



Universidad del
Rosario

Escuela de Ingeniería,
Ciencia y Tecnología

EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GASIFICACIÓN DE RESIDUOS VEGETALES PRODUCIDOS EN UNA FINCA DE FLORES EN EL MUNICIPIO DE MADRID, CUNDINAMARCA

Presentado para obtener el título de

MAGÍSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

Cindy Johana Rodríguez Martínez

Dirección:

María Fernanda Gómez Galindo, PhD

Co-dirección:

David Felipe Celeita Rodríguez, PhD

Universidad del Rosario

Escuela de Ingeniería, Ciencia y Tecnología

Maestría en Energías Renovables

AGRADECIMIENTOS

ii

Agradezco a todos los que hicieron parte de este proceso, amigos, compañeros de trabajo y especialmente a mi familia por el apoyo y la paciencia durante todo este proyecto académico. También a mi directora, por haber aportado su conocimiento para la ejecución del presente trabajo. A la empresa que me facilitó el espacio y los medios para lograr llevar a cabo este proyecto, que espero sea de gran utilidad y aporte de manera significativa a su proceso para seguir creciendo de manera sostenible.

Este documento presenta los resultados de un ejercicio de evaluación para determinar la factibilidad del aprovechamiento de los residuos de material vegetal de rosa y diversificados generados en una finca de flores, para la generación de energía eléctrica, a través de un proceso de gasificación y su comparación con el proceso actual de compostaje. Lo anterior, se llevó a cabo a partir de un análisis elemental para determinar la composición de cada tipo de residuo, insumo para la posterior ejecución de una simulación del proceso de gasificación para determinar la composición del gas de síntesis y el potencial energético del mismo. Finalmente, se elaboró la evaluación técnica, económica y ambiental del proceso de gasificación, comparándolo con el proceso actual de elaboración de compost. Como resultado, se estimó una generación de energía eléctrica por el proceso de gasificación con la biomasa estudiada de 24.869 kWh/año, considerando una capacidad instalada de 25 kW y una eficiencia de 28% para el proceso de generación. El análisis económico consideró un horizonte de 15 años y presentó un VPN positivo tanto para el compostaje (\$ 44.526,7 millones) como para la gasificación (\$ 10,7 millones). Las emisiones de GEI asociadas al proceso de gasificación en toneladas de CO_{2eq} son 32% menos que las generadas con el proceso de compostaje.

This document aims at presenting the results of an evaluation to determine the feasibility of using waste generated in a flower farm, for power generation through a gasification process and its comparison with the current composting process. The evaluation begun with an elemental analysis to determine the composition of each type of waste, which provides the input for the subsequent simulation of the gasification process to determine the composition of the synthesis gas, and its energy potential. Finally, a technical, economic, and environmental evaluation of the gasification process was performed, comparing it to the current composting process. As a result, the estimated electricity generation from the gasification process was 24,869kWh/year, considering an installed capacity of 25 kW and an efficiency of 28% for the power generation process. The economic analysis presented a positive NPV for both composting (\$ 44.526,7 millions) and gasification processes (\$ 10,7 millions). The estimated GHG emissions associated with the gasification process in tons of CO_{2eq} were 32% lower than those generated with the composting process.

TABLA DE CONTENIDO

iv

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 2 OBJETIVOS	3
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos	3
Capítulo 3 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	4
Capítulo 4 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	7
Capítulo 5 METODOLOGÍA	16
FASE 1: Análisis características fisicoquímicas del material vegetal	16
FASE 2: Determinación posible composición del gas de síntesis	20
FASE 3: Análisis de prefactibilidad técnica, económica y ambiental	22
Capítulo 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
1. FASE 1: Análisis características fisicoquímicas del material vegetal	25
2. FASE 2: Determinación posible composición del gas de síntesis	27
3. FASE 3: Análisis técnico, económico y ambiental.....	31
Capítulo 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS.....	47

LISTA DE TABLAS

v

Tabla 1. Reacciones típicas proceso de gasificación a 25°C	11
Tabla 2. Parámetros y métodos de análisis muestras de material vegetal - Universidad de los Andes	20
Tabla 3. Datos de entrada al simulador - Condiciones iniciales	22
Tabla 4. Resultados análisis próximo y último residuos de material vegetal	25
Tabla 5. Comparación resultados análisis próximo y elemental.....	27
Tabla 6. Características del gas de salida proceso de gasificación - Modelo MATLAB	28
Tabla 7. Comparación resultados composición gas de síntesis tusa de maíz, estudio experimental vs simulación MATLAB.....	30
Tabla 8. Costos equipos proceso de gasificación.....	33
Tabla 9. Composición del gas de síntesis para la estimación del PCI	35
Tabla 10. Poder calorífico Inferior del Gas de síntesis y generación de energía.....	36
Tabla 11. Factores de emisión para reporte de GEI - Preparación de compost	38
Tabla 12 . Emisiones anuales por tipo de GEI compostaje de Material Vegetal.....	38
Tabla 13. Factores de emisión por GEI del ACPM y Propiedades fisicoquímicas	39
Tabla 14. Emisiones por tipo de GEI - Uso de ACPM.....	39
Tabla 15. Emisiones de GEI anuales asociadas al proceso de compostaje.....	40
Tabla 16. Factores de emisión por GEI de la gasolina y propiedades fisicoquímicas	40
Tabla 17. Emisiones por tipo de GEI - Uso de gasolina.....	41
Tabla 18. Comparación huella de carbono anual por proceso	41
Tabla 19. Emisiones de GEI asociadas al proceso de compostaje.....	42
Tabla 20. Emisiones de GEI evitadas con la implementación del proceso de gasificación.....	42
Tabla 21. Análisis DOFA proceso de compostaje y gasificación.....	43

LISTA DE FIGURAS

vi

Figura 1. Organización general en zona de compostaje	9
Figura 2. Pila de material vegetal de rosa-Puntos de toma de muestra	17
Figura 3. Pila de material vegetal de diversificados - Puntos de toma de muestra.....	18
Figura 4. Cuarteo de muestra de material vegetal	19
Figura 5. Empaque de muestras	19
Figura 6. Proceso propuesto para el aprovechamiento de la biomasa a través de gasificación	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7. Equipos seleccionados para el proceso de gasificación	33

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía a nivel mundial ha incrementado de manera significativa en los últimos años, donde la tasa de crecimiento promedio anual ha sido del 1,9% [1], lo cual ha despertado el interés por reducir la dependencia de fuentes fósiles de energía y encaminar la búsqueda hacia fuentes alternativas, que sean renovables y con un menor impacto ambiental [2]. De esta manera, la biomasa se presenta como una potencial fuente alternativa para la generación de energía, puesto que tiene una gran cantidad de energía almacenada en su conjunto de componentes orgánicos de origen vegetal y animal, derivada de su composición a base de grandes cantidades de carbono, oxígeno e hidrógeno [3]. Así mismo, debido a su bajo impacto al calentamiento global, ya que cuando la biomasa se somete a un proceso de combustión, sus emisiones de CO₂ son neutras [4].

En Colombia, de acuerdo con el “Atlas de Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia” la biomasa residual del sector agrícola en el país tiene un potencial energético de 331.645,75 TJ/año [2], sin embargo, la capacidad instalada para la generación de energía a través del aprovechamiento de este residuo solamente representa el 2% [5]. En cuanto al sector agrícola, la floricultura representa el segundo renglón de exportaciones agrícolas del país, después del café y aporta cerca del 27% del impuesto de renta del agro colombiano, representando alrededor del 7% del PIB agropecuario nacional [6].

Lo anterior, refleja la importancia y el impacto de la floricultura en la economía del país, por lo cual este es un sector que se encuentra en la carrera de la sostenibilidad y ha adoptado a lo largo de su historia prácticas que reducen su impacto ambiental como el uso de aguas lluvias, reducción en el uso de agroquímicos y aprovechamiento de los residuos generados, siendo este último la razón por la cual surge el presente trabajo. Dentro de los diferentes tipos de residuos generados por el sector se encuentran residuos aprovechables como cartón, plástico, papel y el material vegetal, los cuales representan el 90% de los residuos generados y los que actualmente se encuentran destinados para la elaboración de compostaje para su uso como fertilizante orgánico [7]. Sin embargo, el alto volumen de residuos de material vegetal generados puede llegar a dificultar su aprovechamiento, debido a los requerimientos de espacio para su aprovechamiento, como es el caso de la finca de flores objeto de estudio, que se encuentra

ubicada en el municipio de Madrid, Cundinamarca y donde el volumen de material vegetal generado es tal, que el abono orgánico elaborado no es aprovechado en su totalidad debido a que se presenta un exceso del mismo y no es posible incorporarlo dentro del cultivo.

De esta manera, el presente trabajo tuvo como finalidad evaluar una alternativa para el aprovechamiento de estos residuos vegetales generados para la producción de energía eléctrica, a través de un proceso de gasificación. Así, en primer lugar, se elaboró un análisis elemental de los residuos de material vegetal de la finca objeto de estudio, para determinar su potencial energético, en segundo lugar, se ejecutó con estos datos de la composición elemental, una simulación del proceso de gasificación empleando un modelo en MATLAB propuesto en un estudio elaborado por unos estudiantes de la Universidad Veracruzana de México, para la determinación de la composición del gas de síntesis. Posteriormente, con la composición del gas de síntesis y los datos de un gasificador comercial que incluye un Motor de Combustión Interna para la generación de energía, se estimó la cantidad de energía eléctrica generada durante el proceso de aprovechamiento de la biomasa. Así, finalmente se elaboró un análisis económico, técnico y ambiental de la alternativa de gasificación y se comparó con la elaboración de compostaje, como alternativa actual, de manera que fuera posible determinar su viabilidad y ventajas respecto al aprovechamiento actual del residuo de material vegetal.

Capítulo 2

OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Evaluar la prefactibilidad para el aprovechamiento del residuo de material vegetal a través de un proceso de gasificación, como alternativa a la elaboración de compostaje en una finca de flores en el municipio de Madrid.

1.2 Objetivos específicos

- 1.2.1 Analizar las características fisicoquímicas del residuo de material vegetal, con el fin de establecer su potencial para aprovechamiento a través del proceso de gasificación.
- 1.2.2 Determinar la posible composición del gas de síntesis generado a partir del residuo de material vegetal mediante la simulación del proceso.
- 1.2.3 Evaluar la prefactibilidad técnica, económica y ambiental de los procesos de gasificación y compostaje como alternativas para el aprovechamiento de residuo de material vegetal.

Capítulo 3

PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En Colombia, el sector floricultor se ha consolidado como uno de los de mayor crecimiento en materia de exportaciones agropecuarias junto al café y el banano, representado en el cultivo de una amplia variedad de flores. Dentro de las variedades plantadas se encuentran el cultivo de rosas, claveles, hortensias, crisantemos, alstroemerias y pompones, representando más de 7700 Ha sembradas en todo el territorio nacional según Asocolflores [8].

Los datos reportados para el año 2018 evidencian una producción de 239.497 t de flores, siendo la rosa la especie más cultivada (19,6%), seguida del Clavel (16,9%), Crisantemo (16,1%), Alstroemerias (7,6%) Hortensia (7,9%) Lirio (0,7%) y otros diversificados (31,1%) [9]. Esta producción se encuentra concentrada en los municipios de Cundinamarca (66%) y el Oriente Antioqueño (32%), donde en el municipio de Madrid, se cuenta con un área aproximada de 930 Ha destinadas para el cultivo de flor, de las cuales 444Ha son destinadas para el cultivo de rosas, 125 Ha para el cultivo de Clavel y el área restante para la producción de mini clavel, alstroemeria, pompom, entre otros [10]

Con el crecimiento de este sector, también se ha incrementado la cantidad de residuos generados por esta actividad, dentro de los cuales se encuentran residuos aprovechables como plástico, papel, cartón, metal, residuos ordinarios como plásticos de un solo uso y residuos sanitarios, residuos provenientes de procesos que emplean sustancias peligrosas y por último los residuos de material vegetal, los cuales representan la mayor proporción de residuos generados en el proceso de producción de flor (90%). Estos residuos usualmente son empleados para la elaboración de compostaje o incorporación directa sobre el terreno. Sin embargo, al ser acumulados en los espacios designados se pueden generar malos olores, plagas y lixiviados que pueden contaminar cuerpos de agua y suelo [7].

En el caso de Bogotá y Cundinamarca, los mayores productores de flores a nivel nacional, los residuos de material vegetal generados se procesan principalmente para la elaboración de compostaje, sin embargo, este proceso requiere de mano de obra adicional y un largo periodo que puede ser entre 5 a 8 semanas [11].

En el caso de la finca objeto de estudio, se producen diferentes especies de flores catalogadas como diversificados que incluyen crisantemos, pompom, aster, dianthus, breanthus, campanula, aster, entre otros y así mismo rosa. Mensualmente se generan aproximadamente 221 t de residuos de material vegetal, compuesto por tallos, hojas, raíces y flores. Este material vegetal actualmente es transportado a una zona designada para su reducción de tamaño, procesamiento, formación de pilas, volteo y elaboración de compostaje con una duración de aproximadamente 5 semanas, después de las cuales este compost es aplicado en el cultivo como abono orgánico para el mejoramiento de suelos.

Este proceso de elaboración de compostaje demanda mano de obra, tiempo y maquinaria especializada, lo cual implica altos costos fijos mensuales y el uso de combustibles fósiles durante el proceso. Lo anterior, sin mencionar los malos olores y vectores generados por el proceso de descomposición, que, si bien es realizado en un área cubierta designada para ello, pueden llegar a afectar a personal que transita o labora en los sectores aledaños.

Este residuo de material vegetal como la mayoría de los subproductos agroindustriales tiene potencial para ser aprovechado como fuente energética. Con el actual desarrollo tecnológico, el aprovechamiento de esta biomasa puede llevarse a cabo a través de diversas técnicas como la digestión anaerobia, la pirólisis o la gasificación, cuya evolución depende de la composición elemental de este residuo. Esta última técnica permite la generación de un gas combustible a través de la conversión termoquímica del material vegetal, a través de una oxidación parcial a temperaturas elevadas. El gas combustible obtenido puede ser empleado para la generación de energía mecánica, eléctrica o térmica, de tal manera que se atribuye valor agregado a materiales que son considerados como residuos luego del proceso de producción de flores [11].

La finca bajo análisis también cuenta con una zona de casino, donde se emplea GLP para la cocción de alimentos, con una demanda mensual aproximada de 151 Lb de GLP, que representan un costo operativo de aproximadamente \$375.900 COP al mes para la compañía y además se generan emisiones durante su transporte y consumo. También se requiere el consumo de energía de otras fuentes fósiles como como ACPM o gasolina para el funcionamiento de máquinas y plantas eléctricas, teniendo consumos promedio de 27.033 y 1.325 galones anuales de cada combustible respectivamente. El consumo

promedio mensual de energía eléctrica para el funcionamiento de equipos eléctricos e iluminación es de 214.800 KWh, de acuerdo con los consumos mensuales tomados del recibo de energía

De esta manera, por medio del presente trabajo se pretende plantear una alternativa que permita aprovechar los residuos vegetales con fines energéticos. Esta alternativa permite, simultáneamente, producir un mejorador de suelos útil para la operación del cultivo.

Capítulo 4

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se presentan los conceptos relacionados con el proceso actual realizado a los residuos de material vegetal de flor y el proceso que se quiere evaluar que es la gasificación de dichos residuos. Así mismo, los conceptos asociados para el análisis ambiental en términos de emisiones y finalmente se presenta un análisis de estudios previos tomados como referencia para la elaboración del presente trabajo.

- **HUELLA DE CARBONO**

La huella de carbono es un indicador que permite cuantificar la cantidad de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), expresadas en toneladas de CO_{2eq}, que son liberadas a la atmósfera como consecuencia del desarrollo de una actividad. El cálculo de la huella de carbono se realiza a partir de la multiplicación entre el dato de consumo o generación de la actividad por cada GEI asociado, estimado con los diferentes factores de emisión de la actividad y su Potencial de Calentamiento Global (GWP) asociado en un periodo de 100 años, los cuales son estimados para cada país y actividad de acuerdo con el IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) [12].

El IPCC es un panel que tiene como objetivo principal evaluar la información técnica, científica y socioeconómica de relevancia para la comprensión del cambio climático, así como sus potenciales impactos y las diferentes alternativas de mitigación y adaptación [13]. Existen diferentes estándares y metodologías a nivel mundial para la estimación de la Huella de Carbono de un proceso, una de ellas es la iniciativa del Protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHP PI) desarrolladas por un conjunto de organizaciones no gubernamentales (ONGs), gobiernos y otras entidades, convocada por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), ONG radicada en Estados Unidos, y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD), donde se presentan los lineamientos para llevar a cabo los inventarios de GEI y el posterior cálculo de la Huella de carbono [14].

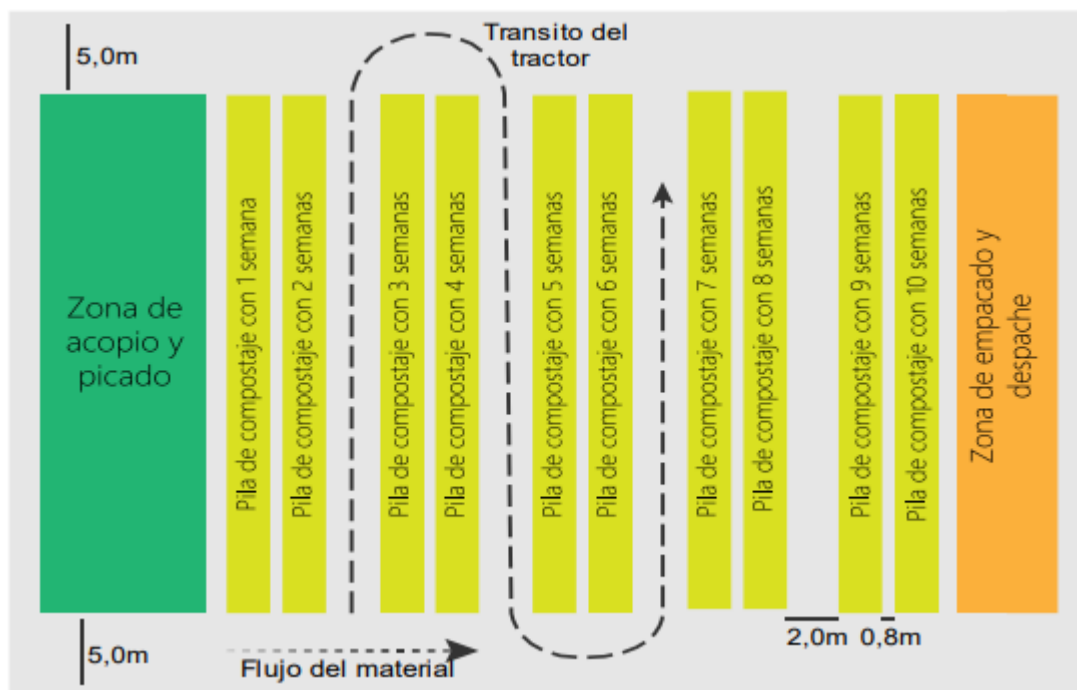
- **COMPOSTAJE**

Actualmente, los residuos de material vegetal de la floricultura son compostados, para su posterior uso como fertilizante orgánico en el mismo cultivo. Este proceso es definido como la descomposición biológica oxidativa de la fracción orgánica de los materiales de desecho, producido en condiciones controladas sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido [15]. Este proceso consta de diferentes etapas, después de las cuales se obtiene como producto final compost homogéneo, con una diversa cantidad de microorganismos benéficos y en su composición química fracciones orgánicas e inorgánicas de nitrógeno, fosforo, potasio y macronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas [16].

En las primeras fases del proceso de compostaje, los microorganismos mineralizan y metabolizan el carbono orgánico simple generando dióxido de carbono, amoníaco, agua, ácidos orgánicos y calor, donde éste último permite la descomposición de proteínas, grasas, celulosa y hemicelulosa contenidos en los residuos de material vegetal. Así mismo, las altas temperaturas que se alcanzan durante el proceso de compostaje, las cuales pueden ser superiores a los 45°C, permiten el crecimiento de microorganismos termo tolerantes, que usualmente son antagonistas de microorganismos patógenos de plantas [17] [18].

En la finca de flores objeto del presente estudio, el proceso de compostaje se realiza a través de pilas móviles con aireación fija, donde dentro del área de compostaje se definen 3 zonas: Acopio y picado; armado y rotación de pilas; y empacado y despacho de compost (**Figura 1**). De esta manera, el material vegetal proveniente de cultivo y postcosecha se organiza en la zona de acopio, donde permanece hasta que es picado por la desbrozadora hasta obtener un tamaño de partícula promedio de 5-10cm en diversificados o 5cm en rosa. Posteriormente, se arman las pilas de compostaje en la zona de armado y rotación de pilas, en parejas separadas entre 0,8 y 1,0m y entre cada pareja de pilas con un espacio de 2,0m, con el fin de optimizar el uso del espacio y tránsito del tractor. Es este proceso de compostaje, la aireación del material vegetal se realiza por medio del volteo, el cual se lleva a cabo con una máquina volteadora compost o compostadora, con una periodicidad mínima de 8 a 10 días [19].

Figura 1. Organización general en zona de compostaje



Fuente: Tomado de documento interno C.I Sunshine Bouquet S.A.S “Manejo Adecuado de Material Vegetal en Compostera”,2021. [19].

Semanalmente cada pila debe ser trasladada de posición, de manera que se aleja de la zona de acopio y picado y se acerca a la zona de armado y despacho, de acuerdo con el flujo del material que se muestra en la **Figura 1**. El tiempo aproximado para la obtención de compost semimaduro en rosa es de 76 días y en diversificados de 70-90 días, mientras que para la obtención de compost maduro es de 97 días en rosa y de 91 a 121 días en diversificados. Con el fin de garantizar un adecuado proceso de compostaje, se cuenta con un estimado de porcentaje de área bajo invernadero requerido como espacio en la compostera según el tipo de cultivo, donde para rosa este es del 1,2% del área bajo invernadero de la finca y en diversificados del 1,4% del área bajo invernadero [19].

- **GASIFICACIÓN DE BIOMASA**

La gasificación de la biomasa implica un conjunto de reacciones termoquímicas ocasionadas en un ambiente con poco oxígeno, mediante las cuales un sólido con contenido

de celulosa se transforma en una mezcla de gases combustibles constituida principalmente por hidrógeno (18-20%), monóxido de carbono (18-20%), dióxido de carbono (8-10%), metano (2-3%), trazas de hidrocarburos y agua, que pueden ser empleados en sistemas de generación eléctrica constituidos por turbinas, calderas, motores o máquinas de combustión, luego de un proceso de acondicionamiento [20].

En el proceso de gasificación, la energía química presente en los residuos sólidos es transformada en energía contenida en un gas, el cual puede ser empleado como materia prima o como combustible en procesos industriales. Así mismo, se generan cenizas que pueden ser consideradas como un residuo o valorizarse, a través de su uso como material de construcción, fabricación de vidrio, entre otros [21]. Por otra parte, también dependiendo del modelo del reactor, de la composición de la biomasa y las condiciones de operación, el gas producido, conocido como gas pobre, puede contener impurezas como NH_3 , H_2S , HCl , material particulado, metales y alquitranes. Estas mezclas complejas suelen condensarse generando obstrucción en los sistemas de tuberías, filtros, o los intercambiadores de calor aguas abajo del gasificador y pueden causar el fallo mecánico de los equipos generando pérdidas [22].

El proceso de gasificación incluye las fases de secado, descomposición térmica o pirolisis, combustión parcial de algunos gases, vapores y char y gasificación. En la **Tabla 1**. Se evidencian las principales reacciones que tienen lugar durante el proceso. La pirolisis es un proceso de descomposición térmica que parcialmente remueve carbón del combustible, pero no agrega hidrógeno, mientras que la gasificación requiere un medio gasificante como vapor, aire u oxígeno para reorganizar la estructura molecular de la materia prima con el fin de convertirla de su fase sólida a gases o líquidos, así mismo, puede adicionar hidrógeno al producto [23].

Tabla 1. Reacciones típicas proceso de gasificación a 25°C

NOMBRE DE REACCIÓN	REACCIÓN	NÚMERO	
REACCIONES DE CARBONO	Boudouard	$C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$	R1
	Agua-gas o vapor	$C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$	R2
	Metanación	$C + 2H \leftrightarrow CH_4$	R3
	Combustión parcial	$C + 1/2O_2 \leftrightarrow CO$	R4
REACCIONES DE OXIDACIÓN	Combustión completa	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	R5
REACCIONES DE CAMBIO	Cambio de agua-gas	$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$	R6
REACCIONES DE METANACIÓN	Metanación de CO	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$	R7
	Metanación de CO ₂	$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$	R8

Fuente: Elaboración propia con información tomada de [23].

○ Tecnologías de gasificación

El gasificador es la tecnología que permite obtener la composición de gas deseada y garantizar una producción estable en los procesos subsiguientes. Estos equipos se clasifican por el método de contacto que utilizan entre las fases sólida (biomasa) y gaseosa (agente oxidante) y pueden ser agrupados en tres tipos: gasificadores de lecho fijo, de lecho fluidizado y de arrastre. Adicionalmente, recientemente han surgido gasificadores en condiciones supercríticas y de plasma [24].

- **Gasificadores de lecho fijo/móvil:** En estos reactores, las fases se ponen en contacto según el modelo de flujo en pistón, teniendo las zonas de reacción de secado, pirólisis, oxidación y gasificación. La biomasa se mueve lentamente como un pistón mientras entra en contacto con un flujo de agente oxidante y dependiendo de la dirección del flujo de biomasa, pueden ser de flujo ascendente, descendente o cruzados. Pueden tener una capacidad desde 10kW hasta 10MW de carga térmica inicial y tratar tamaños de partículas desde 1 hasta 100mm. Algunas de sus desventajas radican en la baja eficiencia de transferencia de calor, lo cual genera una disformidad en la distribución de temperaturas y aglomeración de combustible [22].

- **Gasificadores de lecho fluidizado:** Se caracterizan porque el agente gasificante mantiene el combustible suspendido hasta que las partículas se gasifican y convierten en cenizas, donde algunas de ellas son cenizas volantes y pueden ser arrastradas por la corriente del gas pobre, mientras que las otras se depositan en la parte inferior del reactor. El lecho se encuentra conformado por un material granular que puede ser inerte como arena de sílice o con propiedades catalíticas y este lecho puede ser burbujeante o con recirculación. En los de lecho burbujeante, el agente oxidante se alimenta por el fondo y conforma el medio de fluidización, las partículas de biomasa se ponen en contacto con el lecho que ha sido previamente calentado, generando un rápido secado y posterior pirolisis. Los gasificadores de lecho circulante se componen de un lecho para la conversión de biomasa, un ciclón y un dispositivo para la recirculación de sólidos. Su velocidad de fluidización es superior a la de los lechos de burbujeo, su temperatura de operación se encuentra entre 800 y 1000°C y su inercia térmica y mezclado vigoroso favorecen el trabajo con diferentes tipos de biomasa [22].
- **Gasificadores con arrastre:** Este tipo de reactores son adecuados para la integración con ciclos combinados, generalmente el material previamente pulverizado y mezclado con agua se alimenta junto al agente oxidante dentro de la cámara del reactor. La transferencia de calor al gas es rápida, alcanzando la temperatura de reacción de manera inmediata, sin embargo, en el caso de la fase sólida se comporta como un pistón [22].
- **Gasificadores por plasma:** Operan a elevadas temperaturas y tienen la capacidad de convertir los hidrocarburos más complejos de la estructura a moléculas gaseosas sencillas. Las altas temperaturas generan la fusión de los compuestos inorgánicos, que se presentan en alto porcentaje cuando se trata de residuos. Su energía proviene de un arco eléctrico formado por dos electrodos entre los que fluye gas inerte y hacen que la temperatura de la zona de reacción alcance los 2500 a 4500 °C [22].

Teniendo en cuenta la crisis energética mundial, las técnicas para el aprovechamiento de los subproductos agroindustriales han tomado especial importancia en la última década, algunas de ellas son la gasificación y el compostaje, expuestas anteriormente, empleadas

con el fin de obtener energía en el primer caso y compost en el segundo. En el artículo “Gasificación de biomasa para la producción sostenible de energía. Revisión de las tecnologías y barreras para su aplicación” los autores recopilan la información referente a los diferentes procesos de gasificación de biomasa, los avances tecnológicos, las aplicaciones con perspectivas de desarrollo de corto plazo, sus ventajas y desventajas y las barreras existentes antes de su establecimiento a nivel mundial. En este artículo se constató que la generación distribuida a pequeña escala y los ciclos combinados son alternativas que potencian el establecimiento futuro de un mercado para la producción sostenible de energía y también que la presencia de sustancias indeseables en los gases de gasificación como el alquitrán, amoniaco, material particulado y NOx, son factores críticos que deben tenerse en cuenta en todos los diseños de este proceso [22].

Por otra parte, en la tesis de grado titulada “Simulación del proceso de gasificación termoquímica para la obtención de gas combustible, aplicado a la cascarilla de café”, el autor desarrolla un programa de simulación numérica que permitió conocer el comportamiento de la biomasa de cascarilla de café en un proceso de gasificación y las características del gas producido por esa biomasa, tales como su composición y contenido energético, a través del programa MATLAB. Este simulador desarrollado puede ser empleado para cualquier otra biomasa cuya composición elemental sea conocida y con la biomasa de cascarilla de café se obtuvo una correlación entre el valor estimado de la energía de activación teórica y lo reportado por la literatura, presentando congruencia y validando los datos obtenidos y la simulación [25].

En Colombia, estas técnicas están tomando fuerza con la transición energética que vive el país y apenas se está incursionando en el sector floricultor. En el artículo “Gasificación de biomasa residual en el sector floricultor, caso: Oriente Antioqueño”, dos integrantes del Grupo de Investigación en termodinámica aplicada y energías alternativas de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia llevaron a cabo un proceso de gasificación en un reactor a escala de laboratorio, de una mezcla de 1/3 de cada especie de biomasa residual del cultivo de pompón, aster y hortensia, tomando como agente gasificante vapor de agua. Con el fin de emplear esta biomasa como materia prima, antes del proceso de gasificación fue sometida a secado solar y posteriormente un procedimiento

de reducción de tamaño de partícula, así mismo, fue caracterizada mediante análisis próximo y último y se determinó la temperatura de operación del reactor en un rango de 700 a 750°C. El gas de síntesis obtenido de este proceso de gasificación fue analizado por cromatografía de gases, obteniendo una composición promedio de producción del gas de: CH₄ 2,8-5% v, CO 9,3-22,2% v, H₂ 30,3-46,6% v [11].

Por otra parte, este mismo grupo de investigación en conjunto con el Centro de Excelencia en Generación Termoeléctrica y Distribuida (NEST), elaboró un estudio posterior siguiendo la línea del anterior, denominado “Gasification of agro-industrial waste from colombian flower industries, for electricity cogeneration” en el año 2014, donde en primer lugar realizaron un análisis de la biomasa disponible de material vegetal generado en los cultivos de flores de Antioquia y se tomaron las 3 variedades de mayor superficie sembrada de la región; Aster, Hydrangea y Crisantemo. Con el fin de determinar la composición elemental de cada variedad, se realizó un muestreo aleatorio de cada variedad al momento de ser cosechadas, con el objetivo de obtener la mayor precisión posible de las muestras de residuos generados y cuantificar los residuos generados en la etapa de corte para cada variedad. Posteriormente, una mezcla representativa de estos residuos fue introducida en un reactor de gasificación de corriente descendente, usando como agente gasificante vapor, aire y una mezcla de los dos a una temperatura de 850°C. Obteniendo un gas de síntesis con una composición promedio de CO (21,9%), H₂ (44,8%), CO₂ (24,4%), N₂ (5,9%) y CH₄ (3,1%). Así mismo, con los datos obtenidos experimentalmente, se alimentó un modelo Cero dimensional en el software Aspen Plus, donde se destaca que el 20% de la energía derivada del gas producido por la gasificación, puede convertirse posteriormente en electricidad, concluyendo que cada kilogramo de biomasa con 11% de humedad con la cual se alimenta el proceso aportará 0,66kW de potencia eléctrica al motor generador [26]. En cuanto al aprovechamiento de residuos de material vegetal a través de procesos de compostaje, en el trabajo de grado “Diagnóstico del manejo de residuos de clavel generados en la industria floricultura de la Sabana de Bogotá y la Factibilidad Técnica-Ambiental para su aprovechamiento como compostaje mecanizado y biogás” [15], la autora realiza en primer lugar un diagnóstico de los residuos vegetales de clavel generados en la industria floricultora de la Sabana, cantidades, costos de manejo e impactos generados

por su manejo. Así mismo se analizan para cada alternativa estudiada (compostaje y producción de biogás) los componentes técnicos, ambientales y económicos en el marco de una evaluación de impacto ambiental, de manera que se orienta a las empresas del sector floricultor acerca de medidas de prevención, corrección, mitigación, compensación, seguimiento y control en el manejo de residuos de clavel. El estudio concluye que el compostaje mecanizado y la biodigestión permiten procesar el 100% de los residuos de clavel generados y las dos alternativas cumplen con criterios de producción limpia y cumplimiento de la legislación vigente. Así mismo, son económicamente viables, siendo la biodigestión más costosa en su implementación, sin embargo, las dos alternativas generan beneficios para las empresas floricultoras tanto de reducción de emisiones, como el aprovechamiento de sus residuos para procesos de fertilizantes orgánicos, compost líquido y biogás [15].

De esta manera, es posible evidenciar el potencial energético que representan el aprovechamiento de este tipo de residuos de material vegetal para la generación de energía, contando con algunos ejercicios previos realizados en el sector floricultor, donde se han obtenido resultados prometedores en la conversión fisicoquímica de esta biomasa a través de procesos de gasificación para la generación de energía eléctrica. Es importante, de acuerdo con el estado del arte revisado, escoger la tecnología de gasificación adecuada y pertinente a la biomasa estudiada, siendo estos estudios una guía que permite tener criterios para su selección y llevar a cabo el presente estudio.

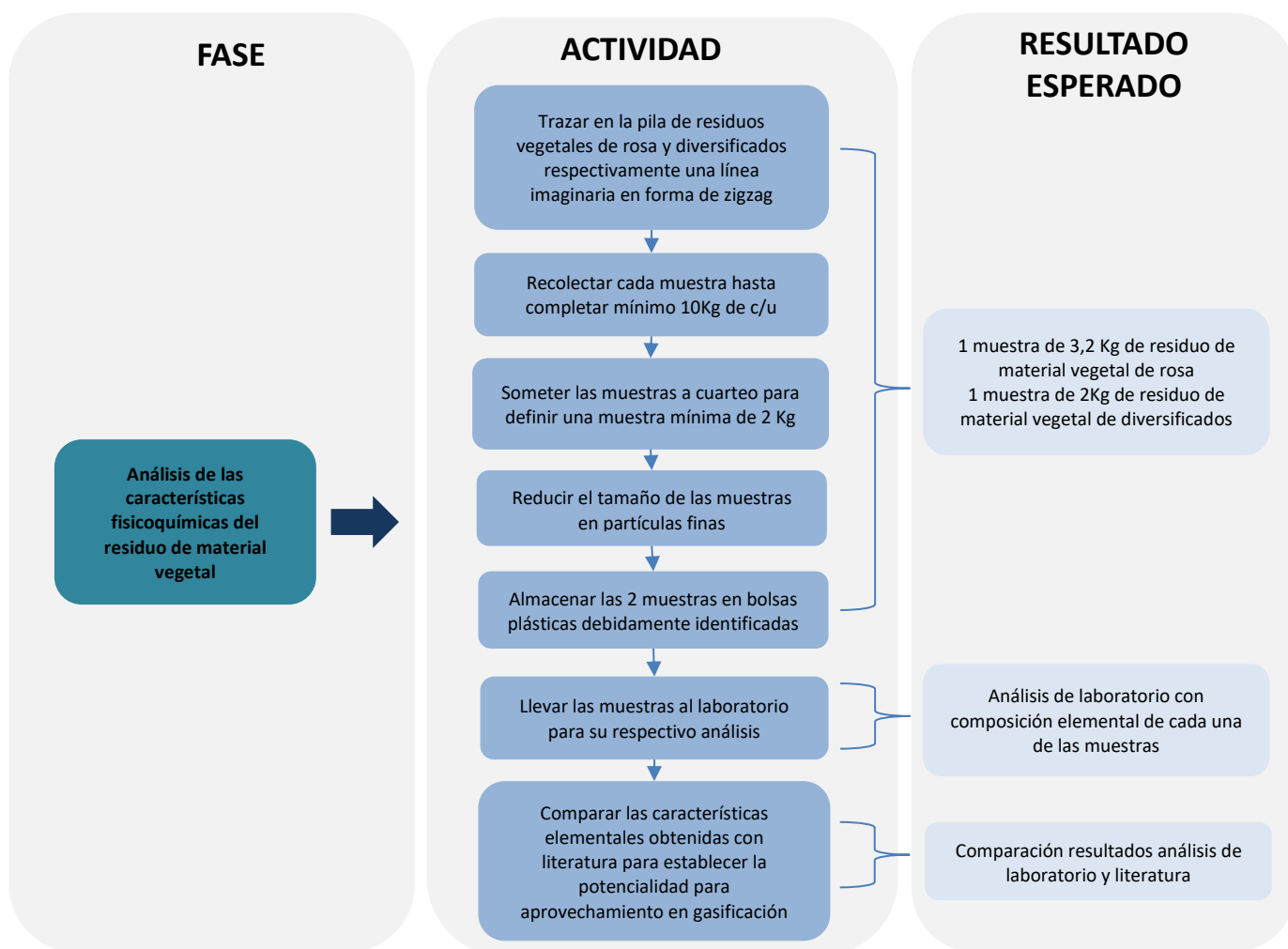
Capítulo 5

METODOLOGÍA

La metodología empleada considera tres fases, de acuerdo con los objetivos establecidos al inicio del documento. De esta manera, a continuación, se presenta una descripción detallada de cada una de ellas, con las actividades llevadas a cabo y los resultados esperados de cada una:

FASE 1: Análisis características fisicoquímicas del material vegetal

El objetivo de esta fase es determinar las características fisicoquímicas del material vegetal de rosa y la mezcla de diversificados a través de la elaboración de análisis elementales en un laboratorio.



Con el fin de realizar la toma de muestra del material vegetal, dentro de las composteras de diversificados y rosas de la finca, se empleó el método de zigzag sugerido en el “Atlas del Potencial energético de la Biomasa Residual en Colombia” [2], donde en una pila de material vegetal fresco se trazó una línea imaginaria en forma de zigzag, con el fin de determinar los puntos de toma de la muestra, como se evidencia en la **Figura 2**. De esta manera, en cada pila se tomaron muestras de 7 puntos diferentes compuestas por tallos, hojas y flores, hasta conformar una muestra compuesta de 10Kg.

Figura 2. Pila de material vegetal de rosa-Puntos de toma de muestra



Fuente: Autor,2023.

Es importante destacar que en la compostera de diversificados se encontraban residuos de especies de flor como delphinium, breanthus, dianthus y campanulas, con las cuales se conformó la muestra tomada, debido a que se encontraban mezcladas dentro de la pila de material vegetal.

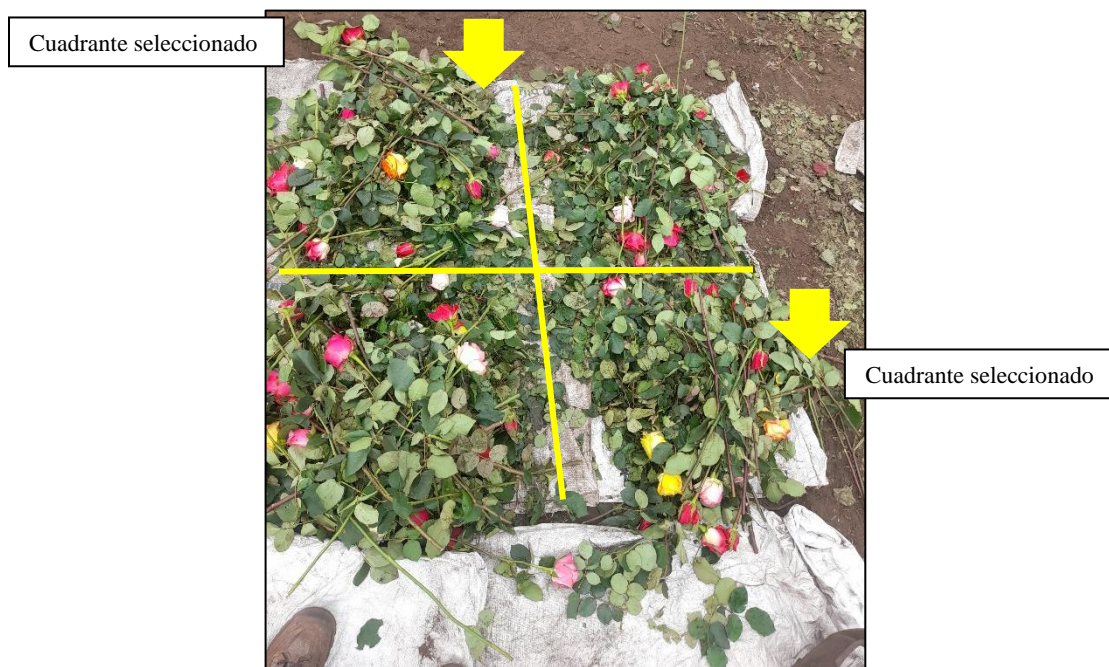
Figura 3. Pila de material vegetal de diversificados - Puntos de toma de muestra



Fuente: Autor, 2023.

Este material vegetal que conformó la muestra inicial compuesta fue extendido en un área cuadrada de 1,5m x 1,5m aproximadamente, para someterlo a un cuarteo. Se dividió el área en 4 partes iguales y se seleccionaron 2 lados opuestos que conformarían la muestra, descartando los otros dos lados (**Figura 4**). Así, el material vegetal seleccionado para la muestra fue picado a un tamaño de partícula de 5cm y empacado en bolsas transparentes herméticas (**Figura 5**), posteriormente fue pesado con el fin de determinar el tamaño de la muestra final, de esta manera, para el caso del material vegetal de rosa el peso de la muestra fue de 3,2Kg y para el material vegetal de diversificados el peso de la muestra final fue de 2,4Kg.

Figura 4. Cuarteo de muestra de material vegetal



Fuente: Autor,2023.

Figura 5. Empaque de muestras



Fuente: Autor,2023.

Estas muestras fueron tomadas y llevadas el 10 de abril de 2023 al laboratorio de ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Los Andes Sede Bogotá para llevar a cabo el Análisis próximo, con el fin de conocer las condiciones de humedad, cenizas, material volátil, carbono fijo y poder calorífico, y el análisis último, el cual permite conocer los contenidos en porcentaje para las especies: hidrógeno, carbono, nitrógeno y azufre, con el fin de determinar su composición elemental y propiedades energéticas. En la **Tabla 2** se evidencian los parámetros y métodos de los análisis próximo y último:

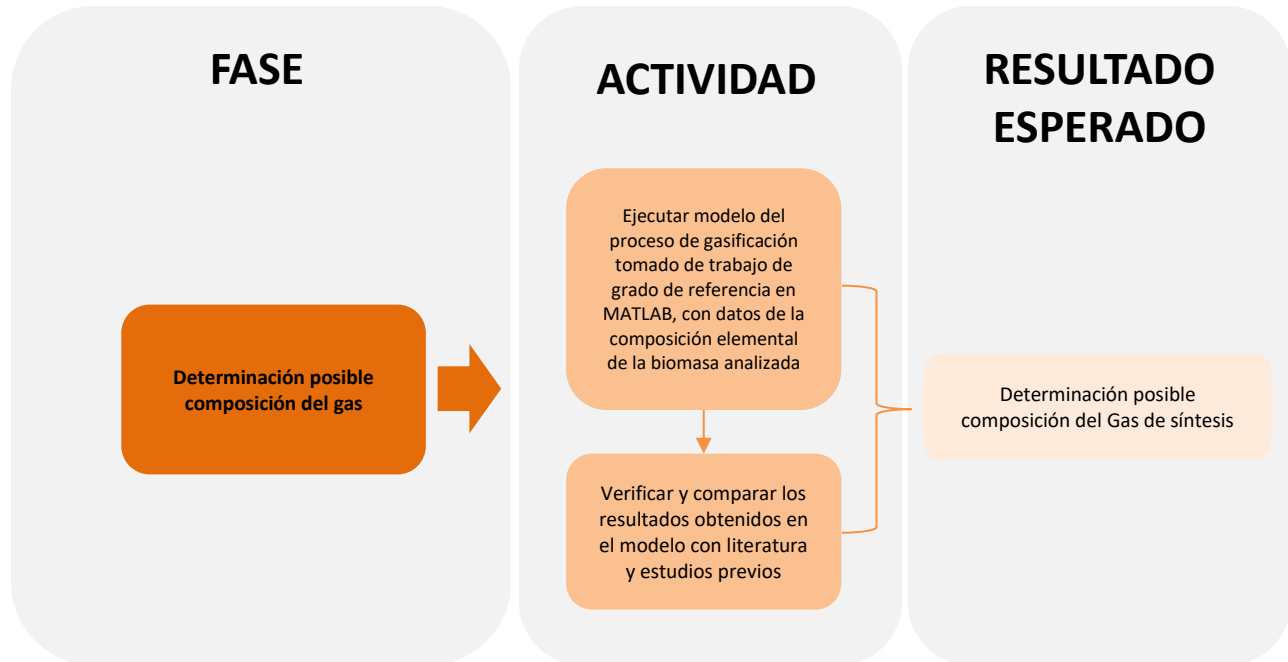
Tabla 2. Parámetros y métodos de análisis muestras de material vegetal - Universidad de los Andes

Parámetro	Técnica	Método de Referencia
Humedad	Gravimétrica	SM 2540G Edición No.22-2012
Ceniza a 575°C	Gravimétrica	ASTM E1755
Material volátil 950°C	Gravimétrica	ASTM E872
Carbono fijo	Calculo a partir de humedad, ceniza, material volátil	
Poder Calorifico	Bomba calorimétrica	ASTM E711-06 Reaprobado (2004)
Analisis Elemental	Analizador elemental	ASTM D5373
Carbono		
Nitrógeno		
Hidrógeno		
Azufre		

Fuente: Laboratorio Universidad de Los Andes, 2023.

FASE 2: Determinación posible composición del gas de síntesis

El objetivo de esta fase fue determinar a través de una simulación del proceso de gasificación la posible composición del gas de síntesis resultado de la gasificación de las biomásas seleccionadas en el presente estudio.



Con el fin de determinar la posible composición del gas de síntesis obtenido a partir de la gasificación del material vegetal analizado, se empleó el programa de simulación numérica desarrollado en MATLAB por Ruiz en el trabajo denominado “Simulación del proceso de gasificación termoquímica para la obtención de gas combustible, aplicado a cascarilla de café” [25]. De acuerdo con el autor, este simulador fue desarrollado para ser utilizado con cualquier biomasa de la que se conozca su composición elemental y permite conocer su comportamiento durante un proceso de gasificación y las características del gas que dicha biomasa produciría, su composición y contenido energético. Dentro de este programa se tienen en cuenta las siguientes consideraciones iniciales:

- El proceso de gasificación se toma como un proceso termodinámico ideal, adiabático, desarrollado bajo la máxima eficiencia posible, no se presentan pérdidas de energía diferentes a las relacionadas con el aumento de entropía inherente a las reacciones químicas.
- El proceso se lleva a cabo sobre una molécula empírica de biomasa, donde se toma el carbono como elemento base, de manera que la fórmula siempre tendrá una unidad de carbono y las cantidades de los demás elementos serán calculados a partir de ella.

- El sistema se considera en un volumen cerrado, donde no se presentan intercambios de materia ni energía con el medio, sin embargo, es posible añadir el dato de energía inyectada al sistema en forma de calor, en caso de ser requerido por el usuario.
- El sistema se desarrolla en estado estable, por lo tanto, no existen respuestas transitorias.
- Debido a que el proceso tiene lugar a nivel molecular, las propiedades de la biomasa como la densidad, porosidad, tamaño de partícula y similares, no se consideran influyentes en este modelo.

De esta manera, el programa desarrollado por [25] fue ejecutado en MATLAB, donde los datos de entrada fueron los resultados del análisis elemental de las 2 muestras de material vegetal tomadas y enviadas al laboratorio de la Universidad de Los Andes y los datos de las condiciones iniciales dadas en el artículo, como se evidencia en la **Tabla 3**. Posteriormente, estos resultados se analizaron y contrastaron con literatura, con el fin de determinar su pertinencia y así proceder con la siguiente fase del presente trabajo.

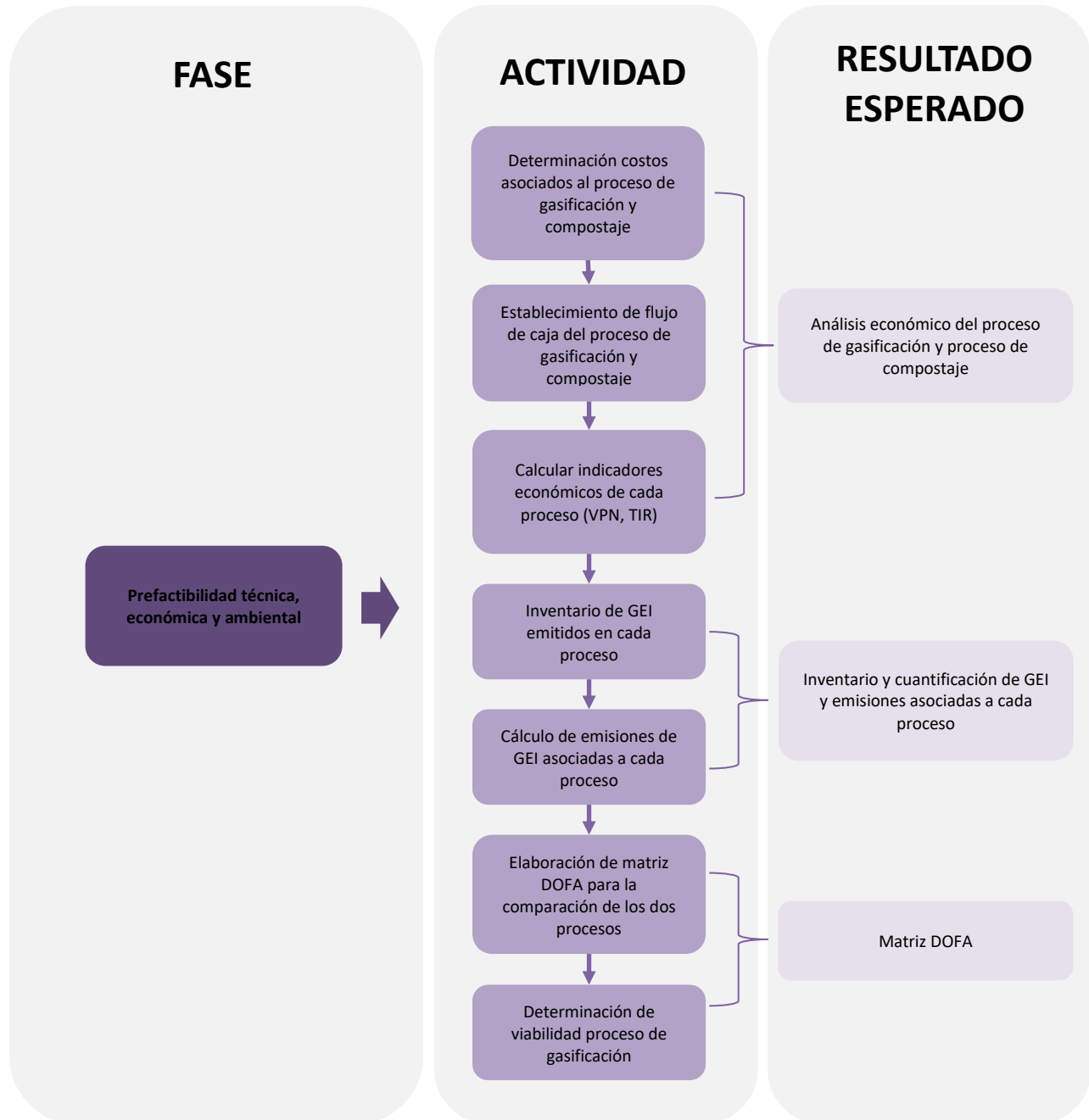
Tabla 3. Datos de entrada al simulador - Condiciones iniciales

CONDICIONES INICIALES	
% de oxígeno molar en el aire	21,00840336
Presión total	760 mmHg
Temperatura inicial de la biomasa	25 °C
Temperatura inicial del aire	25 °C
Temperatura inicial del vapor de agua	100 °C
Calor añadido	0J/min
# de valores para los parámetros de estimación	5

Fuente: Elaboración propia.

FASE 3: Análisis de prefactibilidad técnica, económica y ambiental

Con el fin de determinar la viabilidad de la implementación del proceso de gasificación para el aprovechamiento de los residuos de material vegetal en la finca de flores, se realizó un análisis a nivel técnico, económico y ambiental, como se describe a continuación.



Una vez determinada la composición del gas, se propone un análisis económico de este proceso y del proceso que se lleva a cabo actualmente con esa biomasa, que es el proceso de compostaje, teniendo en cuenta las operaciones unitarias y los costos asociados de instalación, operación y mantenimiento y la Tasa de Retorno. Así mismo, en cuanto al análisis ambiental, se realizó un análisis de las emisiones de GEI generados con cada uno

de los procesos, teniendo en cuenta revisión bibliográfica y para el caso del proceso de gasificación, las emisiones generadas de acuerdo con la simulación realizada en MATLAB. Posteriormente, a través de un análisis DOFA, se realiza un comparativo de las dos alternativas, con el fin de evaluar su viabilidad y beneficios obtenidos con cada una de ellas.

Capítulo 6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. FASE 1: Análisis características fisicoquímicas del material vegetal

Las muestras de residuo de material vegetal de rosa y material vegetal de diversificados fueron analizadas por separado, con el fin de conocer su composición elemental y condiciones anteriormente descritas derivadas de los análisis último y próximo. De esta manera, en el **Anexo 1**, se presentan los informes de laboratorio y en la **Tabla 4**, se resumen los resultados de los análisis para las diferentes muestras.

Tabla 4. Resultados análisis próximo y último residuos de material vegetal

TIPO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	UNIDADES	ROSA	DIVERSIFICADOS	MÉTODO
ANÁLISIS PRÓXIMO	Humedad	% BH	74,4	79,6	MT-PRE-073
	Cenizas a 575°C	% BS	5,56	12,8	SM 2540 G modificado
	Materia Volátil a 950°C	%BS	70,1	68,1	ASTM D3175
	Carbono fijo	%BS	21	15,8	CÁLCULO
	Poder Calorífico	BTU/lb	8227	7004	ASTM E711-06
ANÁLISIS ELEMENTAL	Nitrógeno	%BS	1,78	3,01	ASTM D5373-16
	Carbono	%BS	41,6	40,2	ASTM D5373-16
	Azufre	%BS	0,36	0,68	ASTM D5373-16
	Hidrógeno	%BS	3,41	3,28	ASTM D5373-16
	Oxígeno	%BS	52,85	52,83	Calculado por diferencia*

Fuente: Elaboración propia con resultados análisis de laboratorio Universidad de Los Andes

De acuerdo con los resultados del análisis próximo, para el residuo vegetal de rosa se destaca una fracción de material convertible del 91,1% y para el residuo de material vegetal de diversificados del 83,9%. Así mismo, se evidencia un contenido moderado de cenizas, siendo para el residuo de rosa del 5,56% y para el residuo de diversificados del 12,8%, lo cual es importante tener en cuenta debido a que no es un material transformable energéticamente y puede posibilitar la formación de óxidos corrosivos en los equipos [27]. Entre tanto, teniendo en cuenta el contenido de azufre en los residuos analizados, es posible afirmar que pueden conducir a una baja formación de óxidos de azufre (SO_x). Así mismo, se evidencia un alto potencial calorífico de acuerdo con los resultados, donde para el residuo vegetal de rosa es de 19,1 MJ/Kg y para el residuo de diversificados del 16,3

MJ/Kg, en contraste con el poder calorífico de otros residuos como el raquis del maíz que es del 14,3MJ/Kg [27] o la cascarilla de arroz que se encuentra entre 13,9-16,2 MJ/Kg [2]. Estos resultados fueron comparados con la composición elemental de biomasa residual del sector floricultor de otros estudios similares realizados, con el fin de establecer la pertinencia de los resultados y similitud entre los mismos. De esta manera, en la **Tabla 4**. se presentan los resultados obtenidos en el presente estudio (Análisis) y los resultados informados por los autores en el artículo “Gasificación de biomasa residual en el sector floricultor, caso: Oriente Antioqueño” [11] (Estudio 1), para una mezcla representativa de residuos de Áster, Pompón y Hortensia, y “Gasification of agro-industrial waste from Colombian Flower Industries, for electricity cogeneration” [26] (Estudio 2), para residuos de Crisantemos.

Es posible evidenciar en esta tabla que los resultados obtenidos para la composición elemental de las diferentes muestras de residuo de material vegetal presentan una composición similar a las muestras de los estudios consultados. El contenido de humedad es significativamente mayor, esto se debe a que las muestras no fueron sometidas a un proceso de secado al aire libre como si se realizó con las muestras de los estudios comparados, de manera que es necesario someter el residuo a un proceso de secado antes de someterlo a un proceso de gasificación, con el fin de reducir su humedad hasta un 10%-20%. Entre tanto, es posible evidenciar que, en cuanto a la composición elemental de los residuos, no se presentan diferencias significativas debido a su naturaleza y composición, siendo la rosa por su naturaleza “leñosa”, con un mayor contenido de lignocelulosa, el residuo con mayor contenido de carbono.

Tabla 5. Comparación resultados análisis próximo y elemental

TIPO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	UNIDADES	ANÁLISIS		ESTUDIO 1 [11]	ESTUDIO 2 [26]
			ROSA	DIVERSIFICADOS	MEZCLA REP. DIVERSIFICADOS	CRISANTEMOS
ANÁLISIS PRÓXIMO	Humedad	% BH	74,4	79,6	10,87	11,29
	Cenizas a 575°C	% BS	5,56	12,8	27,8	30,06
	Material Volátil a 950°C	%BS	70,1	68,1	46,44	44,8
	Carbono fijo	%BS	21	15,8	14,89	13,19
	Poder Calorífico	BTU/lb	8227	7004	-	-
	Poder Calorífico	MJ/Kg	19,13	16,29	13,60	12,99
ANÁLISIS ELEMENTAL	Nitrógeno	%BS	1,78	3,01	2,57	2,54
	Carbono	%BS	41,6	40,2	39,8	35,43
	Azufre	%BS	0,36	0,68	0,30	0,56
	Hidrógeno	%BS	3,41	3,28	3,68	4,99
	Oxígeno	%BS	52,85	52,83	52,42	53,00

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados análisis de laboratorio Universidad de los Andes y reportes de autores en [11] y [26].

2. FASE 2: Determinación posible composición del gas de síntesis

Una vez fue ejecutado el programa en MATLAB, con los datos de los análisis elementales de los residuos estudiados, se obtuvo una simulación del proceso de gasificación para cada residuo de material vegetal estudiado y se generó como resultado una base de datos para cada uno, donde se evidencian los siguientes datos: avance de reacción, razón de equivalencia, energía de activación, temperatura, fracción molar de las especies de H₂, CH₄, CO, CO₂, H₂O, H₂S, O₂ y N₂, la masa del gas, entalpía sensible, entalpía de combustión y el contenido energético total. Estas tablas de resultados se evidencian en el **Anexo 1. Resultados modelo MATLAB residuo rosa** y **Anexo 2. Resultados modelo MATLAB residuo diversificados**.

De esta manera, teniendo en cuenta los resultados de la simulación, se tomaron como base para la determinación de las características del gas de salida aquellos resultados de una reacción completa, que en las tablas de resultados se presentan como alfa (Avance de reacción) igual a 1. Así, en la **Tabla 6**. es posible evidenciar el resumen de los resultados obtenidos en el modelo, con las características del gas de salida y su composición. Con el fin de contrastar los datos obtenidos con estudios previos, se tomaron como referencia

también los resultados obtenidos por [26] en su artículo “Gasification of agroindustrial waste from colombian flower industries, for electricity cogeneration”, donde se evaluó el proceso de gasificación de 3 tipos de residuos de material vegetal de flor a través de un modelo elaborado en el software Aspen Plus ® y se determinó la posible composición del gas de salida, lo cual se evidencia también en la **Tabla 6**, en la columna “Estudio de referencia 1”. También se tomaron como referencia los resultados obtenidos por [11] en su artículo “Gasificación de biomasa residual en el sector floricultor, caso: Oriente Antioqueño”, donde se determinó la composición del gas de síntesis resultado de la gasificación de biomasa residual también de 3 tipos de residuos de material vegetal a través de un gasificador experimental, los cuales se evidencian en la **Tabla 6**. en la columna “Estudio de referencia 2”.

Tabla 6. Características del gas de salida proceso de gasificación - Modelo MATLAB

COMPOSICIÓN DEL GAS	ROSA	DIVERSIFICADOS	ESTUDIO DE REFERENCIA 1 [26]	ESTUDIO DE REFERENCIA 2 [11]
H ₂	10,80%	10,87%	10,90%	30,3% - 46,4%
CH ₄	3,82%	3,85%	No reporta	2,8% - 5%
CO	1,09%	1,09%	14,60%	9,2% - 22,2%
CO ₂	17,23%	17,44%	10,70%	22,5% - 53,4%
H ₂ O	0,00%	0,00%	No reporta	No reporta
H ₂ S	0,02%	0,04%	No reporta	No reporta
O ₂	2,01%	1,96%	0,00%	No reporta
N ₂	65,03%	64,75%	54,40%	No reporta
Contenido energético (MJ/Kg)	3,58	3,61	2,73	No reporta
Poder calorífico Inferior (MJ/Kg)	2,33	2,34	No reporta	No reporta
# Moles totales	4,52	4,47	No reporta	No reporta
Masa del gas (g/mol)	27,77	27,79	No reporta	No reporta

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados modelo MATLAB y resultados reportados en [26] y [11]

Los componentes presentes en la mezcla de gases generada de un proceso de gasificación y su concentración varían dependiendo del agente de reacción empleado, por lo general se encuentran el CO, CO₂, CH₄, H₂O y H₂, y en el caso de gasificación con aire, la mezcla contiene adicionalmente N₂ [28]. Como se evidencia en los resultados obtenidos en el modelo, el gas de síntesis de salida tiene una mayor composición de nitrógeno tanto con el

residuo de rosa como el residuo de diversificados, alrededor del 65%, lo cual se atribuye al agente gasificante empleado en el simulador, que corresponde a aire y posterior inyección de vapor de agua. Lo anterior, de acuerdo con lo descrito en [29], donde se realiza una comparación de los agentes gasificantes empleados en un proceso de gasificación y describe que, al emplear aire como agente de gasificación, el gas obtenido tiene un bajo poder calorífico entre 3-6 MJ/Nm³ y tiene altas cantidades de N₂, mayores al 50% vol [29]. Por otra parte, al comparar los resultados obtenidos en el presente estudio con los obtenidos en los estudios de referencia, es posible evidenciar una similitud en la composición del gas de síntesis obtenido tomando como referencia principalmente las especies de H₂, CO₂ y N₂, entre tanto, el valor obtenido del CO es significativamente bajo en la simulación realizada en el presente estudio, mientras que el contenido energético por unidad de masa es similar respecto al estudio de referencia 1.

Adicionalmente, con el fin de verificar el modelo empleado y los resultados obtenidos de la composición del gas de síntesis referentes al contenido de CO, se ejecutó el programa con los datos de la composición elemental de la tusa de maíz empleado como biomasa por [30] en el estudio “Experimental study on the performance of gasification of corncobs in a downdraft fixed bed gasifier at various conditions”. De esta manera, es posible evidenciar en la **Tabla 7**. los resultados obtenidos con el programa empleado en el presente estudio y los resultados experimentales obtenidos en el estudio de referencia, obteniendo como resultado una composición dentro del rango obtenido en el estudio experimental para las especies de H₂ y CH₄, sin embargo, se obtuvo un resultado inferior del rango en la composición de CO y superior al rango en la composición de CO₂.

Tabla 7. Comparación resultados composición gas de síntesis tusa de maíz, estudio experimental vs simulación MATLAB

COMPOSICIÓN DEL GAS	RESULTADOS EXPERIMENTALES [30]	RESULTADOS MODELO MATLAB
H ₂	5,1% - 17%	13,13%
CH ₄	1,2% - 3,1%	2,95%
CO	8,9%-16,7%	1,34%
CO ₂	5,9% - 11,7%	13,89%
H ₂ O	No reporta	0,00%
H ₂ S	No reporta	0,14%
O ₂	0,7% - 4,4%	1,95%
N ₂	No reporta	66,58%

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados modelo MATLAB y resultados reportados en [30]

Estas desviaciones en los datos obtenidos para la cantidad de CO presente en el gas de síntesis en el ejercicio de gasificación con residuos de material vegetal y las tusas de maíz, sugieren fallas en el modelo que pueden ser atribuidas a las reacciones empleadas para realizar el cálculo. En la **Tabla 1**, es posible evidenciar las reacciones típicas que se llevan a cabo durante el proceso de gasificación, donde las reacciones R1 y R2 son las más importantes durante este proceso e implican la formación de monóxido de carbono. La primera reacción (R1) es la reacción de Boudouard, que representa la gasificación de char en dióxido de carbono y la segunda (R2) es la reacción agua-gas, que representa la gasificación de char en vapor. Esta última es dominante en un gasificador de vapor, mientras que cuando se emplea aire u oxígeno como medio gasificante, la reacción de Boudouard (R1) es la predominante [23].

Sin embargo, el modelo empleado en MATLAB solamente contempla dentro de las reacciones de cinética del carbono las reacciones R4, R5 y R3, de manera que solamente la reacción R4 es la que implica la formación de monóxido de carbono. Teniendo en cuenta lo anterior y la importancia de las reacciones R1 y R2 que modelan un proceso de gasificación, es posible atribuir la baja composición de CO en el gas de síntesis obtenido con la aplicación del modelo a que no se contemplaron la totalidad de las reacciones que tienen lugar durante el proceso. Esta situación conduce a error en la composición del gas de síntesis. Para subsanarlo se requiere de la intervención en el modelo, lo cual está fuera

del alcance de este estudio. Sin embargo, para la valoración que se presenta en los capítulos posteriores, se utilizó la composición de un gas de síntesis típico producido a partir de biomasa [26].

3. FASE 3: Análisis técnico, económico y ambiental

3.1. Análisis técnico y económico

Con el fin de verificar la viabilidad económica de la implementación de un proceso de gasificación para el aprovechamiento de los residuos de material vegetal generados en el cultivo de flores y compararlo con el proceso actual que es la elaboración de compostaje, a continuación, se describen los diferentes factores técnicos y económicos que se tuvieron en cuenta para el análisis económico de cada uno de los procesos.

Así mismo, en la **Figura 6**, se expone el proceso propuesto para llevar a cabo la gasificación del material vegetal y obtención de energía eléctrica, con el cual se llevó a cabo el análisis técnico y económico presentado. Donde en primer lugar, se debe realizar el acondicionamiento de la biomasa para el proceso de gasificación, de esta manera, es necesario realizar la reducción del tamaño de la biomasa a través de una maquina trituradora, luego, con el fin de reducir la humedad de la biomasa para el proceso se debe dejar al aire libre bajo una cubierta de plástico de invernadero para su secado, posteriormente, será empleada para alimentar el gasificador y generar energía eléctrica a través de un motor de combustión interna.

Figura 6. Proceso propuesto para el aprovechamiento de la biomasa a través de gasificación



Fuente: Autor, 2023

3.1.1. Disponibilidad de biomasa

En la finca objeto del presente estudio se generan anualmente 1.249 t de residuos de material vegetal de diversificados, dentro de las cuales se encuentran especies de flores (Diversificados) como: campanula, dianthus, pompom, aster, stock, molucella, breanthus, delphinium, verónica, marigold, representando un promedio mensual de generación de 104t. Así mismo, se generan anualmente 1398t de residuos de material vegetal de rosa, representando un promedio mensual de 117t. Por otra parte, con estos residuos de material vegetal que ingresan a la compostera y son transformados en compost, se generan en promedio anualmente 3.103t de compostaje, representando un promedio mensual de 256t.

3.1.2. Equipos

Con el fin de estimar los costos asociados a los equipos y/o herramientas empleadas en cada uno de los dos procesos, a continuación, se describen los equipos empleados tanto para el proceso de compostaje como de gasificación:

3.1.2.1.Compostaje

Actualmente para el proceso de compostaje del material vegetal en la compostera de la finca se emplea un tractor Kubota L440 que realiza las labores de volteo, paleado y compostaje. Este equipo tiene un valor comercial en el mercado actual de \$104.947.500 COP.

3.1.2.2.Gasificación

Luego de realizar una revisión bibliográfica acerca de los diferentes equipos de gasificadores disponibles en el mercado colombiano y su uso para la gasificación de material vegetal, así mismo, estudios de caso donde se han empleado estos equipos como el caso del Jardín Botánico de Bogotá, donde se cuenta con un equipo de la tecnología Power Pallet ® para el aprovechamiento de los residuos maderables generados para la producción de energía [31], se seleccionó la planta APL PP30 desarrollada por la empresa All Power Labs en California.

Esta es una micro planta de cogeneración de energía eléctrica y térmica, que consiste en un sistema integrado de un gasificador downdraft de lecho fijo, dispositivos para el acondicionamiento y limpieza del gas (ciclón, filtro e intercambiadores de calor) y un motor de combustión interna encendido por chispa que se encuentra acoplado con un

generador eléctrico. De acuerdo con el manual de operación, este equipo tiene una potencia de 25kW, un consumo específico de 1.0Kg/kWh de biomasa (base seca) y puede operar con diversas biomásas, con un tamaño de partícula entre 1-4cm, humedad entre 5-30% y se recomienda contenido de cenizas menor al 5% [32].

Con el fin de realizar el tratamiento previo de la biomasa para reducir el tamaño de partícula, de acuerdo con lo requerido para el gasificador, es necesario una trituradora, para lo cual se propone una trituradora de ramas marca TRAPP modelo JTR500G, la cual es un triturador orgánico que puede triturar forrajes, raíces, ramas, arbustos y residuos de cosechas, con un motor a gasolina de 16hp [33].

De esta manera, en la **Tabla 8.** se presentan los costos de cada uno de los equipos, de acuerdo con el valor comercial cotizado en el mercado, los cuales se tomarán de referencia para el modelo económico presentado.

Tabla 8. Costos equipos proceso de gasificación

DETALLE	COSTO (COP)
Planta PP30 (25KW)	\$ 309.192.404,85
Trituradora TRAPP JTR500G	\$ 16.639.000,00
TOTAL	\$ 325.831.404,85

Fuente: Tomada de [34] y [33].

Figura 6. Equipos seleccionados para el proceso de gasificación



Fuente: a) Tomada de [34] y b) Tomada de [33].

3.1.3. Consumo de energía

Teniendo en cuenta que los equipos empleados en cada proceso tienen un consumo de energía que puede ser combustible o energía eléctrica, estos consumos se contemplan dentro del análisis en los costos de operación.

3.1.3.1. Compostaje

El tractor empleado para las labores de volteo, paleo y compostaje se utiliza en promedio 2 veces a la semana y tiene un consumo de ACPM de 45 galones a la semana. De esta manera, se toma como precio de referencia un valor de \$9.357 COP / galón de ACPM de acuerdo con el valor en Colombia para el mes de junio de 2023 [35].

3.1.3.2. Gasificación

La trituradora propuesta tiene un consumo promedio de 3,6L de gasolina por hora, de esta manera con un tiempo de funcionamiento de 3 horas diarias, se estima un consumo diario de 2,9 galones. Así, se toma como precio de referencia para el galón de gasolina de \$12.364 COP, de acuerdo con el valor en Colombia para el mes de junio de 2023 [36].

3.1.4. Mano de Obra

En cuanto a las necesidades de mano de obra para los dos procesos, en los dos se hace necesario contar con 1 colaborador presente durante toda la jornada laboral (8 horas), sin embargo, para mejorar la cantidad de energía generada durante el proceso de gasificación se consideró un turno de 10 horas. Entre tanto, para el proceso de compostaje se hace necesario un colaborador adicional que es la persona encargada de realizar las labores con el tractor, sin embargo, este colaborador solo realiza esta labor 16 horas a la semana.

3.1.5. Incentivos tributarios

De acuerdo con la Ley 1715 de 2014, con el fin de incentivar la participación de proyectos de energía renovable en el país, existen diferentes beneficios tributarios dentro de los cuales se encuentra reducción anual de la renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que se haya realizado la inversión, el 50% del valor total de la inversión realizada. Así mismo, exención del IVA y aranceles a equipos destinados para la producción de energías renovables y depreciación acelerada para estos mismos equipos. De esta manera, fueron considerados para el presente análisis todos los incentivos anteriormente mencionados.

3.1.6. Generación de energía

Para la estimación de los ingresos por la cantidad de energía generada, se tomó como base el precio de la energía pagada por la empresa durante el año 2022, de esta manera se tuvo un valor promedio de \$527/kWh.

Por otra parte, con el fin de realizar una estimación de la energía eléctrica generada por el proceso de gasificación, se emplea la ecuación 1 tomada de [30] para la estimación del Poder Calorífico Inferior (PCI) del Gas a partir de la fracción volumétrica de las especies de CO, CH₄ y H₂ y las constantes para la estimación del poder calorífico del gas en función del contenido de dichas especies.

Ecuación 1.

$$PCI = \frac{126,36X_{CO} + 358,18X_{CH_4} + 107,98X_{H_2}}{1000}$$

Donde:

$$PCI = \text{Potencial Calorífico Inferior} \left(\frac{MJ}{Nm^3} \right)$$

X_{CO} = Fracción volumétrica de CO (%vol)

X_{CH_4} = Fracción volumétrica de CH₄ (%vol)

X_{H_2} = Fracción volumétrica de H₂ (%vol)

Teniendo en cuenta que el modelo en MATLAB no permitió establecer la composición acertada de CO en el gas de síntesis de salida, se toma como referencia para esta especie el valor reportado por [26] y en la **Tabla 9**. se presentan las fracciones volumétricas de las especies empleadas para el cálculo del Poder Calorífico Inferior.

Tabla 9. Composición del gas de síntesis para la estimación del PCI

COMPOSICIÓN DEL GAS	ROSA	DIVERSIFICADOS
H ₂	10,8%	10,9%
CH ₄	3,8%	3,9%
CO	14,6%	14,6%

Fuente: Autor

De esta manera, se realizó con el cálculo del PCI la estimación de la energía generada, la cual se evidencia en la **Tabla 10**, tomando como factor de eficiencia del gasificador el

valor reportado en la ficha técnica del equipo, que corresponde a 28% con gas de síntesis [34]. Debido a que el poder calorífico se determinó en términos de volumen y con el fin de establecer la relación en términos de masa, se tomó como referencia la densidad del CO, siendo esta la especie con mayor volumen dentro del gas de síntesis, calculada por [29] a través de ley de mezclas a condiciones estándar ($1,25 \text{ Kg/m}^3$).

Tabla 10. Poder calorífico Inferior del Gas de síntesis y generación de energía

ROSA			DIVERSIFICADOS		
PCI (MJ/Nm ³)	PCI (MJ/Kg)	ENERGÍA (KWh/Kg)	PCI (MJ/Nm ³)	PCI (MJ/Kg)	ENERGÍA (KWh/Kg)
4,38	3,50	0,27	4,40	3,52	0,27

Fuente: Autor

De acuerdo con las características de operación de la planta APL PP30 descritas en su ficha técnica [34], el equipo gasificador puede transformar hasta 25Kg de biomasa/hora a su máxima potencia, por lo cual se estima una transformación diaria de 250Kg de biomasa, teniendo en cuenta un turno de 10 horas. Así mismo, teniendo en cuenta que las características de Potencial Calorífico Inferior y Generación de energía de las biombras estudiadas son similares, se estimó la generación de energía diaria contemplando una mezcla de los dos residuos (rosa y diversificados), obteniendo un resultado de generación eléctrica de 68,1kWh/día y de 24.869kWh/año.

3.1.7. Determinación indicadores económicos

Teniendo en cuenta los parámetros descritos anteriormente, a continuación, se describen los supuestos realizados para la determinación de los indicadores económicos en cada uno de los procesos:

- Para los dos procesos se simuló una financiación del 60% del valor de la inversión, con una tasa de interés anual del 6% y un plazo de 10 años.
- Se estimó una tasa de descuento del 8%.
- El análisis se realizó para un periodo de 15 años en los dos casos
- La inflación anual tomada como referencia fue del 10%

De esta manera, en el **Anexo 4. Análisis Financiero** es posible evidenciar los dos modelos financieros de cada uno de los procesos. De manera que, para el proceso de compostaje, se

estimó un VPN de \$44.516.666.985 COP y una TIR del 2.724%, siendo un proceso bastante llamativo en términos económicos debido a su rentabilidad y recuperación de la inversión desde el año 1. Entre tanto, para el proceso de gasificación el VPN estimado fue de \$10.653.744 COP y una TIR del 8,91%, siendo un proceso que, aunque puede no ser tan atractivo como el proceso de compostaje, es viable económicamente debido a que la TIR es superior a la tasa de descuento estimada y el VPN es un valor positivo.

3.2.Análisis Ambiental

El impacto ambiental derivado del proceso de compostaje del material vegetal y el proceso de gasificación se determinó con base a las emisiones de cada proceso, por lo cual a continuación se describe en primer lugar el inventario de las emisiones anuales asociadas a cada uno por tipo de GEI con sus respectivos factores de emisión establecidos y posteriormente el cálculo de la Huella de Carbono de cada proceso de acuerdo con el Potencial de Calentamiento Global (GWP) a 100 años de cada GEI.

3.2.1. Inventario GEI

3.2.1.1.Emisiones de GEI generadas por compostaje

El proceso de compostaje permite la estabilización de los residuos vegetales a través de la fermentación aerobia, su descomposición puede generar emisiones de metano (CH_4) y de óxido nitroso (N_2O), que deben ser contabilizadas al momento de evaluar las emisiones de GEI de este proceso [37]. Así mismo, otra de las emisiones asociadas a este proceso es la quema de combustibles líquidos (ACPM) como fuente de energía para el tractor empleado para las labores de picado y volteo de material, lo cual genera emisiones de Dióxido de Carbono (CO_2), metano (CH_4) y de óxido nitroso (N_2O) [12].

De esta manera, para la determinación de las emisiones anuales generadas por GEI asociadas a la transformación del material vegetal en la compostera, se tomaron los factores de emisión establecidos por el IPCC en [38] para el CH_4 y el N_2O , procedentes del tratamiento biológico de los desechos en preparación de abono orgánico (compost) sobre la base del peso húmedo, descritos en la Tabla 11.

Tabla 11. Factores de emisión para reporte de GEI - Preparación de compost

GEI	FACTOR DE EMISIÓN (Kg GEI/Kg de desechos tratados)
CH ₄	0,004
N ₂ O	0,0003

Fuente: Elaboración propia con valores tomados de [38]

Así, de acuerdo con la generación anual de residuos de material vegetal tanto de rosa como de diversificados, en la **Tabla 12.** se describen las emisiones asociadas a la preparación de abono orgánico con dicha cantidad de residuos por tipo de GEI.

Tabla 12 . Emisiones anuales por tipo de GEI compostaje de Material Vegetal

GENERACIÓN DE RESIDUOS		EMISIONES DE GEI COMPOSTAJE	
Tipo de Material Vegetal	Generación Anual (Kg)	Kg CH₄	Kg N₂O
Rosa	1.398.000,00	5.592,00	419,40
Diversificados	1.249.000,00	4.996,00	374,70
TOTAL	2.647.000,00	10.588,00	794,10

Fuente: Autor

Por otra parte, para la determinación de las emisiones por tipo de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles (ACPM), se tomaron en cuenta las propiedades fisicoquímicas del ACPM y los factores de emisión establecidos por la Unidad de Planeación Minero-Energética – UPME en [39] para el CO₂, CH₄ y el N₂O, los cuales pueden ser evidenciados en la **Tabla 13.**

Tabla 13. Factores de emisión por GEI del ACPM y Propiedades fisicoquímicas

FACTORES DE EMISIÓN ACPM	
GEI	Kg GEI/TJ
CH ₄	1
N ₂ O	0,6
CO ₂	74.193,483
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS ACPM	
DENSIDAD ACPM (Kg/L)	0,8519
PODER CALORÍFICO (MJ/Kg)	42,4185

Fuente: Elaboración propia a partir de datos tomados de [39]

Teniendo en cuenta el consumo semanal de ACPM en el tractor (45gal/sem), en la **Tabla 14**. Es posible evidenciar las emisiones asociadas a la quema de combustibles fósiles por tipo de GEI.

Tabla 14. Emisiones por tipo de GEI - Uso de ACPM

USO DE COMBUSTIBLE TRACTOR			EMISIONES DE GEI COMBUSTIBLE		
TIPO DE COMBUSTIBLE	CANTIDAD ANUAL (Gal)	PODER CALORÍFICO (TJ)	Kg CH₄	Kg N₂O	Kg CO₂
ACPM	2.340	0,320	0,320	0,192	23.777,421

Fuente: Autor

De acuerdo con el inventario anual de las emisiones por GEI asociadas al proceso de compostaje, en la **Tabla 15**. Es posible evidenciar el total de las emisiones anuales por tipo de GEI asociadas tanto a la descomposición de material vegetal, como por el uso de combustibles fósiles. Siendo las emisiones de CO₂ las que representan una mayor proporción debido principalmente al uso de ACPM en el tractor, seguido del CH₄, derivado de la descomposición del material vegetal y por último el NO₂.

Tabla 15. Emisiones de GEI anuales asociadas al proceso de compostaje

GEI	CANTIDAD (Kg)
CH ₄	10588,320
N ₂ O	794,292
CO ₂	23777,421

Fuente: Autor

3.2.1.2. Emisiones de GEI generadas por gasificación

En el proceso de gasificación de biomasa, las emisiones están relacionadas con el uso de combustibles fósiles (gasolina) en la máquina trituradora para la preparación de la biomasa, de esta manera, también se tomaron en cuenta las propiedades fisicoquímicas de la gasolina y los factores de emisión establecidos por la Unidad de Planeación Minero-Energética – UPME en [39] para el CO₂, CH₄ y el N₂O, los cuales pueden ser evidenciados en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Factores de emisión por GEI de la gasolina y propiedades fisicoquímicas

FACTORES DE EMISIÓN GASOLINA	
GEI	Kg GEI/TJ
CH ₄	3
N ₂ O	0,6
CO ₂	69.323,686
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS GASOLINA	
DENSIDAD GASOLINA (Kg/L)	0,7405
PODER CALORÍFICO (MJ/Kg)	45,3295

Fuente: Elaboración propia a partir de datos tomados de [39]

Teniendo en cuenta el consumo semanal estimado de gasolina (17,12gal/sem) en la **Tabla 17**. Es posible evidenciar las emisiones asociadas a la quema de combustibles fósiles (gasolina) por tipo de GEI.

Tabla 17. Emisiones por tipo de GEI - Uso de gasolina

USO DE COMBUSTIBLE TRITURADORA			EMISIONES DE GEI COMBUSTIBLE		
TIPO DE COMBUSTIBLE	CANTIDAD ANUAL (gal)	PODER CALORÍFICO (TJ)	Kg CH ₄	Kg N ₂ O	Kg CO ₂
Gasolina	890,251	0,113	0,339	0,068	7.840,901

Fuente: Autor

3.2.2. Huella de carbono

De acuerdo con el Inventario de GEI elaborado anteriormente, se realizó el cálculo de la Huella de Carbono anual asociada a cada proceso, con el Potencial de Calentamiento Global (GWP) a un horizonte de 100 años de cada GEI relativos al CO₂, de acuerdo con los datos reportados en el 5to reporte de evaluación el IPCC (AR5) del año 2014 [40].

Así, en la **Tabla 18**, se exponen las emisiones de GEI en t de CO_{2eq} asociadas a cada uno de los procesos, donde se evidencia que la huella de carbono para el proceso de gasificación es 98,5% más baja que la generada por descomposición de material vegetal en el proceso de compostaje, debido principalmente a que el gas de síntesis generado es aprovechado en un proceso de combustión interna, por lo cual no se generan las emisiones asociadas a descomposición de material vegetal.

Así mismo, en cuanto al uso de combustibles fósiles, el ACPM tiene un mayor factor de emisión de CO₂ que la gasolina, por lo cual las emisiones asociadas al uso del ACPM combustibles son mayores, sin mencionar también que la cantidad empleada de este combustible para las actividades de volteo del material vegetal son mayores.

Tabla 18. Comparación huella de carbono anual por proceso

PROCESO	GEI	CANTIDAD (Kg)	GWP [40]	EMISIONES POR GEI (T CO _{2eq})	EMISIONES TOTALES (T CO _{2eq})
GASIFICACIÓN	CH ₄	0,339	28,000	9,501	7.868,386
	N ₂ O	0,068	265,000	17,984	
	CO ₂	7.840,901	1,000	7.840,901	
COMPOSTAJE	CH ₄	10.588,320	28,000	296.472,973	530.737,851
	N ₂ O	794,292	265,000	210.487,456	
	CO ₂	23.777,421	1,000	23.777,421	

Fuente: Autor

Por otra parte, también se realizó una estimación de las emisiones en t de CO_{2eq} evitadas por la gasificación del material vegetal, teniendo en cuenta la cantidad anual de material vegetal a gasificar (78.000 Kg) que sería enviado a un proceso de compostaje y con un consumo de ACPM anual de 936gal. En la **Tabla 19**. Es posible evidenciar que con la implementación del proceso de gasificación para el tratamiento de 250Kg de biomasa diarios se emitirían un total 24.472,93 t de CO_{2eq} anuales en la finca objeto de estudio. Sin embargo, debido a que el proceso de gasificación también tiene asociadas emisiones de GEI, en la **Tabla 20**. Es posible evidenciar las emisiones netas en t de CO_{2eq} que serían evitadas con la implementación del proceso de gasificación para la cantidad de material vegetal tratado, las cuales corresponderían a 16.603,55 t de CO_{2eq}.

Tabla 19. Emisiones de GEI asociadas al proceso de compostaje

GEI	CANTIDAD (Kg)	GWP [40]	EMISIONES DE GEI (T CO _{2eq})
CH ₄	312,128	28	8.739,589
N ₂ O	23,477	265	6.221,382
CO ₂	9.510,969	1	9.510,969
TOTAL			24471,940

Fuente: Autor

Tabla 20. Emisiones de GEI evitadas con la implementación del proceso de gasificación

GEI	EMISIONES POR COMPOSTAJE (T CO _{2eq})	EMISIONES POR GASIFICACIÓN (T CO _{2eq})	EMISIONES NETAS (T CO _{2eq})
CH ₄	8.739,589	9,501	8.730,088
N ₂ O	6.221,382	17,984	6.203,399
CO ₂	9.510,969	7.840,901	1.670,067
TOTAL	24.471,940	7.868,386	16.603,554

Fuente: Autor

3.3. Análisis DOFA

El DOFA (Debilidades – Oportunidades – Fortalezas -Amenazas) es una herramienta que permite conocer la situación de un proyecto y organización en el mercado, se elaboró una lista de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas referentes a cada uno de los procesos evaluados, con el fin de ser de utilidad al momento de tomar una decisión frente a la implementación de un proceso de gasificación. Así, en la **Tabla 21**. se expone el análisis

elaborado tanto para el proceso de gasificación como el proceso actual que es la elaboración de compost con la biomasa estudiada.

Tabla 21. Análisis DOFA proceso de compostaje y gasificación

PROCESO	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	FORTALEZAS	AMENAZAS
COMPOSTAJE	Emisiones de GEI asociadas Espacio requerido para armado de pilas y descomposición del material vegetal Tiempo requerido para el proceso Exceso de compostaje	Venta del compost generado	Aprovechamiento de los residuos orgánicos como enmienda orgánica dentro del cultivo Rentabilidad económica	Exceso de oferta de compost en el mercado
GASIFICACIÓN	Rentabilidad económica Eficiencia del proceso	Venta de la energía generada Producción de biochar para mejoramiento propiedades del suelo y secuestro de carbono Generación de conocimiento	Aprovechamiento de los residuos orgánicos para la generación de energía eléctrica para uso interno Reducción de emisiones de GEI	Factores económicos, altos precios del mercado para adquisición de equipos Falta de incentivos económicos para este tipo de proyectos

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta este análisis, los dos procesos tienen diferentes factores que los hacen adecuados para la transformación del material vegetal, pues, aunque el factor económico favorece al proceso de compostaje antes que al de gasificación, este último tiene menores emisiones de GEI asociadas que contribuirían a reducir la huella de carbono de la empresa y contribuir a la sostenibilidad ambiental de la misma. Así mismo, debido a que actualmente la gasificación de este tipo de biomasa ha sido poco estudiada, se presenta como una oportunidad para la generación de conocimiento que permita contribuir al desarrollo de esta tecnología en el país y el aprovechamiento de los residuos de material vegetal del sector floricultor para la generación de energía eléctrica con un menor impacto ambiental.

Por otra parte, un subproducto de un proceso de gasificación es el biochar, el cual se presenta como una oportunidad también del proceso de gasificación, ya que este material

es, de acuerdo con la International Biochar Initiative – IBI [41], un material sólido obtenido de una conversión termoquímica de biomasa en un ambiente limitado de oxígeno. Este material puede ser empleado dentro del cultivo para el mejoramiento de las propiedades del suelo como la aireación, la capacidad de retención de humedad, y la capacidad de intercambio catiónico, favoreciendo el crecimiento de las plantas [42]. Así mismo, debido a que este material tiene un alto contenido de carbono orgánico, es bastante resistente a la descomposición y funciona como un almacén de forma recalcitrante del carbón cuando es aplicado al suelo como mejorador, de manera que puede ser considerado como un inhibidor del cambio climático [43].

Capítulo 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de la composición elemental de las muestras estudiadas, éstas se presentan como un residuo con alto potencial de aprovechamiento para transformación en procesos energéticos. Aunque el compostaje es un proceso que ofrece una mayor rentabilidad, la gasificación ofrece un valor agregado que se refleja en un menor impacto ambiental.

El proceso de gasificación propuesto representa un aprovechamiento anual del 3% de la biomasa generada en la finca (78.000 Kg), generando el 1% del total de la energía eléctrica consumida (24.869 kWh). Adicionalmente, los indicadores económicos, aunque no presentan un valor negativo, no presentan una rentabilidad atractiva para el proyecto. Sin embargo, el valor de este proyecto se encuentra en el factor ambiental, pues se genera una reducción de las emisiones de GEI, con una disminución de 16.603,554 t de CO_{2eq} anuales, que representan un 32% menos emisiones de GEI que el proceso de compostaje, debido a que las emisiones del aprovechamiento de la biomasa en gasificación están asociadas exclusivamente al proceso de triturado de material vegetal en tanto que en el compostaje las emisiones están asociadas a la descomposición del material y a la quema de combustibles fósiles por uso de maquinaria como el tractor.

De acuerdo con el análisis económico presentado de los dos procesos evaluados, el compostaje tiene mejores perspectivas económicas, con un VPN y una TIR superiores a las del proceso de gasificación, esto debido a que el proceso de compostaje tiene menores costos de inversión y mantenimiento que el proceso de gasificación. Así mismo, la transformación de los residuos en compostaje tiene una mayor eficiencia y el producto final (compost) obtenido tiene un mayor valor comercial. Adicionalmente, el aprovechamiento de esta biomasa se presenta como una oportunidad para la generación de conocimiento que permita contribuir al desarrollo de esta tecnología en el país y el aprovechamiento de los residuos de material vegetal del sector floricultor para la generación de energía eléctrica con un menor impacto ambiental.


Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para la composición del gas de síntesis obtenido con el modelo de MATLAB seleccionado, se sugiere como futura investigación realizar las mejoras correspondientes al mismo, donde se involucren la totalidad de las reacciones asociadas al proceso de gasificación, que permitan obtener resultados más confiables y cercanos a la realidad para la simulación de un proceso de gasificación.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Minas y Energía, «Plan Energético Nacional: Contexto y Estrategias 2006 -2025,» Bogotá, 2007.
- [2] UPME, IDEAM, UIS, COLCIENCIAS, «Atlas del Potencial Energético de la biomasa residual en Colombia,» Bogotá, 2011.
- [3] P. Mckendry, *Energy Production from Biomass (Part 1): Overview of biomass, Bioresource Technology*, 2022, pp. 37-46.
- [4] M. Miltner, A. Makaruk, M. Harasek y A. Friedl, «CFD-Modelling for the combustion of solid baled biomass,» Fifth International Conference on CFD in the Process Industries, Melbourne - Australia, 2006.
- [5] J. Rueda, A. Guzmán, J. Cabello, R. Silva, E. Bastidas y J. Horillo, «Renewables energies in Colombia and the opportunity for the offshore wind technology,» *Clean Production*, pp. 529-543, 2019.
- [6] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, «Cadena de flores, Follajes y Ornamentales,» 2020.
- [7] B. Quevedo Hidalgo, «Evaluación de la degradación de residuos,» Trabajo de grado, Bogotá, 2011.
- [8] A. Gómez Valencia, «¿Cuáles son los retos del sector floricultor colombiano?,» *EAFIT Noticias*, 9 abril 2019.
- [9] Asocolflores, «Boletín Estadístico,» Dirección de economía y logística Asocolflores, 2018.
- [10] DANE, «INFORME DE RESULTADOS Censo de Fincas Productoras de Flores En 28 municipios de la Sabana de Bogotá y Cundinamarca,» DIRPEN, Bogotá, 2010.
- [11] D. M. Yepes Maya y F. Chejne Janna, «Gasificación de biomasa residual en el sector floricultor, caso: Oriente Antioqueño,» *Ion*, pp. 49-55, 2012.
- [12] CAR, CAEM, CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ, «Guía Metodológica para el cálculo de la Huella de Carbono Corporativa a nivel sectorial,» Bogotá, 2013.
- [13] IDEAM, PNUD, «Inventario de emisiones de Gases Efecto Invernadero para la Región Bogotá-Cundinamarca,» Bogotá, Colombia, 2012.
- [14] World Business Council for Sustainable Development, World Resources Institute, SEMARNAT, «Protocolo de Gases Efecto Invernadero: Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte».
- [15] A. N. Sánchez, «Diagnóstico del manejo de residuos de clavel generados en la industria floricultora de la sabana de Bogotá y la factibilidad técnica ambiental para su aprovechamiento como compostaje mecanizado y biogas,» Universidad Industrial de Santander, Bogotá, 2005.
- [16] I. Ospina, «Influencia de la aplicación de compost producido a partir de residuos de caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.) en un Vertisol del Valle del Cauca,» Universidad Nacional de Colombia, Palmira Valle del Cauca, 2016.

- [17] M. Dinca, M. Ferdes, G. Paraschiv, N. Ungureanu, B. Zabava, M. Ionescu y G. Moiceanu, «Recovery of organic waste through composting process,» *Acta technicacorviniensis – bulletin of engineering*, 2019.
- [18] FAO, «On farm composting methods. Land and water discussion paper,» Roma, 2003.
- [19] S. Vera y A. Infante, «Manejo Adecuado de Material Vegetal en Compostera - TDP-M-MIR-033,» C.I Sunshine Bouquet S.A.S, 2021.
- [20] G. Lee, T. Nunoura, Y. Matsumura y K. Yamamoto, «Global kinetics of 2-chlorophenol disappearance with NaOH in Supercritical Water.,» *Chemical Engineering of Japan*, pp. 1252-1256, 2002.
- [21] J. L. Sanchez, «Modelación De La Incineración De Residuos Sólidos Urbanos Como Alternativa Complementaria al Relleno Sanitario Doña Juana en Bogotá,» Repositorio Universidad Javeriana, Bogotá, 2012.
- [22] L. E. Arteaga-Pérez, Y. Casas Ledón, J. Cabrera-Hernández y L. Rodríguez, «Gasificación de biomasa para la producción sostenible de energía.Revisión de las tecnologías y barreras para su aplicación,» *Afinidad*, 2015.
- [23] P. Basu, «Gasification Theory and Modeling of Gasifiers,» de *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*, Elsevier, 2010, pp. 117-127.
- [24] P. Basu, «Biomass Gasification and Pyrolysis.Practical Design,» *Elsevier*, 2010.
- [25] M. Ruiz Esparza, «Simulación del proceso de gasificación termoquímica para la obtención de gas combustible, aplicado a cascarilla de café,» 2015.
- [26] D. M. Yepes Maya, E. E. Silva Lora, F. Chejne Janna y A. Jaramillo Arango, «Gasification of agro-industrial waste from colombian flower industries, for electricity cogeneration,» de *22nd European Biomass Conference and Exhibition*, Hamburg,Alemania, 2014.
- [27] J. Rhenals Julio, M. Torres Montes, J. Mendoza Fandiño y R. Gómez Vásquez, «Análisis Exergoeconómico de la gasificación de tusa de maíz con vapor de agua como agente gasificante, integrado a un sistema de generación de potencia,» *Pasos hacia la construcción de una propuesta de energía sostenible*, pp. 22-27, 2016.
- [28] S. Rincón, A. Gómez y W. Klose, «Gasificación de biomasa residual de procesamiento industrial,» *Kassel University press*, 2011.
- [29] D. F. Flórez Ramos, «Obtención de gas se síntesis a partir de la gasificación de cuerco de palma de aceite peletizado,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2016.
- [30] J. E. Rubiano, L. V. Martínez, M. Figueredo y M. F. Gómez, «Experimental study on the performance of gasification of corncobs in a downdraft fixed bed gasifier at various conditions,» *Renewable Energy*, vol. 148, pp. 1216-1226, 2020.
- [31] L. Vega y A. Herrera, «Evaluación del potencial energético de la madera residual urbana mediante gasificación,» *Informador Técnico (Colombia)*, pp. 26-40, 2018.
- [32] D. Duque Uribe, «Análisis técnico-económico de una central térmica de cogeneración a partir de la gasificación de biomasa residual producida en la nueva

- zona norte de la ciudad de Medellín,» Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Medellín, 2022.
- [33] Equipmaster.co, «Triturador orgánico,» 2023. [En línea]. Available: https://equipmaster.com.co/product/chipeadora-trituradora-de-ramas-trapp-jtr500g/?gclid=CjwKCAjw-b-kBhB-EiwA4fvKrG3c5QPYNwLBulB3L5BJTbpds4IgLUL-Px7Xa22n36rPsGGrYgqkjhoCbfMQAvD_BwE. [Último acceso: 1 junio 2023].
- [34] ALL POWER LABS, «PP30 25kW Power Pallet,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.allpowerlabs.com/products/product-overview>. [Último acceso: 1 Junio 2023].
- [35] La Republica, «Indicadores Económicos,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.larepublica.co/indicadores-economicos/macro/acpm>. [Último acceso: 1 junio 2023].
- [36] Portafolio, «Este es el precio de referencia de la gasolina por ciudades en junio,» 3 junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/precio-de-la-gasolina-por-ciudades-asi-quedaron-las-tarifas-para-junio-de-2023-583840>. [Último acceso: 5 junio 2023].
- [37] SECHE ENVIRONNEMENT, SUEZ ENVIRONNEMENT y VEOLIA ENVIRONMENTAL SERVICES, «Protocolo para la cuantificación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en actividades de gestión de residuos,» ASEGRE, Paris, 2010.
- [38] IPCC, «Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero,» Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES), Japón, 2006.
- [39] UPME, «Calculadora Fecoc 2016,» 2016. [En línea]. Available: http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/aplicacion/acercade.html. [Último acceso: 28 06 2023].
- [40] IPCC, «Global Warming Potential Values,» 2018.
- [41] IBI(International Biochar Initiative), «Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that definition and product testing guidelines for biochar that,» www.biochar-international.org, 2012.
- [42] A. Downie, A. Crosky y P. Munroe, «Physical properties of biochar,» Londres, 2009, pp. 13-30.
- [43] J. Amonette y R. Lal, «Soil organic carbon pools and sequestration rates in reclaimed Minessoils in Ohio,» *J. Environ. Qual*, pp. 2098-2104, 2001.

	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL LABORATORIO AMBIENTAL	CODIGO: MT-INF-027 FECHA: 2014-07-22 VERSION: 3
	INFORME DE RESULTADOS	

INFORME DE RESULTADOS MUESTRA 117-23
FECHA: 2023-05-04

CLIENTE: C.I Sunshine Bouquet S.A.S
 DIRECCIÓN: Km 4 vía Suba-Cota

MUESTRA No	117-23
MATRIZ:	MATERIAL VEGETAL
CLASE DE MUESTRA:	COMPUESTA
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	Muestra 1: Rosa
SITIO DE TOMA:	Compostera maravilla
TOMADO POR:	Cindy Rodriguez
FECHA DE TOMA	2023-04-10
HORA DE TOMA	11:00
FECHA DE RECEPCIÓN	2023-04-10

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	FECHA EJECUCIÓN ANÁLISIS		MÉTODO
			Inicio	Final	
Humedad	74,4	% BH	2023-04-12	2023-04-13	MT-PRE-073
Cenizas a 575°C	5,56	% BS	2023-04-21	2023-04-24	SM 2540 G modificado
Materia volátil a 950°C	70,1	% BS	2023-04-21	2023-04-24	ASTM D3175
Carbono fijo	21,0	% BS	2023-04-21	2023-04-24	CALCULO
Poder Calorifico	8227	BTU/lb	2023-04-21	2023-04-21	ASTM E711-06 Reaprobado (2004)
Analisis Elemental					ASTM D5373-16
Nitrógeno	1,78	% BS	2023-04-21	2023-04-21	ASTM D5373-16
Carbono	41,6	% BS	2023-04-21	2023-04-21	ASTM D5373-16
Azufre	0,36	% BS	2023-04-21	2023-04-21	ASTM D5373-16
Hidrógeno	3,41	% BS	2023-04-21	2023-04-21	ASTM D5373-16

OBSERVACIONES: Muestra puesta en el laboratorio, los resultados aplican a la muestra cómo se recibió.

El laboratorio no es responsable por la información suministrada por el cliente, esta información corresponde a la reportada en letra cursiva.

El laboratorio Ambiental cuenta con acreditación en la norma ISO/IEC 17025 versión 2005 con IDEAM vigente a la fecha, según resoluciones No. 848 de 2020 y 983 de 2021, los parámetros acreditados se identifican con la palabra ACREDITADO en la casilla de método.

<XXX: Valor por debajo del límite de detección del método.

"XXX": Valor entre el límite de detección y el límite de cuantificación.

MT-PRE: procedimiento interno de laboratorio


Los resultados son válidos única y exclusivamente para las muestras analizadas .

Este reporte no se debe reproducir parcialmente sin excepción, sin aprobación por escrito del Laboratorio



ADRIANA MARCELA JAIMES
LÍDER TÉCNICA

FIN DEL INFORME

	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL LABORATORIO AMBIENTAL	CODIGO: MT-INF-027 FECHA: 2014-07-22 VERSION: 3
	INFORME DE RESULTADOS	

INFORME DE RESULTADOS MUESTRA 118-23
FECHA: 2023-05-04

CLIENTE: C.I Sunshine Bouquet S.A.S
 DIRECCIÓN: Km 4 vía Suba-Cota

MUESTRA No	118-23
MATRIZ:	<i>MATERIAL VEGETAL</i>
CLASE DE MUESTRA:	<i>COMPUESTA</i>
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	<i>Muestra 2: Diversificados</i>
SITIO DE TOMA:	<i>Compostera Yarumo</i>
TOMADO POR:	<i>Cindy Rodriguez</i>
FECHA DE TOMA	<i>2023-04-10</i>
HORA DE TOMA	<i>13:00</i>
FECHA DE RECEPCIÓN	<i>2023-04-10</i>

1

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	FECHA EJECUCIÓN ANÁLISIS		MÉTODO
			Inicio	Final	
Humedad	79,6	% BH	2023-04-12	2023-04-13	MT-PRE-073
Cenizas a 575°C	12,8	% BS	2023-04-21	2023-04-24	SM 2540 G modificado
Materia volátil a 950°C	68,1	% BS	2023-04-21	2023-04-24	ASTM D3175
Carbono fijo	15,8	% BS	2023-04-21	2023-04-24	CALCULO
Poder Calorifico	7004	BTU/lb	2023-04-21	2023-04-21	ASTM E711-06 Reaprobado (2004)
Análisis Elemental					ASTM D5373-16
Nitrógeno	3,01	% BS	2023-04-21	2023-04-21	ASTM D5373-16
Carbono	40,2	% BS	2023-04-21	2023-04-21	ASTM D5373-16
Azufre	0,68	% BS	2023-04-21	2023-04-21	ASTM D5373-16
Hidrógeno	3,28	% BS	2023-04-21	2023-04-21	ASTM D5373-16

OBSERVACIONES: Muestra puesta en el laboratorio, los resultados aplican a la muestra cómo se recibió.

El laboratorio no es responsable por la información suministrada por el cliente, esta información corresponde a la reportada en letra cursiva.

El laboratorio Ambiental cuenta con acreditación en la norma ISO/IEC 17025 versión 2005 con IDEAM vigente a la fecha, según resoluciones No. 848 de 2020 y 983 de 2021, los parámetros acreditados se identifican con la palabra ACREDITADO en la casilla de método.

<XXX: Valor por debajo del límite de detección del método.

"XXX": Valor entre el límite de detección y el límite de cuantificación.

MT-PRE: procedimiento interno de laboratorio

Los resultados son válidos única y exclusivamente para las muestras analizadas .

Este reporte no se debe reproducir parcialmente sin excepción, sin aprobación por escrito del Laboratorio



ADRIANA MARCELA JAIMES
LÍDER TÉCNICA

FIN DEL INFORME

ANEXO 2. Rosa Elemental

Avance de la reacción	Razón de equivalencia (aire est/aire part reacc)	Cantidad de vapor/cantidad biomasa	Razón de calentamiento	Energía de activación	Fracción de avance de la reacción de la biomasa		Aire Estequiométrico	Aire Actual	Cantidad de agua	Fracción molar de H ₂	Fracción molar de CH ₄	Fracción molar de CO	Fracción molar de CO ₂	Fracción molar de H ₂ O	Fracción molar de H ₂ S	Fracción molar de O ₂	Fracción molar de N ₂	Moles totales	Valor de H	Valor de I	Tiempo (min)	Valor de la función g/A	Energía de activación teórica calculada	Masa del gas (g/mol)	Entalpía sensible (U/g)	Entalpía de combustión LHV (U/g)	Contenido energético total U/g	
					T Final (K)	r																						aa
1	1	0	75	260	1106,3886	0,18939111	0,64513926	0,64513926	0,41062307	0,48787524	1,91703E-11	0,059712689	0,94028731	2,14603E-11	0,00051619	3,79835E-13	4,86979343	6,35818486	24,5727838	768,40653	10,7765147	10,2454204	225,833459	28,3847005	-1537,1918	-747,62381	-2284,8156	
1	1	0,2	75	260	1035,0143	0,28939267	0,59510413	0,59510413	0,57877634	0,68766386	2,70206E-11	0,084165489	0,91583451	2,25834E-11	0,00072758	3,14693E-13	4,49352925	6,18192069	22,3560341	699,087363	9,82485733	9,32116484	211,264704	27,4920172	-1355,2863	-1119,0203	-2474,3066	
1	1	0,4	75	260	947,6086	0,4077537	0,545069	0,545069	0,7469296	0,88745247	3,4871E-11	0,108618288	0,89138171	2,37167E-11	0,00093896	2,76668E-13	4,11726508	6,00656651	19,6477271	614,397523	8,659448	8,19196697	193,423656	26,5446934	-1149,3707	-1539,4375	-2688,8082	
1	1	0,6	75	260	838,1412	0,55004122	0,49503387	0,49503387	0,91508287	1,08724109	4,27213E-11	0,133071088	0,86692891	2,49027E-11	0,00115034	3,76477E-13	3,7410009	5,82939233	16,2677271	508,702143	7,19988267	6,78269524	101,079426	25,5446975	-914,35628	-2019,2664	-2933,6227	
1	1	0,8	75	260	697,6117	0,72432601	0,44499874	0,44499874	1,08323613	1,2870297	5,05717E-11	0,157523888	0,84247611	2,60689E-11	0,00136173	4,24216E-13	3,36473672	5,65312815	11,9535674	373,795634	5,326156	4,98394178	142,394872	24,4799616	-643,60528	-2572,0583	-3215,6636	
1	2,25	0	75	260	1253,1218	0,18939111	0,64513926	0,28672856	0,41062307	0,48787524	1,91703E-11	0,059712689	0,94028731	2,14603E-11	0,00051619	3,79835E-13	3,52216919	5,01056063	29,1422513	911,296679	12,7329573	12,1506224	255,784298	28,4845643	-1943,7915	-945,37625	-2889,1677	
1	2,25	0,2	75	260	1168,1957	0,28939267	0,59510413	0,26449073	0,57877634	0,68766386	2,70206E-11	0,084165489	0,91583451	2,25834E-11	0,00072758	3,14693E-13	3,25042284	4,93881428	26,4956875	828,536951	11,6006093	11,0471593	238,44938	27,3607844	-1704,5504	-1407,3975	-3111,9478	
1	2,25	0,4	75	260	1064,3735	0,4077537	0,545069	0,24225289	0,7469296	0,88745247	3,4871E-11	0,108618288	0,89138171	2,37167E-11	0,00093896	2,76668E-13	2,97867649	4,86706792	23,2673501	727,58479	10,2163133	9,70113054	217,257435	26,2038729	-1436,8191	-1924,4384	-3361,2576	
1	2,25	0,6	75	260	934,5082	0,55004122	0,49503387	0,22001505	0,91508287	1,08724109	4,27213E-11	0,133071088	0,86692891	2,49027E-11	0,00115034	3,76477E-13	2,70693014	4,79532157	19,2425037	601,725292	8,484776	8,0230039	190,749633	25,0123425	-1135,187	-2506,9494	-3642,1364	
1	2,25	0,8	75	260	767,9348	0,72432601	0,44499874	0,19777722	1,08323613	1,2870297	5,05717E-11	0,157523888	0,84247611	2,60689E-11	0,00136173	4,24216E-13	2,43518379	4,72357522	14,108403	441,178709	6,26379733	5,88238278	156,749059	23,7846159	-792,7792	-3168,2059	-3960,9851	
1	3,5	0	75	260	1242,3689	0,24380055	0,61691797	0,17626228	0,39266057	0,09573086	0,196012576	1,96013E-17	0,80398742	2,98428E-13	0,00063542	0,102857217	3,00070389	4,19992739	28,8068964	900,809918	12,5895853	12,0107989	253,589441	30,0228882	-1873,1437	-1431,3085	-3304,4523	
1	3,5	0,2	75	260	1099,4741	0,38175217	0,555326	0,15866457	0,55345805	0,13493338	0,276281214	2,76281E-17	0,72371879	4,74953E-13	0,00089563	0,144978029	2,70295074	3,98375777	24,357847	761,68532	10,6843213	10,1558043	224,422088	29,3551279	-1472,653	-2175,2943	-3647,9473	
1	3,5	0,4	75	260	903,5792	0,55412195	0,49373404	0,14106687	0,71425554	0,17413589	0,356549852	3,5655E-17	0,64345015	7,52176E-13	0,00115584	0,187098841	2,40519758	3,76758815	18,2865192	571,831049	8,07238933	7,62441399	184,436478	28,6107407	-1004,117	-3045,5891	-4049,7591	
1	3,5	0,6	75	260	611,676	0,77562648	0,43214207	0,12346916	0,87053032	0,21333841	0,43681849	4,36818E-17	0,56318151	7,66054E-15	0,00141605	0,229219652	2,10744443	3,55141853	9,33380048	291,87386	4,18034667	3,89165146	124,853878	27,7757338	-448,77309	-4077,3424	-4526,1155	
1	4,75	0	75	260	1269,9311	0,24380055	0,61691797	0,12987747	0,39266057	0,09573086	0,196012576	1,96013E-17	0,80398742	2,98428E-13	0,00063542	0,102857217	2,82629701	4,02552051	29,666633	927,694427	12,9570813	12,369259	259,215373	30,1099499	-1948,6475	-1489,0025	-3437,6501	
1	4,75	0,2	75	260	1122,8298	0,38175217	0,555326	0,11691074	0,55345805	0,13493338	0,276281214	2,76281E-17	0,72371879	4,74953E-13	0,00089563	0,144978029	2,54595632	3,82676335	25,0840091	784,392871	10,9957307	10,4585716	229,189399	29,4101728	-1530,1999	-2260,2982	-3790,4981	
1	4,75	0,4	75	260	921,3315	0,55412195	0,49373404	0,10394401	0,71425554	0,17413589	0,356549852	3,5655E-17	0,64345015	7,52176E-13	0,00115584	0,187098841	2,26561563	3,6280062	18,8350914	588,985251	8,30908667	7,85131669	188,060036	28,6337224	-1041,9669	-3160,225	-4202,1919	
1	4,75	0,6	75	260	621,2197	0,77562648	0,43214207	0,09097728	0,87053032	0,21333841	0,43681849	4,36818E-17	0,56318151	7,66054E-15	0,00141605	0,229219652	1,98527494	3,42924904	9,6230142	300,9455	4,307596	4,01206667	126,801916	27,7672668	-464,90259	-4223,8883	-4688,7909	
1	6	0	75	260	1286,9741	0,24380055	0,61691797	0,10281966	0,39266057	0,09573086	0,196012576	1,96013E-17	0,80398742	2,98428E-13	0,00063542	0,102857217	2,72455966	3,92378316	30,1984797	944,32561	13,1843213	12,5910081	262,69415	30,1643101	-1995,57	-1524,857	-3520,4277	
1	6	0,2	75	260	1137,2404	0,38175217	0,555326	0,09255433	0,55345805	0,13493338	0,276281214	2,76281E-17	0,72371879	4,74953E-13	0,00089563	0,144978029	2,45437624	3,73518327	25,5322663	798,410159	11,187872	10,6454688	232,130857	29,4444192	-1565,8944	-2313,0234	-3878,9177	
1	6	0,4	75	260	932,2528	0,55412195	0,49373404	0,08228901	0,71425554	0,17413589	0,356549852	3,5655E-17	0,64345015	7,52176E-13	0,00115584	0,187098841	2,18419282	3,54658339	19,1727549	599,544202	8,454704	7,9939227	190,289266	28,6479638	-1065,3587	-3231,1707	-4296,5294	
1	6	0,6	75	260	627,0731	0,77562648	0,43214207	0,07202368	0,87053032	0,21333841	0,43681849	4,36818E-17	0,56318151	7,66054E-15	0,00141605	0,229219652	1,91400094	3,35798351	9,80193937	306,51286	4,38564133	4,08683813	127,996698	27,7620432	-474,85853	-4314,3423	-4789,2008	
1	3,329545455	0,34545455	75	260	981,311323	0,46307786	0,53386592	0,24215766	0,68525353	0,48767911	0,172590291	0,049371949	0,77803776	1,10029E-11	0,00098629	0,090566419	2,93619484	4,51542666	20,7160997	647,805575	9,10881764	8,63740766	200,302977	27,7726741	-1249,958	-2327,0962	-3577,0542	
										10,8%	3,8%	1,1%	17,2%	0,0%	0,0%	2,0%	65,0%	100,0%										

Contenido energético	Moles totales	Masa del gas (g/mol)	%H ₂	%CH ₄	%CO	%CO ₂	%H ₂ O	%H ₂ S	%O ₂	%N ₂
-3577,0542	4,515426656	27,77267408	10,8%	3,8%	1,1%	17,2%	0,0%	0,0%	2,0%	65,0%

ANEXO 3. Diversificados elemental

Avance de la reacción	Razón de equivalentes a (aire en/aire part react)		Cantidad de vapor/cantidad biomasa	Razón de calentamiento	Energía de activación	Fracción de avance de la reacción de la biomasa										Moles totales	Valor de H	Valor de I	Tiempo (min)	Valor de la función g/A	Energía de activación teórica calculada	Masa del gas (g/mol)	Entalpia sensible (J/g)	Entalpia de combustión LHV (J/g)	Contenido energético total J/g			
	ER	x				Beta	E	Tfin	r	a	aa	ca	nH2	nCH4	nCO											nCO2	nH2O	nH2S
1	1	0	75	260	1114.9067	0.1861445	0.6321091	0.6321091	0.4098427	0.4851382	1.889111	0.0580807	0.9411503	8.175E-13	0.0009944	6.617E-14	4.7855643	6.271697	24.837621	776.68814	10.800608	10.355842	228.20373	28.40383	1559.8257	-752.325	-2312.1607	
1	1	0.2	75	260	1042.3743	0.284515	0.583701	0.583701	0.5784562	0.6847293	2.667E-11	0.0836011	0.9169389	4.074E-14	0.0014035	4.296E-11	4.4215358	6.1076884	706.22809	9.9229907	9.4165878	21.35275	27.501735	193.6414	-1126.1864	-2499.8178		
1	1	0.4	75	260	953.717	0.4006773	0.535293	0.535293	0.7470697	0.88432	3.444E-11	0.1072725	0.8927275	8.595E-11	0.0018126	5.98E-13	4.0570753	5.046399	19.836602	620.30313	8.7408227	8.2707085	195.20967	26.45848	-1163.5471	-1548.113	-2711.6602	
1	1	0.6	75	260	842.8991	0.5399383	0.4868849	0.4868849	0.9156832	1.0839109	4.221E-11	0.1314839	0.8688161	6.892E-11	0.0022127	4.85E-13	3.6934788	5.7796114	16.414329	513.28648	7.263234	6.8483107	172.52813	25.543932	924.46553	-2028.2194	-2952.685	
1	1	0.8	75	260	700.9817	0.7090481	0.4384760	0.4384760	1.0842967	1.2835018	4.998E-11	0.1556953	0.8443047	5.187E-11	0.0026308	3.187E-13	3.3298022	5.635829	12.056623	373.03826	5.3716893	5.0269101	143.47985	24.479051	650.01255	-2579.8588	-3229.8684	
1	2.25	0	75	260	1261.8901	0.1861445	0.6321091	0.6321091	0.4098427	0.4851382	1.889111	0.0580807	0.9411503	8.175E-13	0.0009944	6.617E-14	4.7855643	6.271697	24.837621	776.68814	10.800608	10.355842	228.20373	28.40383	1559.8257	-752.325	-2312.1607	
1	2.25	0.2	75	260	1175.6637	0.284515	0.583701	0.583701	0.5784562	0.6847293	2.667E-11	0.0836011	0.9169389	4.074E-14	0.0014035	4.296E-11	4.4215358	6.1076884	706.22809	9.9229907	9.4165878	21.35275	27.501735	193.6414	-1126.1864	-2499.8178		
1	2.25	0.4	75	260	1070.4649	0.4006773	0.535293	0.535293	0.7470697	0.88432	3.444E-11	0.1072725	0.8927275	8.595E-11	0.0018126	5.98E-13	4.0570753	5.046399	19.836602	620.30313	8.7408227	8.2707085	195.20967	26.45848	-1163.5471	-1548.113	-2711.6602	
1	2.25	0.6	75	260	939.1765	0.5399383	0.4868849	0.4868849	0.9156832	1.0839109	4.221E-11	0.1314839	0.8688161	6.892E-11	0.0022127	4.85E-13	3.6934788	5.7796114	16.414329	513.28648	7.263234	6.8483107	172.52813	25.543932	924.46553	-2028.2194	-2952.685	
1	2.25	0.8	75	260	771.2057	0.7099481	0.4384769	0.4384769	1.0842967	1.2835018	4.998E-11	0.1556953	0.8443047	5.187E-11	0.0026308	3.187E-13	3.3298022	5.635829	12.056623	373.03826	5.3716893	5.0269101	143.47985	24.479051	650.01255	-2579.8588	-3229.8684	
1	3.5	0	75	260	1252.1578	0.2422987	0.6035366	0.6035366	0.4220475	0.5120870	1.728318	0.0948156	0.9949046	1.95E-17	0.0012359	0.0994463	2.9497725	4.1452702	12.188086	256.29586	36.059281	190.07368	1440.2874	-3341.1237	-1900.7368	-4440.2874	-3341.1237	
1	3.5	0.2	75	260	1108.1871	0.3798476	0.5433738	0.5433738	0.5523088	0.1338237	0.2752823	1.735E-17	0.7247177	8.216E-14	0.0017443	0.1403595	2.6889771	3.9348547	24.628686	770.15495	10.800465	10.268773	256.82834	59.382865	-1494.8448	-2190.9941	-3658.8489	
1	3.5	0.4	75	260	911.0546	0.5516482	0.4832105	0.4832105	0.1380602	0.7138008	0.1728318	0.355524	3.555E-17	0.644476	2.209E-13	0.0022528	0.1812727	2.3880818	3.7244391	18.517475	579.0532	8.1702613	7.207093	186.47844	28.630919	-1020.5598	-3068.1189	-4088.6787
1	3.5	0.6	75	260	617.6994	0.7723135	0.4220475	0.4220475	0.1208707	0.8742927	0.2118399	0.4357657	4.358E-17	0.5642343	3.172E-13	0.0027612	0.221859	2.0772364	3.5140235	9.5168649	297.5984	4.2606373	3.4679787	126.43326	27.87014	-458.96301	-4106.6935	-4565.6565
1	4.75	0	75	260	1278.7356	0.2422987	0.6035366	0.6035366	0.4220475	0.5120870	1.728318	0.0948156	0.9949046	1.95E-17	0.0012359	0.0994463	2.9497725	4.1452702	12.188086	256.29586	36.059281	190.07368	1440.2874	-3341.1237	-1900.7368	-4440.2874	-3341.1237	
1	4.75	0.2	75	260	1131.5441	0.3798476	0.5433738	0.5433738	0.5523088	0.1338237	0.2752823	1.735E-17	0.7247177	8.216E-14	0.0017443	0.1403595	2.6889771	3.9348547	24.628686	770.15495	10.800465	10.268773	256.82834	59.382865	-1494.8448	-2190.9941	-3658.8489	
1	4.75	0.4	75	260	928.8103	0.5516482	0.4832105	0.4832105	0.1017285	0.7138008	0.1728318	0.355524	3.555E-17	0.644476	2.209E-13	0.0022528	0.1812727	2.314749	3.8787322	19.066306	596.21547	8.480884	7.9495395	190.11275	28.653497	-1058.5496	-3182.5831	-4240.8777
1	4.75	0.6	75	260	627.2927	0.7723135	0.4220475	0.4220475	0.089626	0.8742927	0.2118399	0.4357657	4.358E-17	0.5642343	3.172E-13	0.0027612	0.221859	1.957638	3.9404251	9.8080204	306.71178	4.3885693	4.0896237	128.39688	27.779038	-473.2704	-4252.6085	-4727.879
1	6	0	75	260	1296.7821	0.2422987	0.6035366	0.6035366	0.4220475	0.5120870	1.728318	0.0948156	0.9949046	1.95E-17	0.0012359	0.0994463	2.9497725	4.1452702	12.188086	256.29586	36.059281	190.07368	1440.2874	-3341.1237	-1900.7368	-4440.2874	-3341.1237	
1	6	0.2	75	260	1145.9496	0.3798476	0.5433738	0.5433738	0.5523088	0.1338237	0.2752823	1.735E-17	0.7247177	8.216E-14	0.0017443	0.1403595	2.6889771	3.9348547	24.628686	770.15495	10.800465	10.268773	256.82834	59.382865	-1494.8448	-2190.9941	-3658.8489	
1	6	0.4	75	260	939.2786	0.5516482	0.4832105	0.4832105	0.1085351	0.7138008	0.1728318	0.355524	3.555E-17	0.644476	2.209E-13	0.0022528	0.1812727	2.1517875	3.5981448	15.403967	606.7423	8.5548183	8.0903249	192.24755	28.668037	-1082.0454	-3523.9638	-4335.0993
1	6	0.6	75	260	613.173	0.7723135	0.4220475	0.4220475	0.0705079	0.8742927	0.2118399	0.4357657	4.358E-17	0.5642343	3.172E-13	0.0027612	0.221859	1.8878723	3.246594	9.987631	312.1743	4.466973	4.1642324	129.60408	27.77412	-485.32953	-4342.6154	-4827.945
3.3295455	0.3454545	75	260	988.42679	0.4582168	0.5232925	0.5232925	0.2375939	0.6847434	0.485597	0.1720381	0.0487602	0.7792017	1.906E-11	0.0001914	0.0877179	2.8930367	4.4682655	20.936501	654.69765	9.2036905	8.723902	202.3153	27.789677	-1267.2035	-2340.2383	-3607.4418	
										10.9%	3.9%	1.1%	17.4%	0.0%	0.0%	2.0%	64.7%	100.0%										

Contenido energético	Moles totales	Masa del gas (g/mol)	%H2	%CH4	%CO	%CO2	%H2O	%H2S	%O2	%N2
3607.4418	4.6839555	27.789977	10.9%	3.9%	1.1%	17.4%	0.0%	0.0%	2.0%	64.7%

ANEXO 4. ANÁLISIS FINANCIERO - COMPOSTAJE

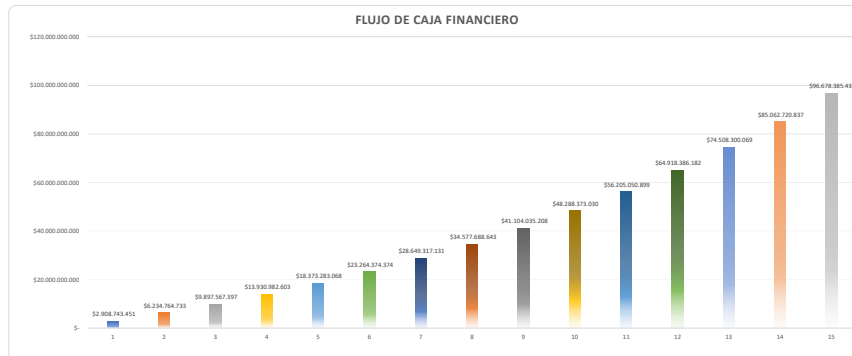
DEFINICIÓN DE COSTOS DE AOMM					
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD AÑO	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL AÑO 0
COMBUSTIBLE TRACTOR	ACPM	Gal	2340	\$ 9.307	\$ 21.895.380
MANO DE OBRA TRACTOR	HONORARIOS OPERARIO	Horas	832	\$ 4.833	\$ 4.021.056
MANO DE OBRA COMPOSTERA	HONORARIOS OPERARIO	Horas	2496	\$ 4.833	\$ 12.063.168
TRABAJOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EQUIPOS	HONORARIOS OPERARIO, REPUESTOS, MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS	GLB	12	\$ 1.800.000	\$ 21.600.000
VALOR TOTAL AOMM					\$ 59.578.604

DEGRADACIÓN																
ACTIVO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
TRACTOR KUBOTA L4400	6,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%
DEGRADACIÓN ACUMULADA	6,00%	6,00%	13,00%	20,00%	27,00%	33,00%	39,00%	45,00%	51,00%	57,00%	63,00%	69,00%	75,00%	81,00%	87,00%	93,00%

GENERACIÓN DE COMPOST																
ACTIVO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
GENERACIÓN DE COMPOST (Ton/año)		3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103	3.103
GENERACIÓN ACUMULADA		3.103	6.206	9.309	12.412	15.515	18.618	21.721	24.824	27.927	31.030	34.133	37.236	40.339	43.442	46.545

FLUJO DE CAJA FINANCIERO																
CONCEPTO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
VALOR COMERCIAL PROMEDIO COMPOSTAJE X TON		\$ 997.500	\$ 1.097.250	\$ 1.206.975	\$ 1.327.673	\$ 1.460.440	\$ 1.606.484	\$ 1.767.132	\$ 1.943.845	\$ 2.138.230	\$ 2.352.053	\$ 2.587.268	\$ 2.845.984	\$ 3.130.582	\$ 3.443.641	\$ 3.788.005
INGRESOS																
GENERACIÓN DE COMPOST		\$ 3.095.242.500	\$ 3.404.766.750	\$ 3.745.243.425	\$ 4.119.767.769	\$ 4.531.744.544	\$ 4.984.918.999	\$ 5.483.410.899	\$ 6.031.751.988	\$ 6.634.927.187	\$ 7.298.419.906	\$ 8.028.261.897	\$ 8.831.088.086	\$ 9.714.196.895	\$ 10.685.616.084	\$ 11.754.178.243
TOTAL INGRESOS	\$ -	\$ 3.095.242.500	\$ 3.404.766.750	\$ 3.745.243.425	\$ 4.119.767.769	\$ 4.531.744.544	\$ 4.984.918.999	\$ 5.483.410.899	\$ 6.031.751.988	\$ 6.634.927.187	\$ 7.298.419.906	\$ 8.028.261.897	\$ 8.831.088.086	\$ 9.714.196.895	\$ 10.685.616.084	\$ 11.754.178.243
EGRESOS																
VALOR PROMEDIO kWh		\$ 723	\$ 810	\$ 907	\$ 1.015	\$ 1.138	\$ 1.274	\$ 1.427	\$ 1.598	\$ 1.790	\$ 2.005	\$ 2.246	\$ 2.515	\$ 2.817	\$ 3.155	\$ 3.523
INVERSIÓN: TRACTOR	\$ 104.947.500	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
DEPRECIACIÓN EQUIPO	\$ 6.296.850	\$ 7.346.325	\$ 7.346.325	\$ 7.346.325	\$ 7.346.325	\$ 6.296.850	\$ 6.296.850	\$ 6.296.850	\$ 6.296.850	\$ 6.296.850	\$ 6.296.850	\$ 6.296.850	\$ 6.296.850	\$ 6.296.850	\$ 6.296.850	\$ 6.296.850
AOMM	\$ -	\$ 59.578.604	\$ 63.070.373	\$ 66.765.666	\$ 70.677.467	\$ 74.818.469	\$ 79.202.073	\$ 83.842.522	\$ 88.754.856	\$ 93.955.003	\$ 99.459.626	\$ 105.287.177	\$ 111.455.953	\$ 117.986.157	\$ 124.898.966	\$ 132.216.797
AMORTIZACIÓN CREDITO	\$ -	\$ 4.777.292	\$ 5.063.929	\$ 5.367.765	\$ 5.689.831	\$ 6.031.220	\$ 6.393.094	\$ 6.776.679	\$ 7.183.280	\$ 7.614.277	\$ 8.071.134					
INTERESES CREDITO	\$ -	\$ 3.551.476	\$ 3.264.841	\$ 2.961.005	\$ 2.638.939	\$ 2.297.549	\$ 1.935.676	\$ 1.552.091	\$ 1.145.499	\$ 714.493	\$ 254.274					
TOTAL EGRESOS	\$ 111.244.350	\$ 75.254.699	\$ 78.745.468	\$ 82.440.761	\$ 86.352.561	\$ 89.444.979	\$ 93.827.893	\$ 98.468.142	\$ 103.386.476	\$ 108.580.623	\$ 114.062.084	\$ 111.584.027	\$ 117.752.803	\$ 124.283.007	\$ 131.195.816	\$ 138.013.647
FLUJO NETO ECONÓMICO	\$ -111.244.350	\$ 3.219.987.801	\$ 3.326.021.282	\$ 3.662.802.664	\$ 4.033.415.206	\$ 4.442.309.465	\$ 4.891.091.306	\$ 5.394.942.796	\$ 5.928.371.513	\$ 6.526.346.565	\$ 7.184.337.822	\$ 7.916.677.869	\$ 8.713.335.283	\$ 9.589.913.887	\$ 10.554.420.769	\$ 11.615.664.596
FLUJO NETO ECONÓMICO ACUMULADO	\$ -111.244.350	\$ 2.908.743.451	\$ 6.234.764.733	\$ 9.897.567.397	\$ 13.930.982.603	\$ 18.373.283.068	\$ 23.264.374.374	\$ 28.649.317.131	\$ 34.577.688.643	\$ 41.104.035.208	\$ 48.288.373.636	\$ 56.205.050.899	\$ 64.918.386.182	\$ 74.508.300.069	\$ 85.062.720.837	\$ 96.678.385.433

TIO	8%
VPN	\$ 44.526.666.885
TIR	2724,87%



ANEXO 4. ANÁLISIS FINANCIERO - GASIFICACIÓN

DEFINICIÓN DE COSTOS DE ADAM					
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD AÑO	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL AÑO 0
COMBUSTIBLE CHPEADORA	GASOLINA	Gal	904.8	\$ 12.364	\$ 11.186.947
MANO DE OBRA PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA	HONORARIOS OPERARIO	Horas	2496	\$ 4.833	\$ 12.063.168
TRABAJOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EQUIPAMIENTO	HONORARIOS OPERARIO, REPUESTOS, MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS 45% COSTO	GLB	1	\$ 16.291.070	\$ 16.291.070
VALOR TOTAL ADAM					\$ 39.541.685

DEGRADACIÓN																
ACTIVO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
GASIFICADOR		10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%
CHPEADORA		10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%
DEGRADACIÓN ACUMULADA	0,00%	0,00%	20,00%	40,00%	60,00%	80,00%	100,00%	120,00%	140,00%	160,00%	180,00%	180,00%	180,00%	180,00%	180,00%	180,00%

GENERACIÓN DE ENERGÍA																
ACTIVO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
GENERACIÓN DE ENERGÍA (Wh/año)		24.869	24.869	24.869	24.869	24.869	24.869	24.869	24.869	24.869	24.869	24.869	24.869	24.869	24.869	24.869
GENERACIÓN ACUMULADA		24.869	49.738	74.607	99.476	124.345	149.214	174.083	198.952	223.821	248.690	273.559	298.428	323.297	348.166	373.035

FLUJO DE CAJA FINANCIERO																	
CONCEPTO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	
VALOR PROMEDIO ENERGÍA kWh		\$ 527	\$ 580	\$ 638	\$ 701	\$ 772	\$ 849	\$ 934	\$ 1.027	\$ 1.130	\$ 1.243	\$ 1.367	\$ 1.504	\$ 1.654	\$ 1.819	\$ 2.001	
INGRESOS																	
GENERACIÓN DE ENERGÍA		\$ 13.105.963	\$ 14.416.559	\$ 15.858.215	\$ 17.444.037	\$ 19.188.440	\$ 21.107.284	\$ 23.218.013	\$ 25.539.814	\$ 28.093.796	\$ 30.903.175	\$ 33.993.493	\$ 37.392.842	\$ 41.132.126	\$ 45.245.339	\$ 49.769.873	
INCENTIVOS TRIBUTARIOS (REDUCCIÓN IMPUESTO RENTA INGRES)		\$ 171.061.488	\$ 171.061.488	\$ 171.061.488	\$ 171.061.488	\$ 171.061.488											
REDUCCIÓN IVA Y ARANCELILES		\$ 110.792.678															
PRÉSTAMO		\$ 205.273.785															
TOTAL INGRESOS		\$ 316.656.463	\$ 184.167.451	\$ 185.478.047	\$ 186.919.793	\$ 188.595.524	\$ 190.248.928	\$ 211.107.284	\$ 232.118.013	\$ 255.539.814	\$ 28.093.796	\$ 30.903.175	\$ 33.993.493	\$ 37.392.842	\$ 41.132.126	\$ 45.245.339	\$ 49.769.873
VALOR PROMEDIO kWh		\$ 527	\$ 580	\$ 638	\$ 701	\$ 772	\$ 849	\$ 934	\$ 1.027	\$ 1.130	\$ 1.243	\$ 1.367	\$ 1.504	\$ 1.654	\$ 1.819	\$ 2.001	
EGRESOS																	
INVERSIÓN		\$ 342.122.975	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
DEPRECIACIÓN EQUIPOS		\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	\$ 32.583.140	
ADAM		\$ 39.541.685	\$ 41.858.433	\$ 44.310.918	\$ 46.907.095	\$ 49.655.382	\$ 52.564.691	\$ 55.644.456	\$ 58.904.664	\$ 62.355.889	\$ 66.009.320	\$ 69.876.806	\$ 73.970.888	\$ 78.304.843	\$ 82.892.724	\$ 87.749.408	
AMORTIZACIÓN CRÉDITO		\$ 15,573,703	\$ 16,508,125	\$ 17,488,813	\$ 18,548,529	\$ 19,681,441	\$ 20,881,139	\$ 22,151,959	\$ 23,477,091	\$ 24,822,116	\$ 26,191,443	\$ 27,579,277	\$ 28,979,215	\$ 30,384,961	\$ 31,791,121	\$ 33,191,121	
INTERESES CRÉDITO		\$ 11,577,621	\$ 10,643,199	\$ 9,652,711	\$ 8,602,794	\$ 7,489,883	\$ 6,310,186	\$ 5,093,728	\$ 3,734,233	\$ 2,239,207	\$ 638,020	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
TOTAL EGRESOS		\$ 342.122.975	\$ 99,276,150	\$ 101,592,897	\$ 104,045,383	\$ 106,641,559	\$ 109,389,846	\$ 112,299,155	\$ 115,378,920	\$ 118,630,128	\$ 122,090,353	\$ 125,732,824	\$ 129,576,806	\$ 133,727,888	\$ 138,304,843	\$ 143,323,724	\$ 148,809,408
FLUJO NETO ECONÓMICO		-\$ 26,066,512	\$ 84,891,301	\$ 83,885,150	\$ 82,874,320	\$ 81,863,965	\$ 80,860,082	-\$ 91,191,870	-\$ 92,160,907	-\$ 93,099,314	-\$ 93,996,057	-\$ 94,829,649	-\$ 95,588,314	-\$ 96,278,046	-\$ 96,872,717	-\$ 97,374,385	-\$ 97,779,536
FLUJO NETO ECONÓMICO ACUMULADO		-\$ 26,066,512	\$ 58,824,789	\$ 142,709,938	\$ 225,584,259	\$ 307,448,224	\$ 388,308,306	\$ 297,116,436	\$ 204,955,529	\$ 111,856,214	\$ 17,859,657	-\$ 76,969,992	-\$ 112,853,306	-\$ 149,431,353	-\$ 186,604,069	-\$ 224,251,454	-\$ 262,230,989

TID	8%
VPN	\$ 10.623.744
TR	8,91%

