manera el control de la carga orgánica, pero está en unidades de masa kg/día donde se

estima que aproximadamente son 14.117,89 kg/día que después de pasar por el proceso de descomposición se transforman en 4.235,4 kg de compost.

Es necesario destacar bajo el análisis realizado en la página 68 donde se hace el cálculo sobre cuantos gramos de abono requiere una planta mencionar que aunque no existe un dato exacto que permita establecer la relación entre cuanta cantidad de abono orgánico reemplaza el abono químico se estima que es un aproximado mínimo de 1 kilo al año; no obstante no se encuentra un rango específico ya que este tipo de productos se calculan más por sus componentes nutritivos que por la cantidad, así que resulta de suma importancia hacer una caracterización del compostaje casero previo a ser añadido a un cultivo. De igual manera con ayuda de la relación C:N que es definida como la cantidad de carbono con respecto a la cantidad de nitrógeno que tiene un material es posible hacer un aproximado a los nutrientes que los materiales utilizado para el compostaje aportan al mismo.

El manual de compostaje publicado por la FAO y adaptando algunos datos del PNUD-INFAT (2002) presenta la construcción de la siguiente tabla donde se pueden observar algunos materiales utilizados para compostaje con su respectivo valor en relación carbono- nitrógeno. Para el caso de estudio los que mayor relación tienen serían desperdicios de cocina y hojas de plátano que en teoría en conjunto ambos tipos de residuos ayudan a tener un equilibrio entre la relación C:N.

Tabla 17. *Relación C:N de algunos materiales usados en el compostaje.*

Nivel alto de nitrógeno		C:N equilibrado		Nivel alto de carbono	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5	Estiércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol porcino	10:1	Pulpa de café	29:1	Basura urbana fresca	61:1
Desperdicios de cocina	14:1	Hojas de plátano	32:1	Hierba seca	81:1
		Hojas de café	38:1	Bagazo de caña de azúcar	104:1
		Restos de poda	44:1	Paja de maíz	312:1
				Aserrín	638:1

Fuente: PNUD-INFAT (2002); FAO (2013).

Finalmente se propone para ambas alternativas el hecho no solo hacer uso de los productos como materia prima para otros procesos llevados a cabo dentro de las mismas empresas sino que también se fomente la simbiosis industrial apoyando el comercio hacia terceros y de esa manera generar nuevos ingresos como por ejemplo la venta de compostaje o biol que aparte de ser usado dentro del cultivo permite abrirse a nuevas opciones de negocio ya que como se ha venido observando en las cifras, es una gran cantidad que finalmente no va a ser aprovechada en su totalidad en la finca y habría la posibilidad de desperdiciarlo de no buscarse otra alternativa de empleo o lo que sucede de igual manera con el biogás en cuestión de que este sería producido dentro de la finca y en teoría para lo que sería usado es como fuente de energía y abastecimiento de gas y se podría evaluar la posibilidad de lograr una simbiosis con las fincas vecinas para que estas puedan aprovechar de igual manera este servicio.

12. Conclusiones

En base al desarrollo del proyecto es posible decir que existen un gran abanico de oportunidades y alternativas que permiten el aprovechamiento de los residuos orgánicos que se pueden acomodar a las necesidades de una empresa y que no solo representan la posibilidad de hacer una correcta gestión del material resultante del cierre de ciclos sino que a su vez se puede convertir en una oportunidad de generar ingresos mediante los métodos abalados por los lineamientos del Plan Nacional de Negocios Verdes y la Estrategia Nacional de Economía Circular y simultáneamente se promueve el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que en conjunto y desde la perspectiva de Ingeniería Ambiental se está proponiendo un nuevo modelo de negocio donde se reincorporen al proceso productivo material que normalmente terminan su vida útil en un relleno sanitario por ser considerados como desechos que son transformados a su vez en materia prima para la elaboración de otros productos lo que soporta la teoría de economía circular y simbiosis industrial.

Ahora bien, en base a lo anteriormente mencionado, se responde de manera satisfactoria el cumplimiento del objetivo general frente a la propuesta de alternativas de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de los residuos orgánicos resultantes de la operación en las empresas Polpoza, Dos Molinos y Finca “La Máquina”; para esto fue necesario primero elaborar el diagnóstico de la producción y caracterización de los materiales obtenido del cierre de ciclos donde se pudo concluir que se están generando 98,8 ton/semana, de los cuales en su mayoría corresponden a material resultante de la cosecha de plátano como vástago, hojas y tallos y partes de la piña como la corona, la cáscara y el

corazón; a partir de esta cuantificación fue posible establecer que se está generando una cantidad considerable de residuos por lo que resultaba importante plantear una propuesta que permitiera el aprovechamiento de los mismos, además basados en las revisiones bibliográficas y las fuentes expuestas en el estado del arte este tipo de residuos tiene un gran potencial de aprovechamiento en métodos como los expuestos para el objetivo dos donde se definieron las alternativas de implementar un biodigestor del que se obtienen como productos biol y biogás, compostaje, elaboración de fibra natural del que también resulta la producción de papel y la producción de bioetanol.

Para el cumplimiento total del segundo objetivo entonces fue necesario realizar la priorización de estas alternativas por medio de una matriz planteada previamente por el Centro Nacional de Producción Más limpia y Colombia Productiva, donde se evaluaron diferentes factores como el económico en cuanto al análisis de inversión, costos y ganancias, el impacto ambiental respecto al uso eficiente de recursos y ahorro de energía, el impacto social con la generación de empleos y desarrollo de nuevas capacidades y el impacto sobre la circularidad y relacionamiento con los actores que se ven beneficiados; resulta importante resaltar que los puntajes que obtuvo cada alternativa se relacionada no solo con las características de la misma sino que también se tuvo en cuenta la evaluación de una respecto a la otra para así no solo hacer una evaluación individual sino también multicriterio mediante el cual se pudo concluir que las alternativas más viables para implementar en relación al caso de estudio es la implementación de un biodigestor y/o un sistema de compostaje, pero además que el menos viable es el bioetanol debido a que es una propuesta que requiere de un alto aporte económico y tecnológico, además no garantiza el aprovechamiento total de los residuos debido a que no todos tienen alto porcentaje étlico.

Por otro lado para el cumplimiento del objetivo tres se elaboró un plan de acción tanto para el compostaje como del biodigestor mediante el cual se pudo evidenciar que aunque la producción de biol y biogás es una alternativa bastante llamativa al obtener dos productos de un solo sistema que es el biodigestor también requiere de mayor control e incluso en ocasiones de análisis de laboratorio para garantizar las condiciones óptimas de funcionamiento, además también requiere de un valor mayor de inversión sea por la construcción de un biodigestor casero o ya fabricado debido a que requiere de mayor nivel tecnológico; por el contrario el compostaje aunque tarda más tiempo en estar listo para ser usado requiere menor nivel tecnológico y de inversión, de igual manera ambas alternativas permiten el aprovechamiento del total de los residuos, ambos aportan y recuperan los nutrientes del suelo del cultivo que aunque no se

hizo una muestra de laboratorio para determinar la calidad del recurso gracias a los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y la revisión bibliográfica fue posible establecer que el disponer de manera incorrecta los residuos sobre el suelo del cultivo pueden traer afectaciones tales como la pérdida de nutrientes, la muerte de microorganismos que a mediano y largo plazo puede destara otro tipo de problemáticas y que a su vez esto genera impactos sobre la salud humana a partir de la proliferación de vectores y generación de malos olores.

Finalmente es posible evidenciar a partir de este proyecto la importancia de implementar sistemas que aporten a la sostenibilidad partiendo desde la voluntad propia en vista a que el dueño de las empresas, Alejandro Gómez, fue el principal interesado en proponer la evaluación y el planteamiento de una solución óptima para la problemática que se venía desarrollando por la mala gestión de los residuos orgánicos dentro de la finca; lo que del mismo modo demuestra la preocupación de los nuevos empresarios por mejorar y transformar en cierta medida sus procesos de producción en sistemas más limpios o que aporten no solo a nivel ambiental sino también económico mediante la sinergia entre empresas donde se pudo evidenciar que un modelo de negocio puede ser la comercialización de abono o biogás, y social y cultural en la medida que su implementación posibilite la interacción de terceros y así potencializar la oportunidad de replica que a su vez genera en la comunidad interés y adquisición de nuevos conocimientos.

13. Recomendaciones

- En caso de poner en marcha cualquiera de los dos planes de acción propuestos se recomienda primero realizar un plan piloto a pequeña escala que permita a los trabajadores familiarizarse con la propuesta, organizar los temas de logística e identificar los parámetros que requieran mayor rigurosidad y en caso de requerir análisis de laboratorio tener los recursos necesarios.
- A partir del plan piloto del compostaje y el biol se recomienda hacer la caracterización del compostaje para definir con exactitud cuanta cantidad de abono orgánico reemplaza el abono químico utilizado en el cultivo y de esta manera tener mayor precisión en cuanto al ahorro en compra de insumos.
- Se recomienda evaluar la posibilidad de hacer uso de aceleradores como lombrices, cucarrones o microorganismos dentro del sistema de compostaje debido a que al contener grandes cantidades

de residuos y de gran tamaño el proceso de descomposición puede ser más lento lo que significa que incluso requiere más tiempo de lo previsto.

- En caso de requerirlo establecer una línea de negocio determinada donde se haga el análisis del total de los actores involucrados ya que como se evidencio en el desarrollo del proyecto pueden existir múltiples y en la medida que se vaya ampliando las posibilidades de implementación de las alternativas surgen cada vez más que pueden convertirse en una oportunidad ventajosa en la medida que se haga un trabajo bien estructurado.
- Al establecer un posible modelo de negocio con la aplicación de cualquiera de los dos planes de acción propuestos se evidencia la importancia de realizar un estudio de mercado previo a la incursión de la propuesta de valor; por tal motivo, se recomienda realizar este estudio con ayuda de una matriz DOFA mediante la cual se puedan identificar las fortalezas, amenazas, debilidades y oportunidades de una forma más específica para cada alternativa propuesta o la que sea de selección.
- Es necesario al momento de validar un método de aprovechamiento tener en cuenta los costos directos e indirectos en donde se involucre desde el tratamiento, la logística, costos de inversión y operación de acuerdo con la cantidad de residuos generados en las empresas, debido a que en el documento únicamente se presentaron ejemplos que, aunque se hizo el intento por aterrizarlo al caso de estudio no terminan siendo valores exactos por lo que pueden presentar un rango de variabilidad considerable por la cantidad de residuos que se generan y las necesidades y exigencias de cada una de las empresas.
- Dado que el proyecto se centra únicamente en la gestión de residuos sólidos orgánicos se recomienda realizar un trabajo posterior en donde se busque la gestión del resto de los residuos de manera que se amplíen las alternativas de economía circular y explorar nuevos espacios de simbiosis entre actores.

14. Referencias bibliográficas

Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian journal of petroleum*, 27(4), 1275-1290.

ACODAL (2021). Actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) Armenia.

Alcaldía de Armenia. (2021) Misión y visión institucional. Recuperado el 3/8/2021 <https://www.armenia.gov.co/alcaldia/mision-vision>

Alcaldía Municipal del Quindío. (2020) Misión y Visión. Recuperado el 3/8/2021 <https://www.montenegro-quindio.gov.co/alcaldia/mision-y-vision>

Alayón Castro, E. (2020). Guía para la caracterización y cuantificación de residuos sólidos. *Inventum*, 15(29), 76–94. Recuperado el 10/9/2021 <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.29.2020.76-94>

Álvarez, G. A. (2013). Control de temperatura y PH en Biodigestores modulares de Estructura Flexible con reciclado de lodos a pequeña escala. In <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/904/1/RI000009.PDF> (Vol. 1). Universidad Autónoma de Querétaro.

Araya Sánchez, R. (1998) Utilización del rastrojo de piña (*Ananas comusus*) para la obtención de pulpa para la producción de papel. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2-6, 9-15, 27-29, 33p.

Ávila Hernández, M., Campos Rodríguez, R., & Rica, T. D. C. (2018). Biogás production from biodegradable wastes at Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Tecnología En Marcha*, 31. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i2.3633>

Ayala, R. V., Ramírez, J., Rey, J., & Taxa, M. I. (2018). Desarrollo de un modelo de negocio de compostaje de residuos sólidos orgánicos para la comercialización de abono orgánico [Pontificia Universidad Católica del Perú]. In *Pontificia Universidad Católica del Perú*. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13001>

Ayres, R.U., 1989. Industrial metabolism and global change. *International Social Science Journal*, 121, 363-373.

Barrera, J. L., Combatt, E. M., & Ramírez, Y. I. (2011). Efecto de abonos orgánicos sobre el crecimiento y producción del plátano Hartón (*Musa AAB*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732011000200003

Bienestar Familiar (2020). Programa manejo de residuos regional Quindío 2018-2020. Colombia. 6-2p.

Botero B., R.; Preston, T.R.; (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda – Universidad EARTH. San José, Costa Rica, 20p.

Cadavid, O., & Giraldo, E. (2011). EJE21. Residuos del plátano: ganancia extra para cultivadores. Recuperado de <https://www.eje21.com.co/2011/02/residuos-del-pltano-ganancia-extrapara-cultivadores/>

Caicedo, C. L. G. (2017). Economía circular y su papel en el diseño e innovación sustentable. Editorial UNIMAR.

Cámara Argentina del Papel y Afine- CAPA (2017) Tipos y usos del papel. Obtenido de <https://www.camarapapel.org.ar/capa.php?Id=121&n=TIPOS+Y+USOS+DEL+PAPEL&c=Actualidad&sc=El+Papel> Recuperado el 25/03/2022

Castro, T., & Antonio, J. (2019). Diseño de un biodigestor para mejorar la obtención de biogás y biol. Universidad Nacional del Centro del Perú.

Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). Economía circular. Economía industrial, 401(3), 11- 20. Recuperado el 3/8/2021 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5771932>

Cervantes Torre-Marín, G. (2011). Ecología industrial: Innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales. Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, 6, 58–78. Recuperado el 20/10/2021 <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/11914>

Chacón, D. E. (2011). Evaluación de Diferentes Niveles de Abono Foliar (BIOL) en la Producción de Forraje del Medicago Sativa en la Estación Experimental Tunshi. 95. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1029>

Chávez Porras, Á., & Rodríguez González, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. Academia y Virtualidad, 9(2), 90–107. Recuperado el 2/11/2021 <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>

Chertow, Marian R. (2007) “Uncovering” Industrial Symbiosis. Special Feature on Industrial Symbiosis, Vol 11, N.1, Massachusetts Institute of Technology and Yale University, pp. 30.

CirculateNews. (2017). AMÉRICA LATINA Y LA ECONOMÍA CIRCULAR. Recuperado el 22/10/2021 <https://circulatenews.org/2017/03/america-latina-y-la-economia-circular/>

Colombia Productiva. (2020). Economía circular: Manual con herramientas para implementar la Economía Circular en empresas. 36. <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-capacita/publicaciones/transversales/guia-empresarial-de-economia-circular/200310-manual-empresas>

Comité de Cafeteros del Quindío (s,f) Precio abono para plátano. F. P-5 SACO X 50 KILOS PLATANO 15-4-25-5. Recuperado el 12/04/ 2022 de <https://www.almacenescomite.com/producto/8898/f-p-5-saco-x-50-kilos-platano-15-4-25-5>

Comisión Europea. (2020). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Nuevo plan de acción para la economía circular: por una Europa más limpia y competitiva (COM (2020) 98 final). Diario Oficial de Las Comunidades Europeas, 23. Recuperado el 10/9/2021 <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>

Considine, T (2003). Ecología Industrial. Universidad del Estado de Pennsylvania. Estados Unidos de América. Revista Sena. Recuperado el 2/11/2021 http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/865/951

Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES. (2018). Documento CONPES 3918.- Política de Crecimiento Verde. Bogotá, Colombia. Recuperado el 17/01/2022 <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>

Consejo Nacional de Política Económica y Social- CONPES. (2018). Documento CONPES 3934.- Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia. Bogotá, Colombia. Recuperado el 17/01/2022 <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>

Cortínez, V. (2010). Comparación De Pretratamientos En Residuos Forestales Para La Producción De Bioetanol De Segunda Generación: Hidrólisis Ácida Y Líquidos Iónicos. In *Universidad de Chile*. Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/102377/cf-cortinez_vv.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Corporación Autónoma Regional del Quindío- CRQ. ¿Quiénes somos? - Naturaleza Jurídica. Obtenido de <https://crq.gov.co/quienes-somos/>

Cruz, E., Velázquez, J. A., & Briones, A. (2019). Formas, enfoques y tipos de investigación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. S/I, 2, 1–16.

Damian Suclupe, M. J., Gonzáles Veintimilla, F., Quiñones Paredes, P., & Terán Iparraguirre, J. R. (2018). Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Arnaldoa*, 25(1), 141-158.

Decreto 2981 de 2013. Presidencia de la República. Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. 20 de diciembre de 2013.

Decreto 1077 de 2015. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Por medio del cual se expide el Decreto único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. 26 de mayo de 2015 Diario Oficial No. 49.523.

De la Cruz, A. (2017). Efecto del uso de cáscaras de cítricos sobre el aislamiento y cuantificación de *Pseudomona* spp. en suelo bajo ensayo experimental. *Centros Revista Científica Unversitaria*, 6(2), 72–84.

Departamento nacional de estadísticas. DANE. (2019). Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 - Armenia, Quindío. Dane, 31.

Departamento Nacional de Planeación- DPN (2018) Diagnóstico Misión de Crecimiento Verde. Colombia. Recuperado el 2/11/2021 <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Paginas/Diagnostico.aspx>

Dueñas, J., & Espinosa, P. A. (2019). *Evaluación del compostaje y la generación de biogás como alternativa de manejo para el residuo vegetal del clavel generado en la finca Arrayanes de Colibrí Flowers S.A., ubicada en el municipio de Facatativá* (Vol. 45, Issue 45). Universidad Libre.

Empresas Públicas de Armenia- EPA (2021) Quienes Somos. Recuperado el 3/8/2021 <https://www.epa.gov.co/institucional/quienes-somos>

Ellen Macarthur Foundation (2022). A circular economy for food will help people and nature thrive. Obtenido de <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/food/overview>

Ellen Macarthur Foundation (2022). What is a circular economy?. Obtenido de <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

Espín, L. D., & Cárdenas, V. M. (2015). Diseño y construcción de una desfibradora de hojas y pseudotallos para obtener material lignocelulósico a utilizar como refuerzos de polímeros. *Facultad de ingeniería mecánica-Escuela Politécnica Nacional*, 238.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2013). Manual de compostaje del agricultor. In *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*.

FAO, MINENERGIA, PNUD, & GEF. (2011). Manual del Biogás. Proyecto CHI/00/G32, 120. <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

Florez-Vargas, A. O., Sánchez-Zuñiga, J. V., & Sánchez-Molina, J. (2020). Caracterización de los residuos de la cosecha del plátano harton para un potencial uso industrial. *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(3), 13–16. <https://doi.org/10.15649/2346030x.821>

Folke, C., Carpenter, S.R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T. y Rockström, J. (2010). Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology*

Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 144-152.

Fulton L., Howes T. y Hardy J. (2004). Biofuels for transport: An international perspective. Memorias. International Energy Agency. París Francia.

Galán, J. M., De la Fuente, S. D., Armiño, C. A., Delgado, R., Lavios, J. J., Herrero, Á., Manzanedo

García, V. (2015). MANUAL DE BIOGÁS. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. *Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático*, 9. https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas01.pdf

Gebregergs, A., Gebresemati, M., & Sahu, O. (2016). Industrial ethanol from banana peels for developing countries: Response surface methodology. *Pacific Science Review A: Natural Science and Engineering*, 18(1), 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.psra.2016.06.002>

Gobierno de la República de Colombia. (2019). Estrategia nacional de economía circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. En el Gobierno de Colombia. http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia Nacional de Economía Circular-2019 Final.pdf_637176135049017259.pdf

Gobernación del Quindío (2013) Datos Geográficos Básicos. Recuperado el 3/8/2021 <https://www.quindio.gov.co/el-departamento/generalidades/datos-geograficos-basicos>

Gómez, J., Jarones, C., & Gañan, P. (1998) Refuerzos naturales para materiales plásticos. *Revista de Plásticos Modernos*, 76, 183.

González Cabrera, A. M. (2014). Estudio técnico-económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia. *Biogás Digestor*, 22–36

Gracida- Rodriguez, J. N, & Pérez, B. (2014). Factores previos involucrados en la producción de bioetanol, aspectos a considerar. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(2), 213-227. Recuperado el 07 de abril de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000200008&lng=es&tlng=es.

Guevara V., A.; (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud. Lima, 80p.

Guzmán, G. R. (2021). Reflexiones en torno a la Economía Circular: teoría y práctica. Universidad de La Salle Bajío, Plantel Salamanca.

Hargreaves J., Adl M., Warman P. A (2008) A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol 123 no. 1:1-14p. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880907001909>

Hilbet, J.A.; (2003). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, 57p.

Hurtado Ruiz, A. M., & Jordá Ferrando, L. (2017). Simbiosis Industrial como herramienta de paradigma de la economía circular. Aidimme.

Icontec, (1976). NTC 1109 de 1976. Plátanos Clasificación. Recuperado de: http://e.normas.icontec.org/icontec_enormas_mobile/visor/HTML5.asp

Ibáñez, C. M. (2020). On the use of the concepts of life cycle and life history in ecology and evolution. *Gayana*, 84(2), 93–100. Recuperado el 22/10/2021 <https://doi.org/10.4067/S0717-65382020000200093>

ISO 14001: 2015 (2015) Guía de implementación para Sistemas de Gestión Medioambiental. NQA. Recuperado el 17/01/2022 <https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish%20QRFs%20and%20PDFs/NQA-ISO-14001-Guia-de-implantacion.pdf>

ISO 26000:2010 (2010) Guía de responsabilidad social. Recuperado el 17/1/2022 <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:26000:ed-1:v1:es>

Jackson, L., Ramirez, I., Yokota, R., Fennimore, S., Koike, S., Henderson, D., Chaney, W. E., Calderón, F. J., & Klonsky, K. (2004). On-farm Assessment of Organic Mmatter and Tillage Management on Vegetable Yield, Soil, Weeds, Pests, and Economics in California. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103(3), 443-463.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). WHAT A WASTE 2.0 A Global Snapshot of Soild Waste Management to 2050. World Bank Group.

Kammerbauer, J. (2001). “Las dimensiones de la sostenibilidad: Fundamentos ecológicos, modelos paradigmáticos y senderos”. *Revista Interciencia - INCI*, vol. 26(8), pp. 353 – 359.

Ley 99 de 1993. Congreso de Colombia. Por el cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente. 22 de diciembre de 1993. Diario Oficial No. 41.146.

Ley 142 de 1994. Congreso de Colombia. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. 11 de julio de 1994. Diario Oficial No. 41.433

Lizarazo, S. P., Hurtado, G. G., & Rodríguez, L. F. (2015). Análisis técnico económico de la producción de bioetanol a partir de papa a nivel de laboratorio en Boyacá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 97–111.

Llenque Díaz, L. A., Quintana, A., Torres, L., & Segura, R. (2020). Bioethanol Production From Organic Plant Waste [Universidad Nacional de Trujillo]. In *Rebiol* (Vol. 40, Issue 1). <https://doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.03>

López, A. (1989). Teoría general de los sistemas. *Signo y Pensamiento*, 8(15), 45–56.

López M., Soliva M., Martínez-Farré F.X., Fernández M., & Huerta-Pujol O. (2010) Evaluation of MSW organic fraction for composting: Separate collection or mechanical sorting. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 45 no. 4: 222-228p.

M. Á., & Del Olmo, R. (Eds.). (2021). 15th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management (Issue July). Recuperado el 7/8/2022 <https://doi.org/10.5281/zenodo.5109480>

Mannise, R. (2016). Noruega es el primer país del mundo en prohibir la tala de árboles. *Ecocosas*.

Marchi, B., Zaroni, S., & Zavanella, L. E. (2017). Symbiosis between industrial systems, utilities and public service facilities for boosting energy and resource efficiency. *Energy Procedia*, 128, 544–550. Recuperado el 7/8/2022 <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.006>

Marmolejo L.F., Oviedo, E.R., Jaimes J.C., & Torres, P (2010) Influencia de la separación en la fuente sobre el compostaje de residuos sólidos municipales. *Agronomía Colombiana*, volumen 28 (número 2), 319-328. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180315602021.pdf>

Marmolejo L.F. (2011) Marco conceptual para la sostenibilidad de los sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos en cabeceras municipales menores a 20.000 habitantes del Valle del Cauca- Colombia, Universidad del Valle, 190 p.

Morales, D.N., Condori, A., Torrez, D. A. (2021). Aplicación de la Economía Circular mediante el aprovechamiento máximo de la Piña (*Ananas comosus*) Application of the Circular Economy Through the Maximum Use of the Pineapple (*Ananas comosus*). *Acta Nova*, 10, 1683–0768.

Ministerio de Ambiente. (2012). Ciudadanía ambiental - Guía - Educación en ecoeficiencia. In Educca.

Ministerio del Ambiente. (2020). Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales. Perú.

Olsson, L. & Hahn-Hägerdl, B. (1996). Fermentation of lignocellulosic hydrolysates for ethanol production. *Enzyme and Microbial Technology*. 18, pp. 312-331

Olsson, P., Galaz, V. y Boonstra, W. J. (2014). Sustainability transformations: a resilience perspective. *Ecology and Society* 19(4). Recuperado el 7/8/2021 <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06799-190401>.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial. Informe 2013-2014. Recuperado el 22/20/2021 <https://repositorio.oefa.gob.pe/handle/123456789/56>

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2018). Resolución de Consejo Directivo N° 026-2018-OEFA/CD, Aprobar el "Inventario Nacional de Áreas 70 Degradadas por Residuos Sólidos Municipales". Recuperado el 26/9/2021 <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/338703/RES-026-2018-OEFACD.pdf>

Orozco, M. J. (2017). Abonos orgánicos como alternativa para la conservación y mejoramiento de los suelos [Corporación Universitaria Lasallista]. Recuperado el 3/8/2021 http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2036/1/Abonos_organicos_alternativa_conservacion_mejoramiento_suelo.pdf

Ovalle, A. (2018). Propuesta de modelo de simbiosis industrial en Chile: Aplicación al Parque Industrial de la Reina (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile

Oviedo, E.R., Marmolejo, L.F & Torres, P. (2017) Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. *Revista Ingeniería, investigación y tecnología*, Vol. 18 no. 1. Ciudad de México. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432017000100031&script=sci_arttext#B30

Paes, L.A.B., Bezerra, B.S., Deus, R.M., Jugend, D., Battistelle, R.A.G. (2019). Organic solid waste management in a circular economy perspective -A systematic review and SWOT analysis. *Journal of Cleaner Production*, 239 (December), 118086.

Paraschiv G., Dinca M.N., Ungureanu N., Moiceanu G., Toma M.L. (2017). Installations for waste recycling (Instalații pentru reciclarea deșeurilor). Politehnica Press Publishing House. 289 pages. ISBN 978-606-515-750-7. București/România.

Pérez, C. D. (2018). *Estudio De Pre-Factibilidad De Una Planta Industrial Para La Producción De Tintes a Partir Del Queñual* (Issue 2017). Universidad de Piura.

Pérez, J. I. (2003). “Energía y Desarrollo Sostenible”. Discurso de ingreso en la Real Academia de Ingeniería de España, p. 13. Disponible en: <http://www.real-academia-de-ingenieria.org/ActosPublicos/>

Pinzón Latorre, A. (2002). La Simbiosis Industrial en Kalundborg, Dinamarca. 7–10. Universidad de los Andes- Colombia. Recuperado el 26/10/2021 <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.18389/dearq4.2009.19>

Purwadi, R. (2006) Continuous Ethanol Production from Dilute-acid Hydrolyzate. Detoxification and Fermentation Strategy. Chalmers University of Technology. Goteborg, Suecia.

Quirós, M. (2020). Circularidad de los materiales: emulando a la naturaleza. *RA. Revista de Arquitectura*, 22, 46–55. <https://doi.org/10.15581/014.22.46-55>

Ramos-Galarza, C. A. (2020). Los Alcances de una investigación. In *CienciaAmérica* (Vol. 9, Issue 3). Recuperado el 13/10/2021 <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>

Red de Empresas Sostenibles – RedES-CAR (s,f) Centro de conocimiento de Casos- Casos de éxito. Obtenido de <http://www.redescar.org/resultados-redescar/casos-de-exito>

Resolución 2674 de 2013 [Ministerio de salud y protección social] Por la cual se reglamenta el artículo 126 del Decreto Ley 091 de 2012 y se dictan otras disposiciones. 22 de julio de 2013

Resolución 754 de 2014 [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. 25 de noviembre de 2014.

Rendón, A. Neyra, L. (2020) Fibras naturales. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad, Cd. De México, México. Recuperado el 2/03/2022 <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales>

Reyes, A. A. M., Guerrero, D. M. C., & González, A. R. (2021). Desarrollo de papel artesanal a base de desechos agroindustriales tomando en cuenta el ciclo de vida del producto. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(3), 3134–3145. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n3-027>

Robert, K. H. (1989) *The Natural Step story: Seeding a quiet revolution*. British Columbia Arts Council. ISBN: 0-86571-453-3

Roman, P., Martínez, M., Pantoja, A., (2013) Manual de compostaje del agricultor - Experiencias en América Latina, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, 2013, Pg 22-24.

Romero, B. (2003). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. Boletín IiE, 91–97. Recuperado el 13/10/2021 http://www.icesi.edu.co/blogs/mercadeosostenible2012_02/files/2012/10/ACV_MEDIO-AMBIENTE.pdf

Rouffiac, A. (2016). *Building up a bio-based synergetic industrial network in the Northern Harbour of Malamö*. Universidad Politécnica de Madrid.

Rueda Guerrero, F. A., & Moya Díaz, M. A. (2015). Proyecto asociativo para la creación de una planta productora de abono orgánico en base al reciclaje de los desechos del mercado de Conocoto y su distribución a través de un punto de venta en la parroquia Conocoto (Bachelor's thesis).

Sainz, S. G. (2020). Elaboración de un biodigestor a escala de laboratorio (Issue June) [Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33561.03681>

Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios- Superservicios. (2018) Informe Nacional de Aprovechamiento. Recuperado el 5/01/2022 https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_sectorial_aprovechamiento_2018.pdf

Siura, S., Montes, I., & Dávila, S. (2009). Efecto del biol y la rotación con Abono Verde (*Crotalaria juncea*) en la producción de Espinaca (*Spinacea oleracea*) bajo cultivo orgánico. *Anales Científicos*, 70(1), 1–8.

Tejeda, L. P., Tejeda, C., Villabona, Á., Alvear, M. R., Castillo, C. R., Henao, D. L., Marimón, W., Madariaga, N., & Tarón, A. (2015). Producción De Bioetanol a Partir De La Fermentación Alcohólica De Jarabes Glucosados Derivados De Cáscaras De Naranja Y Piña. *Educación En Ingeniería*, 120–125. www.acofi.edu.co

Tinarejos, D. (2020) Revisión bibliográfica de la Simbiosis Industrial como Estrategia para la Gestión de Residuos en la Economía Circular. Universidad Católica San Pablo- Facultad de Ingeniería y Computación. Arequipa, Perú. Recuperado el 17/01/2022 https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/16585/1/TINAJEROS_HUAMANI_DIC_SIM.pdf

Toalombo Yumbopatin, M. C. (2013). Aplicación de abonos orgánicos líquidos tipo biol al cultivo de mora (*Rubus glaucus* Benth). En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). Universidad Técnica de Ambato.

Tuck, L (2018) Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70% para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. Comunicado de prensa. Recuperado el 19/08/2021 <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>


Universidad El Bosque-UEB. (2019). Universidad El Bosque (UEB). Recuperado el 13/10/2021 <https://www.unbosque.edu.co/home>

Vargas Avendaño, C. L. (2018). Análisis de biodegradabilidad de gallinaza y lactosuero y su potencial de biometanización a escala de laboratorio [Universidad de La Laguna]. [https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/19195/Análisis de biodegradabilidad de gallinaza y lactosuero y su potencial de bioetanizacion a escala de laboratorio \(1\).pdf?sequence=1](https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/19195/Análisis%20de%20biodegradabilidad%20de%20gallinaza%20y%20lactosuero%20y%20su%20potencial%20de%20bioetanizacion%20a%20escala%20de%20laboratorio%20(1).pdf?sequence=1)

Vargas, J. A. (2017). *Estudio de factibilidad de uso de biogas para ahorrar energía eléctrica en la fábrica Innova*. Universidad César Vallejo. Chiclayo- Perú.

Vélez Correa, P. E. A., & Pimentel Murillo, S. (1997). Diseño a escala de un biodigestor anaeróbico para el tratamiento de residuos líquidos y sólidos con alto contenido de materia orgánica [Corporación Universitaria Autónoma de Occidente]. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/3648/T0001538.pdf;jsessionid=B975F5604D459B48B9CEF62F53E8DADB?sequence=3>

Anexo 1. Plan de acción Sistema de compostaje

 UNIVERSIDAD EL BOSQUE	<p align="center">Plan de acción de la alternativa de compostaje como método de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa obtenida en el cierre de ciclos de materiales en las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" ubicadas en el departamento del Quindío.</p>
Introducción	
<p>Con el fin de implementar las medidas identificadas en la matriz de priorización se aplica el presente instrumento de plan de acción donde se describen las viarables relacionadas con la implementación del mismo en cuestión de la puesta en marcha la alternativa de compostaje como método de aprovechamiento de los residuos orgánicos generados dentro de las empresas.</p>	
Contenido	
<p align="center">Información medida</p>	<p align="center">Corresponde a la información general de la medida a implementar, su descripción, objetivo, área, características y proceso relacionado</p>
<p align="center">Cronograma de actividades</p>	<p align="center">Información de las actividades requeridas para la implementación, los tiempos de realización y los responsables de cada actividad</p>
<p align="center">Recursos requeridos</p>	<p align="center">Información de los recursos requeridos para la implementación, se incluyen los económicos, tecnológicos, ambientales y sociales</p>
<p align="center">Beneficios</p>	<p align="center">Beneficios que se pueden obtener con la medida implementada como reducción de costos, ambientales, económicos, sociales y otros</p>
<p align="center">Seguimiento y monitoreo</p>	<p align="center">Información sobre los indicadores de gestión o impacto relacionados, junto con el seguimiento de los logros y productos esperados</p>





Plan de acción de la alternativa de compostaje como método de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa obtenida en el cierre de ciclos de materiales en las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" ubicadas en el departamento del Quindío.

Información medida

Nombre de la medida	Compostaje
Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados	11. Ciudades y comunidades sostenibles 12. Producción y consumo responsable 17. Alianzas para lograr los objetivos
Descripción de la medida	Guía y acompañamiento de la implementación de una técnica de compostaje con los residuos orgánicos generados dentro de las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina".
Objetivo de la implementación	Implementar un sistema de compostaje como herramienta para el aprovechamiento de residuos biodegradables en la finca La Máquina, Montenegro-Quindío.
Área o proceso relacionado	Empresa Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina"
Características de funcionamiento	Se parte de la revisión bibliográfica expuesta en el documento donde se indican en detalle cada una de las etapas y los parámetros a tener en cuenta en cada una durante la producción de compostaje en conjunto con los factores evaluados en la matriz de priorización.

		Cronograma de actividades																									
Actividad	Descripción	Reponsable	Cargo	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
				Se m1	Se m2	Se m3	Se m4	Se m1	Se m2	Se m3	Se m4	Se m1	Se m2	Se m3	Se m4	Se m1	Se m2	Se m3	Se m4	Se m1	Se m2	Se m3	Se m4	Se m1	Se m2	Se m3	Se m4
Capacitación del personal	Es necesario capacitar al personal que va a estar encargado del proceso de compostaje para una correcta gestión del mismo	Debbie Upegui Muñoz	Ingeniera Ambiental	■																							
Compra de materiales para construcción	Compra de guada, maya, tejas y demás material necesario para la obra	Alejandro Gomez/ Marcos Chantre	CEO de las empresas/Ayudante de obra		■	■																					
Construcción de estructura techada y cercado	Se hace el cercamiento de un area y techado de la misma con la finalidad de tener mayor control de parámetros como la humedad y vectores que puedan interferir en la producción de compostaje	Marcos Chantre	Ayudante de obra			■	■																				
Construcción de camas de compostaje	Construcción de mínimo seis camas con medidas de 2m x 2m x 5m para garantizar el tratamiento del total de residuos recolectados que es aproximadamente 98,8 ton mensual	Marcos Chantre	Ayudante de obra			■	■																				
Recolección de residuos orgánicos	Los residuos generados dentro de las empresas Pulpoza y Dos Molinos se acumularan dentro de una caneca con tapa en la planta de producción de las mismas	Miguel Pinto/ Tatiana Medina	Administrador finca/ Jefe producción Dos Molinos y Pulpoza					■	■	■	■																
Transporte de los residuos orgánicos a la Finca "La Máquina"	El material orgánico acumulado en las empresas Pulpoza y Dos Molinos es transportado mínimo dos veces a la semana hasta la finca donde se lleva a cabo el proceso de compostaje	Alejandro Gomez	CEO de las empresas					■	■	■	■																
Capacitación del personal y seguimiento	Se refuerzan los conceptos y prácticas relacionados a la elaboración de compostaje y se hace el seguimiento de la ejecución de las diferentes etapas	Debbie Upegui Muñoz	Ingeniera Ambiental					■	■	■	■																
Vertimiento del material orgánico a las camas de compostaje	Se es vertido el total de materia orgánico recolectado de las tres empresas a las camas de compostaje para iniciar con el proceso de compostaje	Miguel Pinto	Administrador finca					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Adición de tierra al compostaje	La tierra que fue extraída durante la construcción de las camas se es añadida a medida que se van agregando los residuos de manera que quede una capa de residuos y una capa de tierra	Miguel Pinto	Administrador finca					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Volteo de compostaje	Para garantizar la correcta aireación del material se debe hacer el volteo del material compostable con ayuda de una pala mínimo una o dos veces al mes	Miguel Pinto	Administrador finca					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Caracterización del compostaje	Hacer un análisis y caracterización del compostaje para identificar las propiedades del mismo	Debbie Upegui Muñoz	Ingeniera Ambiental																						■		
Recolección y uso del compostaje	Una vez el compostaje esté listo pasa a ser usado dentro del cultivo de plátano en pequeñas cantidades, se estima que por planta sea añadido mínimo 1 kg al año dependiendo de los resultados arrojados en la actividad anterior	Miguel Pinto	Administrador finca																						■	■	


 UNIVERSIDAD EL BOSQUE	Plan de acción de la alternativa de compostaje como método de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa obtenida en el cierre de ciclos de materiales en las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" ubicadas en el departamento del Quindío.
Recursos	
Económico	Inversión en la compra de materiales del sistema de compostaje
	Pago de los trabajadores
	Pago de la gasolina para el transporte de materiales
	Pago de personal capacitado y de capacitadores
Humano	Ingeniero Ambiental capacitador y encargado del diseño del plan de acción
	Mano de obra para la construcción de la estructura del sistema de compostaje
	Mano de obra para el manejo y seguimiento del compostaje
Instrumentos	Canecas para el transporte del material
	Pala para el manejo de compostaje
	Pesa
	pH metro
	Termómetro de sonda
	Carretilla para el transporte de residuos dentro de las instalaciones de la finca
	Tijeras de poda en caso de tener materiales de gran tamaño
	Aireador para voltear el material compostable
Materiales	Residuos orgánicos
	Materiales de construcción: Maya, guadua, chazos, tejas

 UNIVERSIDAD EL BOSQUE	Plan de acción de la alternativa de compostaje como método de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa obtenida en el cierre de ciclos de materiales en las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" ubicadas en el departamento del Quindío.
Beneficios	
Económicos	Bajos costos de inversión
	Reducción de costos por disposición de residuos
	Al ser una alternativa de simbiosis industrial permite el ahorro en inversión de materia prima para las empresas involucradas
	Aprovechamiento y valorización de residuos (Economía circular)
	Reducción de costos en insumos agroquímicos
Ambientales	Mitigación de la problemática actual en la disposición final de residuos orgánicos por parte de las empresas
	Mitigación de la contaminación del suelo y fuentes hídricas por el uso de insumos agroquímicos
	Previene la erosión del suelo
	Reducción en la generación de emisiones atmosféricas contaminantes
	Mejora de la fertilidad, estructura y retención hídrica del suelo mediante el incremento de materia orgánica
Sociales	Promueve el hábito de técnicas sostenibles
	Amplia las capacidades y conocimiento de los trabajadores
	Disminuye los riesgos de transmisión de enfermedades por vectores
	Mejora de la calidad de vida de los trabajadores
	Contribuye al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible
	Fomenta la participación ciudadana
Comerciales	Posibilidad de comercializar el producto y generar ingresos
	Comercio sostenible
	Incremento de la competitividad del plátano en el mercado local y nacional
	Acceso a nuevos mercados y pagos diferenciados por ser un producto orgánico

Seguimiento y monitoreo

Indicador	Descripción	Unidad	Seguimiento	Observaciones
Carga orgánica	Cantidad de materia orgánica que es adicionada para composta	Kg/día	Se hace el pesaje de los residuos diarios que van a ser adicionados a las camas de compostaje	Como la recolección y transporte de los residuos se hace una o dos veces a la semana para las empresas Pulpoza y Dos Molinos, lo ideal es hacer un promedio diario o en lo posible desde la planta de producción pesarlos
Tamaño del material a compostar	Lo ideal es que el tamaño de los residuos no sea mayor a los 5cm para agilizar y facilitar el proceso de descomposición	1 cm - 5 cm	Con ayuda de la tijera de poda se controlará el tamaño a medida que se haga la recolección de residuos	No es obligatorio el cumplimiento de este indicador; sin embargo, debido a la alta generación de residuos se sugiere reducir el tamaño de los residuos lo más posible para acelerar el proceso de degradación y descomposición
pH	Dependiendo de la etapa en la que se encuentre el compostaje el pH varía; sin embargo, durante la etapa final donde ya puede ser usado el pH debe ser alcalino	6,5 - 8,5	Medir con ayuda de un pH metro el rango de acidez o alcalinidad del compostaje	Si se quiere tener un mayor seguimiento de la calidad de indicadores y garantizar obtener un buen producto se sugiere hacer la evaluación una vez se obtenga el abono, en especial si se es añadido gran cantidad material orgánico proveniente de cítricos
Temperatura	La temperatura del compostaje varía dependiendo de la etapa en la que se encuentre, pero una vez este finalice su proceso la temperatura del mismo debe estar a temperatura ambiente.	17°C - 27°C	Medir con ayuda de un termómetro de sonda	Si la temperatura es inferior a 35°C los microorganismos tardan más en la descomposición de la materia, por el contrario si es muy alta, los microorganismos mueren
Relación C:N	Cantidad de carbono con respecto a la cantidad de nitrógeno que tiene un material	15:1 - 35:1	Se puede realizar un seguimiento haciendo uso de los datos expuestos en la tabla 17	Para rangos >35:1 se deben adicionar materiales ricos en nitrógeno mientras que para rangos <15:1 se deben adicionar materiales con mayor contenido en carbono
Humedad	La humedad del compostaje debe mantenerse dentro de este rango debido a que el exceso de agua produce encharcamientos, malos olores y pudrimiento, mientras que un mínimo de humedad impide la vivencia de microorganismos	40 % - 60%	Se puede medir cogiendo un puñado de compost y apretándolo con la mano. Si al apretarlo se humedece la mano pero no escurre agua, la humedad es óptima	Para el control de la humedad es importante que donde se vaya a hacer el compostaje esté techado para así evitar la acumulación de agua en las camas
Cantidad de compostaje	Cantidad de residuos orgánicos que se convierten en compost	g	Se hace el pesaje del compost por cama una vez esté listo para ser usado y en base con la carga orgánica se hace la relación	Se estima que un kilo de residuos se convierte en 300 g de compost

Anexo 2. Plan de acción implementación de un biodigestor

 <p>UNIVERSIDAD EL BOSQUE</p>	<p>Plan de acción de la alternativa de la implementación de un biodigestor como método de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa obtenida en el cierre de ciclos de materiales en las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" ubicadas en el Departamento del Quindío.</p>
<p>Introducción</p>	
<p>Con el fin de implementar las medidas identificadas en la matriz de priorización se aplica el presente instrumento de plan de acción donde se describen las variables relacionadas con la implementación del mismo en cuestión de la puesta en marcha de la implementación de un biodigestor del que se obtenga como producto biol y biogás como método para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados dentro de las empresas.</p>	
<p>Contenido</p>	
<p>Información medida</p>	<p>Corresponde a la información general de la medida a implementar, su descripción, objetivo, área, características y proceso relacionado</p>
<p>Cronograma de actividades</p>	<p>Información de las actividades requeridas para la implementación, los tiempos de realización y los responsables de cada actividad</p>
<p>Recursos requeridos</p>	<p>Información de los recursos requeridos para la implementación, se incluyen los económicos, tecnológicos, ambientales y sociales</p>
<p>Beneficios</p>	<p>Beneficios que se pueden obtener con la medida implementada como reducción de costos, ambientales, económicos, sociales y otros</p>
<p>Seguimiento y monitoreo</p>	<p>Información sobre los indicadores de gestión o impacto relacionados, junto con el seguimiento de los logros y productos esperados</p>





Plan de acción de la alternativa de la implementación de un biodigestor como método de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa obtenida en el cierre de ciclos de materiales en las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" ubicadas en el Departamento del Quindío.

Información medida	
Nombre de la medida	Biodigestor
Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados	11. Ciudades y comunidades sostenibles 12. Producción y consumo responsable 17. Alinzas para lograr los objetivos
Descripción de la medida	Guía y acompañamiento de la implementación de un biodigestor alimentado con los residuos orgánicos generados dentro de las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina"
Objetivo de la implementación	Implementar un biodigestor alimentado con el material orgánico resultantes del cierre de ciclos de las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" del que se obtenga como productos biol y biogás como técnica de aprovechamiento de residuos .
Área o proceso relacionado	Empresa Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina"
Características de funcionamiento	Se parte de la revisión bibliográfica expuesta en el documento donde se habla en detalle del funcionamiento de un biodigestor y las propiedades de cada producto que se obtiene de su funcionamiento en conjunto con los factores evaluados en la matriz de priorización.

Cronograma de actividades

Actividad	Descripción	Responsable	Cargo	Mes 1		Mes 2				Mes 3				Mes 4					
				Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4
				Capacitación del personal	Es necesario capacitar al personal que va a estar encargado del manejo del biodigestor para una correcta gestión del mismo	Debbie Upegui Muñoz	Ingeniera Ambiental												
Compra de biodigestor	Se hace la compra de un biodigestor de 100 m ³ para garantizar el tratamiento del total de los residuos generados	Alejandro Gomez	CEO de las empresas																
Ensamble del biodigestor	Se hace el ensamble del biodigestor	Marcos Chantre	Ayudante de obra																
Mantenimiento del biodigestor	Hacer un monitoreo del biodigestor previo a ser alimentado o realizar una prueba piloto para garantizar que todo funciona en orden y no hay fugas	Miguel Pinto	Administrador finca																
Recolección de residuos orgánicos	Los residuos generados dentro de las empresas Pulpoza y Dos Molinos se acumularan dentro de una caneca con tapa en la planta de producción de las mismas	Miguel Pinto/ Tatiana Medina	Administrador finca/ Jefe producción Dos Molinos y Pulpoza																
Transporte de los residuos orgánicos a la Finca "La Máquina"	El material orgánico acumulado en las empresas Pulpoza y Dos Molinos es transportado mínimo dos veces a la semana hasta la finca donde se lleva a cabo el proceso de compostaje	Alejandro Gomez	CEO de las empresas																
Capacitación del personal y seguimiento	Se refuerzan los conceptos y prácticas relacionados al manejo del biodigestor y se hace el seguimiento de la ejecución de las diferentes etapas	Debbie Upegui Muñoz	Ingeniera Ambiental																
Producción de biogás	El biogás se producirá una vez se cumpla la etapa de fermentación que tarda alrededor de 5 a 20 días y puede ser utilizado para mover una turbina para generar electricidad o en la estufa para la cocción de alimentos.	Alejandro Gómez / Miguel Pinto	CEO de las empresas/ Administrador de la finca																
Caracterización del biol y el biogás	Con ayuda de un análisis de laboratorio determinar la calidad de los productos que se estan generando a partir del biodigestor	Debbie Upegui Muñoz	Ingeniera Ambiental																
Uso del biol	Una vez el biol este listo puede ser usado en el cultivo de plátano o en las diferentes áreas verdes que requieran abono	Miguel Pinto	Administrador finca																

 UNIVERSIDAD EL BOSQUE	<p align="center">Plan de acción de la alternativa de la implementación de un biodigestor como método de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa obtenida en el cierre de ciclos de materiales en las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" ubicadas en el Departamento del Quindío.</p>
Recursos	
Económico	Inversión para la compra de un biodigestor de 100 m ³
	Pago de personal capacitado y/o de capacitadores
	Inversión para analisis de laboratio en caso de requerirlos
	Pago de los trabajadores
	Pago de la gasolina para el transporte de materiales
Humano	Ingeniero Ambiental capacitador y encargado del diseño del plan de acción
	Personal de laboratorio
	Mano de obra para la construcción de los componentes del biodigestor
	Mano de obra para el manejo y seguimiento del biodigestor
Intrumentos	Canecas para el transporte del material
	Instrumentos de monitoreo
	Pesa
	Medidor de temperatura
	Carretilla para el transporte de residuos dentro de las isntalaciones de la finca
	Medidor digital de pH
Materiales	Residuos orgánicos
	Materiales de contrucción (Dependen de si es un biodigestor casero o comercial)

 UNIVERSIDAD EL BOSQUE	<p align="center">Plan de acción de la alternativa de la implementación de un biodigestor como método de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa obtenida en el cierre de ciclos de materiales en las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" ubicadas en el Departamento del Quindío.</p>
Beneficios	
Económicos	Reducción en costos por desplazamiento de energía eléctrica fósil
	Al ser una alternativa de simbiosis industrial permite el ahorro en inversión de materia prima para las empresas involucradas
	Reducción de costos de insumos agroquímicos
	Reducción costos por disposición de residuos
	Aprovechamiento y valorización de residuos (Economía circular)
Ambientales	Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (CH4 y CO2)
	Evita la extracción de combustibles no renovables
	Energía obtenida a partir de fuentes naturales
	Disminución de contaminantes en recursos hídricos y suelo
	Mejor control de plagas (Reduce la presencia de agentes patógenos y semillas de maleza)
	Mejora de la fertilidad, estructura y retención hídrica del suelo mediante el incremento de materia orgánica
Sociales	Contribuye al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible
	Favorece el desarrollo del área rural
	Disminuye los riesgos de transmisión de enfermedades por vectores
	Promueve el hábito de técnicas sostenibles
	Amplia las capacidades y conocimientos de los trabajadores
Comerciales	Posibilidad de comercializar el biol
	Incremento de la competitividad comercial de las empresas
	Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles
	Acceso a nuevos mercados y pagos diferenciados por ser un producto orgánico

Plan de acción de la alternativa de la implementación de un biodigestor como método de economía circular con enfoque de simbiosis industrial para el aprovechamiento de biomasa obtenida en el cierre de ciclos de materiales en las empresas Pulpoza, Dos Molinos y Finca "La Máquina" ubicadas en el Departamento del Quindío.

Seguimiento y monitoreo				
Indicador	Descripción	Unidad	Seguimiento	Observaciones
Temperatura	La temperatura ideal dentro de un biodigestor debe estar entre el parámetro indicado para así garantizar la vida de las bacterias que ayudan al proceso de descomposición.	25°C - 35 °C	Se hace el monitoreo mediante un termopar tipo K instalado de manera fija durante el día.	No debe ocurrir variaciones bruscas de temperatura.
pH	El valor óptimo siempre debe estar en un pH neutro, se permiten variaciones para que no ocurra una inhibición del proceso de biodigestión	6,8 - 7,6	Hacer mediante un muestreo a través de una válvula adaptada mínimo 4 veces a la semana.	Con ayuda de un medidor digital de pH el rango de acidez o alcalinidad del sistema.
Carga orgánica volumétrica (COV)	Cantidad de materia orgánica que alimenta el biodigestor.	m³/día	Hacer el pensaje previo de los residuos con los que será alimentado el biodigestor.	El incremento en la COV implica una reducción en la producción de biogás por unidad de materia orgánica introducida, es por esto que se debe encontrar el valor óptimo para la instalación y residuos a aprovechar.
Relación FOS/TAC	FOS corresponde a una medida de los ácidos orgánicos volátiles, medido en mg CH ₃ COOH/l, mientras que TAC es el valor que corresponde a una medición del carbono total inorgánico, o sea, la capacidad tampón alcalina del sistema y se expresa en mg CaCO ₃ /l.	0,4	Hacer una análisis de laboratorio con un valorador como p.ej., TIM 840 al menos una vez al mes.	Este al ser un parámetro más complejo de evaluar se debe hacer mediante una muestra de laboratorio con ayuda de un evaluador.
Alcalinidad total de carbonatos (TAC)	Para evitar la acidificación es recomendable mantener el sistema alcalino.	1,5 g/L CaCO ₃	Hacer un análisis de laboratorio con un monitorizador como p, ej., Espectrofotómetro DR3900, Cubeta de test LCK365 o un valorador AT1000 con paquete de aplicación de biogás.	Medir el pH no es suficiente, por esto se evalúa este indicador para garantizar un funcionamiento seguro y sostenible.
Potencial redox	Mide la energía química de oxidación-reducción mediante un electrodo, convirtiéndola en energía eléctrica.	Entre -350 mV y -500 mV	Análisis de laboratorio con ayuda de un medidor para sensores de redox.	Un sustrato con redox negativo es rico en electrones y pobre en oxígeno. Cuando se cultivan bacterias metanogénicas se incorporan agentes reductores tales como sulfuro, cisteína o titanio III para ajustar el medio a un potencial redox adecuado.
Generación de biogás	Cantidad de residuos orgánicos que se convierten en biogás	m³	Se calcula en base a la COV y volumen del biodigestor	Se estima se producen entre 0.55 m³ de gas por cada kg de materia y 1m³ de biogás produce 1.3 KWh de energía