

Eje temático: Energías Alternativas

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y TAMAÑO DE
PARTÍCULA EN LA DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS DEL PROCESO DE
PIRÓLISIS DEL CUESCO DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*) PARA
LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE**

AUTOR(A):

MARCELA JUDITH MONDRAGON GUZMAN

LEIDY STEPHANY ALFONSO BORDA

Proyecto de Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.

2020

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA Y TAMAÑO DE
PARTÍCULA EN LA DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS DEL PROCESO DE
PIRÓLISIS DEL CUESCO DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*) PARA
LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE**

AUTOR(A):

MARCELA JUDITH MONDRAGON GUZMAN

LEIDY STEPHANY ALFONSO BORDA

DIRECTOR:

GABRIEL DE JESUS CAMARGO VARGAS

INGENIERO QUÍMICO

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

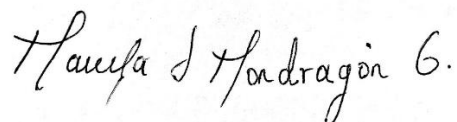
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.

2020

Declaratoria de originalidad:

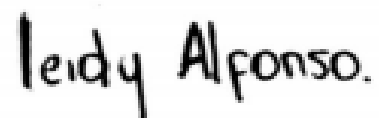
El presente trabajo de grado titulado “**evaluación del efecto de la temperatura y tamaño de partícula en la distribución de productos del proceso de pirolisis del cuesco de palma africana (*Elaeis guineensis*) para la obtención de biocombustible**” realizado por los estudiantes **Marcela Judith Mondragón Guzmán y Leidy Stephany Alfonso Borda** con códigos **064141116** y **064141032** respectivamente, cumple con todos los requisitos legales exigidos por la Universidad Libre para optar por el título de Ingeniero Ambiental. Se espera que el trabajo presentado aporte al entendimiento de las energías renovables. Este trabajo de grado es el resultado de las investigaciones de las autoras, excepto donde se indica fuente de informaciones consultadas.



Firma

Marcela Judith Mondragón Guzmán

064141116



Firma

Leidy Stephany Alfonso Borda

064141032

Agradecimientos:

Queremos agradecer especialmente a nuestras familias que, de manera sincera, contribuyeron en este gran logro, fueron siempre nuestro principal apoyo y depositaron toda su confianza en nosotras y nuestro proyecto de vida, el cual hoy vemos materializado. Fueron ellos quienes creyeron ciegamente en que los valores y principios enseñados desde el seno del hogar no serían en vano y pronto alcanzarían su propósito al motivar en nosotras el llegar a ser profesionales integrales.

A la Universidad Libre y a la facultad de ingeniería ambiental, quienes con su profesionalismo y apoyo contribuyeron de manera significativa a este gran logro.

Al ingeniero Gabriel Camargo, profesional destacado, ejemplo a seguir, ya que, con su entrega, disposición y sus conocimientos, culminamos este proyecto de investigación, el cual aporta a nuestro crecimiento personal y profesional.

Al grupo docente y al cuerpo administrativo por su gran colaboración durante el proceso en la elaboración de nuestro proyecto, por su experiencia y su valioso tiempo en cada una de las actividades que los requerían.

“La tierra proporciona lo suficiente para satisfacer las necesidades de cada ser humano, pero no la de su codicia”

Mahatma Gandhi

RESUMEN

Los aspectos ambientales han sido relevantes los últimos años, esto frente a tantas problemáticas que se presentan en cuanto a la generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, junto a esto a las grandes industrias de producción en donde la mayoría sus materias primas son agrícolas y más en un país como Colombia en donde la agronomía es una de las principales actividades de las regiones centrales del país. El aprovechamiento energético que se le puede dar a todos los residuos generados por las grandes industrias es relevante ya que la gran mayoría de estos son desechados o solo usados para compost, sin embargo, en algunas industrias se usan para combustibles sólidos que vuelven al ciclo de producción.

Para el aprovechamiento de las biomásas, sub-productos de procesos agroindustriales, se usan diferentes métodos térmicos, como la pirólisis, que consta de la descomposición de la biomasa por medio de calor en ausencia de oxígeno, en donde salen productos en los tres estados de la materia. En la presente investigación se busca evaluar el efecto de la temperatura y tamaño de partícula del cuesco de palma para la obtención de biocombustible con procesos termoquímico (pirólisis), donde se manejan dos variables, la primera es la temperatura que a partir de un análisis termogravimétrico se establecen según la pérdida de masa y el incremento de esta variable (temperatura). La segunda variable se determina a partir de un análisis granulométrico para respectivamente obtener dos tamaños de partícula, uno grueso y el otro fino, las variables seleccionadas son las siguientes 500°C-2mm, 500°C-250µm, 350°C-2mm y 350°C 250µm. En el proceso se hizo una adecuación por tamizado de materias primas seguidas de una caracterización de las mismas por análisis próximo, análisis elemental, poder calorífico y FTIR.

Después de la pirólisis los productos sólidos, líquidos y gaseosos se caracterizaron de manera independiente para cada fase, incluyendo cromatografía para la fracción gaseosa.

La muestra de variables de temperatura y tamaño de partícula de (350°C-2mm) dio los mejores valores para la caracterización del cuesco de palma entre las que están un 2.44% de carbono fijo, un 1.14% de nitrógeno el cual es un valor adecuado según el rango de estudio y un poder calorífico de 37080,11 KJ/Kg, determinando de esta manera un análisis óptimo para cumplir con cada uno de los objetivos establecidos en el presente proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
2.1 Cuesco	15
2.2 Distribución nacional.....	16
3. JUSTIFICACIÓN	18
4. PREGUNTA PROBLEMA.....	20
5. OBJETIVOS	21
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
6 MARCO REFERENCIAL	22
6.1 MARCO LEGAL.....	22
6.2 MARCO GEOGRÁFICO	25
6.3 MARCO CIENTÍFICO	27
6.4 MARCO CONCEPTUAL.....	28
6.5 MARCO TEÓRICO	32
7 DISEÑO METODOLÓGICO	36
7.1 GRANULOMETRÍA	39
7.2 ANÁLISIS PRÓXIMO.....	39
7.2.1 Humedad	39
7.2.2 Materia Volátil	40
7.2.3 Cenizas	41
7.2.4 Carbono fijo.....	41
7.3 ANÁLISIS ELEMENTAL	42
7.4 PODER CALORÍFICO	42
7.5 ANÁLISIS FTIR.....	43
7.6 ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO	43
7.7 PIRÓLISIS	44

7.8	CROMATOGRAFÍA DE GASES	44
7.9	PROBLEMÁTICAS GENERADAS POR COMBUSTIBLES FÓSILES	45
8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
8.1	Análisis Granulométrico	46
8.2	Análisis Termogravimétrico.....	48
8.4	Pirólisis	51
8.5	Análisis Próximo	55
8.6.	Espectroscopia FTIR	57
8.7	Poder Calorífico	62
8.8	Cromatografía de gases	65
8.8.1	Producto gaseoso	65
8.9	PROBLEMÁTICAS GENERADAS POR COMBUSTIBLES FÓSILES	68
8.9.1	Uso del Biogás	69
8.9.2	Biomasa y sus productos	69
8.9.3	Potencial energético en Colombia	71
8.9.4	Análisis del ciclo de vida (ACV)	73
8.9.5	Conocimiento de estudios sobre análisis de ACV para la producción de biodiesel a partir del aceite de palma en Colombia entre 2010-2015	73
9	CONCLUSIONES.....	76
10	BIBLIOGRAFIA.....	78
11	ANEXOS.....	88

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Tamaño de partícula VS % de material retenido	48
Gráfica 2. Análisis TGA, % de masa Vs temperatura	49
Gráfica 3. Análisis FTIR – Muestra inicial	61
Gráfica 4. Espectro FTIR a 500°C – 2mm	62
Gráfica 5. Espectro FTIR a 500°C – 250 micras	63
Gráfica 6. Espectro FTIR a 350°C – 2mm	64
Gráfica 7. Espectro FTIR a 350°C – 250 micras	64
Gráfica 8. Variación de temperatura respecto al tiempo	68
Gráfica 9. Especies producidas en pirolisis a 1 atm	69
Gráfica 10. Fracción molar acumulada de los gases a diferentes temperaturas de pirolisis	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad que aplica para producción de biocombustibles	22
Tabla 2. Normas para las pruebas de laboratorio	22
Tabla 3. Comparación de los procesos de pirolisis	27
Tabla 4. Grupos Funcionales	30
Tabla 5. Fuentes de biomasa	41
Tabla 6. Comparación de cuatro procesos principales de conversión termoquímica	42
Tabla 7. Eficiencias estimadas de diferentes tipos de biodiesel frente a diésel comercial, zona del Pacífico colombiano	44
Tabla 8. Resultados de granulometría	47
Tabla 9. Análisis Elemental de la Biomasa	51
Tabla 10. Resultados obtenidos del proceso de pirolisis	53
Tabla 11. Resultados Análisis Próximo Productos sólidos obtenidos	58
Tabla 12. Resultados del Poder Calorífico	67

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Porcentaje de generación de residuos aprovechables por tipo de material en el sector público distrital	13
Ilustración 2. Localización de núcleos palmeros	16
Ilustración 3. Reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero de determinados biocombustibles en comparación con los combustibles fósiles	18
Ilustración 4. Distribución del porcentaje de mezcla de biodiesel en el territorio nacional	21
Ilustración 5. Mapa de Localización del Municipio del Meta en Colombia	24
Ilustración 6. Procesos y productos de biomasa termoquímica	26
Ilustración 7. Diseño Metodológico	36
Ilustración 8. Montaje de tamizado	47
Ilustración 9. Esquema básico del proceso de pirolisis	52
Ilustración 10. Balance de materia del proceso de pirolisis	54
Ilustración 11. Montaje del proceso de pirolisis	54
Ilustración 12. Equipo para análisis infrarrojo IR Prestige - 21 - Shimadzu	60
Ilustración 13. Montaje de la bomba calorimétrica	66

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis último biomasa de palma de aceite

88

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la búsqueda e implementación de nuevas fuentes de energía ha tomado gran importancia debido a problemas relacionados con el cambio climático y el agotamiento de combustibles fósiles. (Okoroigwe y Saffron, 2012; Kong et al., 2014). La contaminación atmosférica proveniente de uso de combustibles fósiles ha sido uno de los impactos ambientales más relevantes los últimos años, incluso en un comunicado de julio de 2016, la comisión europea emitió un mensaje sutil sobre lo poco que los biocombustibles a base de alimentos ayudarían a reducir las emisiones de carbono del sector de transporte, esto ratifica la importancia del aprovechamiento de los residuos ordinarios. A nivel Latinoamérica la normativa obligatoria de Brasil para el biodiesel debió llegar al 10% en 2019, lo que puede llegar a generar un aumento de la producción de más de 40% durante la próxima década. Colombia, Dada su ubicación geográfica y sus condiciones climáticas, cuenta con una gran biodiversidad y un importante potencial de biomasa, tanto agrícolas como pecuarias, a ser explotadas (Escalante et. 2010).

El país se ha posicionado en los últimos años como el primer productor de palma de aceite en América latina y el cuarto a nivel mundial, con una producción superior a un millón de toneladas de aceite en 2013, un 1,85% del total de la producción mundial (Fedepalma, 2014). Dentro de los principales residuos de la industria palmera se encuentra el cuesco (Escalante et. 2010), considerada una biomasa con un alto nivel de aprovechamiento energético.

Los procesos de pirolisis para este tipo de biomasa, brindan una adecuada disposición de los residuos generados en la industria de aceite de palma. Se presenta como un proceso de descomposición térmica de la biomasa en productos sólido, líquido y gas. (Park, Lee, Ryu y Park, 2014) Con ausencia de oxígeno, en el rango de temperaturas comprendido entre 300°C y 500°C y se considera el paso previo para el proceso de combustión (Basu, P. 2013).

En este sentido, el presente trabajo analiza la distribución de los productos obtenidos a partir de la pirolisis lenta del cuesco de palma en el rango de temperaturas comprendido entre 300 °C y 500 °C, usando un reactor de lecho fijo a escala de laboratorio. Se estudia además el comportamiento del contenido energético del carbonizado y el gas producidos, en los niveles de temperatura establecidos, con el fin de determinar el potencial de aprovechamiento energético del cuesco de palma de aceite, como biomasa residual.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema de la generación de residuos vino a sumarse a otros muchos problemas ecológicos que han acabado conformando una verdadera crisis ambiental. Algunos de los principales efectos ambientales de la generación de residuos orgánicos son, la contaminación de los suelos y la generación de emisiones de gases contaminantes.

La contaminación de los suelos a causa de los desechos y residuos materiales que se van depositando en la tierra, se descomponen y la dañan, con lo cual ocasionan severos problemas ambientales. El grado en que el suelo atenúa algunos contaminantes que reciben de los desechos dependerá de su porosidad, y habilidad para absorber y precipitar los sólidos disueltos, pero no todos los contaminantes pueden ser atenuados por el suelo. Si la filtración continúa luego de que los suelos subyacentes hayan llegado a su máxima capacidad para atenuar los contaminantes, éstos pueden ser liberados en el agua subterránea (banco mundial, 2018).

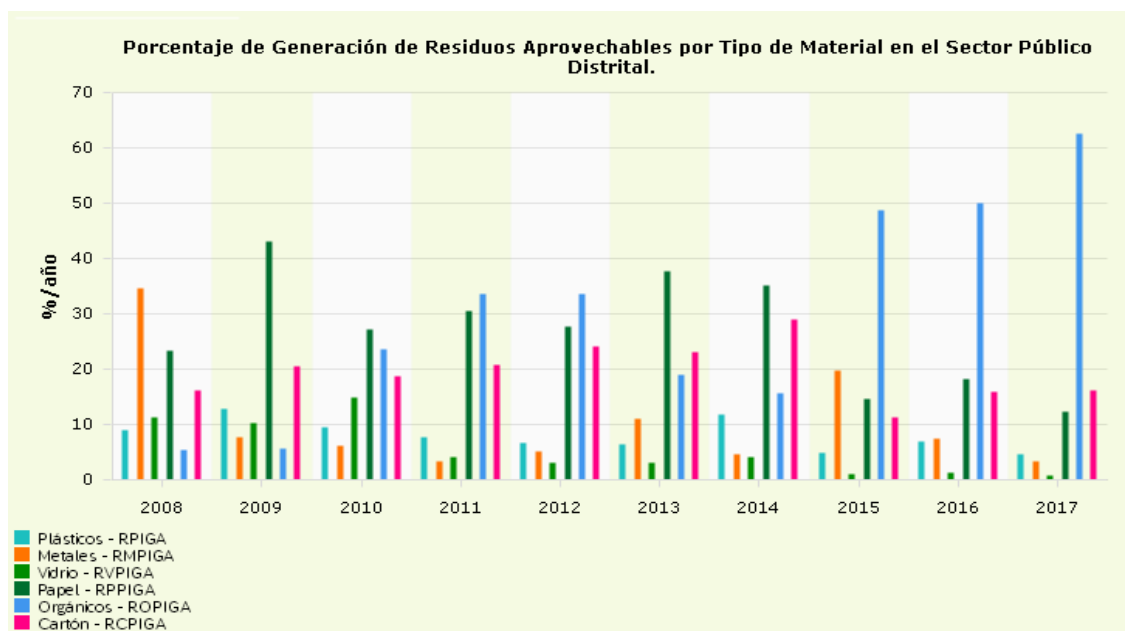
Así mismo la emisión de gases contaminantes por los combustibles fósiles produce un alto impacto negativo sobre el ambiente. La combustión de este tipo de combustibles genera emisiones de gases tales como dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros gases que han contribuido y aún contribuyen a generar y potenciar el efecto invernadero, la lluvia ácida, la contaminación del aire, suelo y agua. Los efectos contaminantes no sólo están vinculados a su combustión sino también al transporte (derrames de petróleo) y a los subproductos que originan (hidrocarburos y derivados tóxicos). La situación se agrava cuando se considera la creciente demanda de energía, bienes y servicios, debido al incremento de la población mundial y las pautas de consumo (ONU, 2019).

El aprovechamiento de los residuos es una práctica que está influyendo mucho en el campo de las energías renovables, darle un valor agregado a un residuo no solo interviene en un sistema industrial o habitual, sino que también da alternativas más saludables para el ambiente y los seres humanos. En Colombia existen ciudades con mucha producción de residuos donde la gran mayoría son aprovechables energéticamente, según el boletín técnico de DANE Cuenta ambiental y económica de flujo de materiales – Residuos sólidos 2014-2015 la generación de residuos sólidos caracterizados en desechos de animales y vegetales está en 7.405.264 toneladas /año "Para el año 2015, la generación de residuos sólidos ascendió a 17,6 millones de toneladas. Los residuos que mayor

contribución negativa aportaron fueron los desechos animales y vegetales con 1,1 puntos porcentuales, seguidos por otros desechos con 0,5 puntos porcentuales”.

La necesidad de obtener energías alternativas a partir de diferentes fuentes a los combustibles fósiles brinda no solo un factor más amigable con el ambiente sino también, permite darle un ciclo más largo a uno de los residuos más frecuentes en ámbitos forestales, y alcanzar rendimientos energéticos. En la actualidad la generación de residuos a nivel nacional está aproximadamente a 12 millones de toneladas, en donde se recicla sólo el 17% de esta y en la mayoría del reciclaje se destaca solo el papel, cartón como se evidencia en la ilustración 1. Muchos de los residuos a los cuales no se les da importancia son los que más obtienen energía, son muy pocos los desechos a los cuales no se les puede hacer una explotación, con el proceso adecuado y la utilización correcta se puede minimizar la cantidad de desperdicios que afectan al medio ambiente. La mayoría de residuos generados en una ciudad tienen energía para volver a ser aprovechados, la Secretaria Distrital de Ambiente presenta un Porcentaje de Generación de Residuos Aprovechables por Tipo de Material en el Sector Público Distrital, esto evidenciando que los porcentajes de material orgánico se elevan respectivamente de los otros tipos de materiales y se presenta una disminución del vidrio, como se evidencia en la siguiente ilustración.

Ilustración 1. Porcentaje de generación de residuos aprovechables por tipo de material en el sector público distrital



Fuente de: Secretaria Distrital de Ambiente, 2017.

Actualmente, la agroindustria es reconocida por generar conmoción económica a nivel mundial, los procesos de transformación de materias evolucionan y generan impactos ambientales a los cuales se debe aplicar acciones de prevención y mitigación; por tanto, su permanencia y oportunidades en el mercado no dependen solamente de reglamentaciones sujetas a sanciones sino también de su relación con el medio ambiente. Dentro de esta relación medioambiental, la agroindustria debe considerar que, durante los procesos previos a la producción, manejo, procesamiento y comercialización, se generan subproductos o residuos que conllevan serios problemas asociados a su disposición final (Cury, K., Aguas, Y., Martínez, A., Olivero, R. & Chams, L. 2017).

Estos residuos, dependiendo de su procedencia y de su composición, pueden ser reutilizados para generar productos para el consumo humano y animal, producción de energías renovables, obtención de biocombustibles y algunos productos químicos, así como recuperadores de la tierra o abonos.

Palma africana también conocida como palma aceitera, es ampliamente utilizada en la industria para la producción de aceite de consumo humano (Yepes, S., Montoya, L. & Orozco, F. 2008). Crece por debajo de los 500 m sobre el nivel del mar. Por lo tanto, es cultivada en países tropicales, entre los cuales se encuentran Malasia, Colombia, Ecuador, Indonesia, Nigeria y Tailandia (fedepalma, 2014). En el 2007, se produjeron 41.082.000 de aceite de palma (F. González, I. C. Jiménez, M. Rodríguez, S. Restrepo, M. Gómez. 2008), mundialmente, de los cuales Colombia aportó 379.927 t para un área equivalente a 35.850 ha sembradas (USDA, 2011).

“El proceso de transformación que se debe realizar al fruto de la almendra de la palma incluye la esterilización, desgranado, macerado, extracción del aceite de la pulpa, clarificación y recuperación del bagazo resultante. De las almendras se obtienen subproductos como el aceite y la torta de palmiste; al final de la transformación se producen residuos como el cuesco y el afrecho.”¹

2.1 Cuesco

Se refiere a la cáscara que recubre la almendra y a las fibras resultantes del proceso de prensado del fruto. El uso de este residuo agroindustrial como combustible no solo contribuye con el tratamiento de residuos del proceso de obtención del aceite de palma, sino que ayuda a disminuir la emisión de gases de

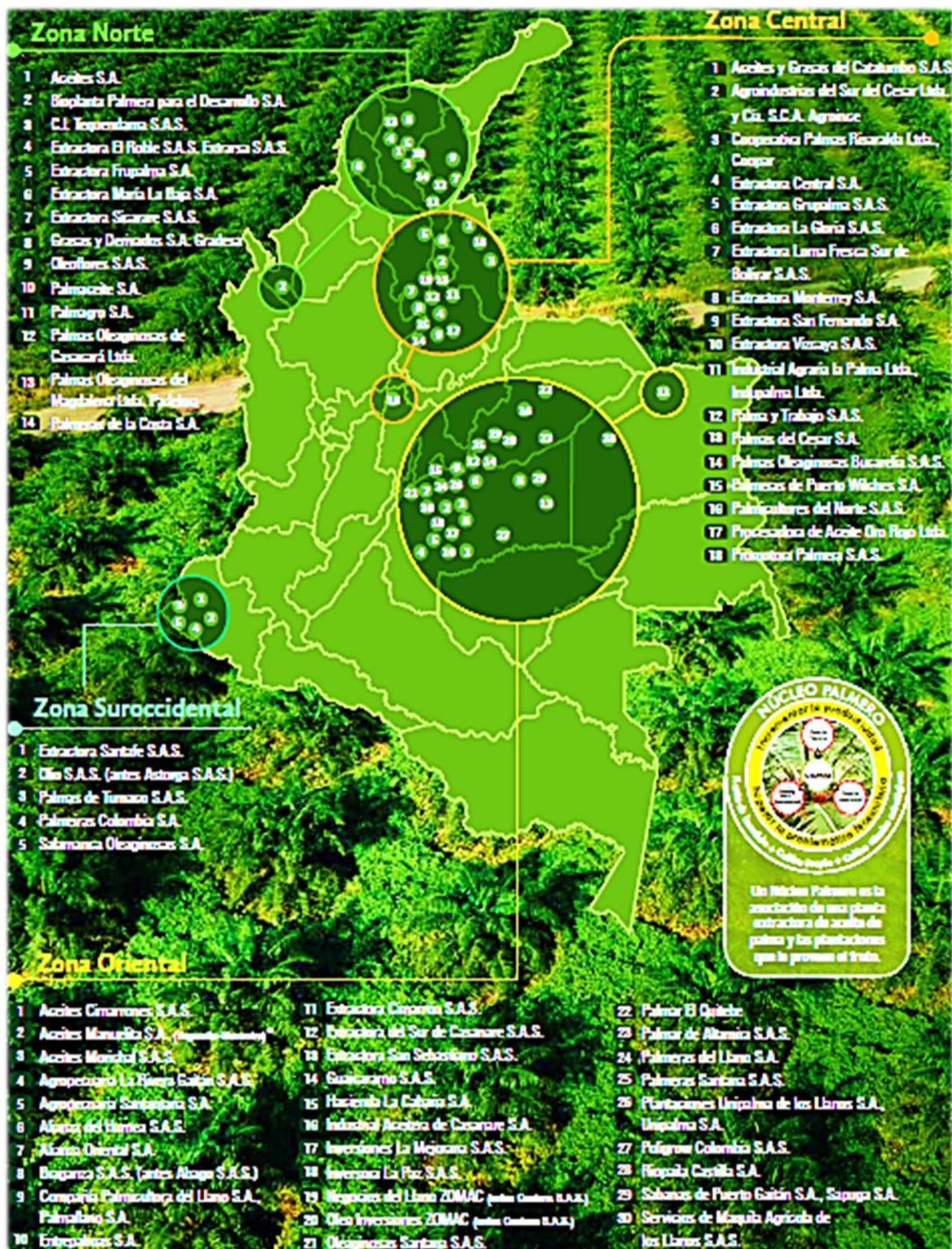
¹ E, Becerra, Caracterización del desecho agroindustrial de la palma de aceite “cuesco” para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de ingeniería – dirección de posgrados especialización en ingeniería de pavimentos, 2017

efecto invernadero provenientes de los combustibles fósiles. Fedepalma revela que a nivel mundial la producción de aceite produce residuos de grandes magnitudes, en el caso del cuesco a nivel mundial representa un valor de 10 a 15 millones de toneladas por año, mientras que Colombia produce aproximadamente de 200.000 a 300.000 toneladas por año, que son usados no en su totalidad como combustible para las calderas que se usan en los procesos respectivos de las grandes producciones de aceite (Van Dam, J. 2016). También hay que tener en cuenta de la Unión europea plantea que para lograr objetivos sostenibles y energéticos respecto a la producción de energías más limpias a partir de biomasa se requiere de 650 millones de toneladas de la misma para que sea significativo el reemplazo de los combustibles fósiles. También la Unión Europea expone que por cada tonelada de aceite se produce en total una tonelada de residuos evidenciando que el problema es relevante si esos residuos no se aprovechan de manera adecuada (Elbersen, W. (2013). No es relevante afirmar que se tengan datos específicos de todos los residuos generados por cada uno de los procesos agroindustriales que se llevan a cabo en el mundo o en una región específica, pero se puede analizar la posibilidad de que haya suficiente biomasa producto de procesos agroindustriales que puedan entrar en el sistema energético de un país o una región específica.

2.2 Distribución nacional

En la Ilustración 2, se evidencian los núcleos palmeros en el país, siendo estos 67 los cuales en su gran mayoría se encuentran en la zona oriental del país, dejando en constancia la gran producción del país en cuanto a este producto, también hay que resaltar que según Fedepalma Colombia es el cuarto país productor de palma después de Indonesia, Malasia y Tailandia con 530.000 Hectáreas de siembra y una exportación del 50 % (Fedepalma, 2019).

Ilustración 2. Localización de núcleos palmeros



Fuente: Fedepalma, 2019.

3. JUSTIFICACIÓN

Colombia es un país en vías de desarrollo, la economía, la cultura, y ciertos factores que lo definen están en tardanza por la calidad de vida que llevan los colombianos, hay que resaltar que a nivel ambiental el estado no se puede comparar con el resto de países que dan prioridad al mejoramiento de la calidad ambiental, teniendo en cuenta que la educación ambiental de los colombianos no es superior, también la falta de consideración hacia el entorno influye en la degradación de los bienes ambientales. El sistema económico está vinculado con la explotación de recursos naturales, la necesidad de energía, comida, recurso hídrico y bienes, hace que el medio ambiente tenga un valor mercantil y así sea comercializado para la contribución de la renta del país. Consecutivamente de la producción y consumo de materias primas, se originan residuos sólidos, líquidos y gaseosos que contienen niveles energéticos y no son aprovechados.

De igual forma el uso de residuos agroindustriales en la industria energética ha tomado fuerza en los últimos años, debido a que su aplicación como biomasa ha solucionado dos problemas actuales: el tratamiento de residuos sólidos y la emisión de gases de efecto invernadero ya que son menores las emisiones de gas comparadas con las de los de origen fósil lo anterior lo re afirma Jorge Bendeck, Presidente de Fedebiocombustibles (2018) asegurando que los biocombustibles hoy reducen 3,3 millones de toneladas de CO₂, y postula que fijando mezclas del 20% con la gasolina, esa reducción podría superar los 7 millones de toneladas anuales (Benderck J. 2008). En Colombia, existen varios residuos agroindustriales, entre ellos, el cuesco de palma africana (cáscara del fruto) utilizados en la generación de energía gracias a su poder calorífico (F. González, I. C. Jiménez, M. Rodríguez, S. Restrepo, M. Gómez. 2008).

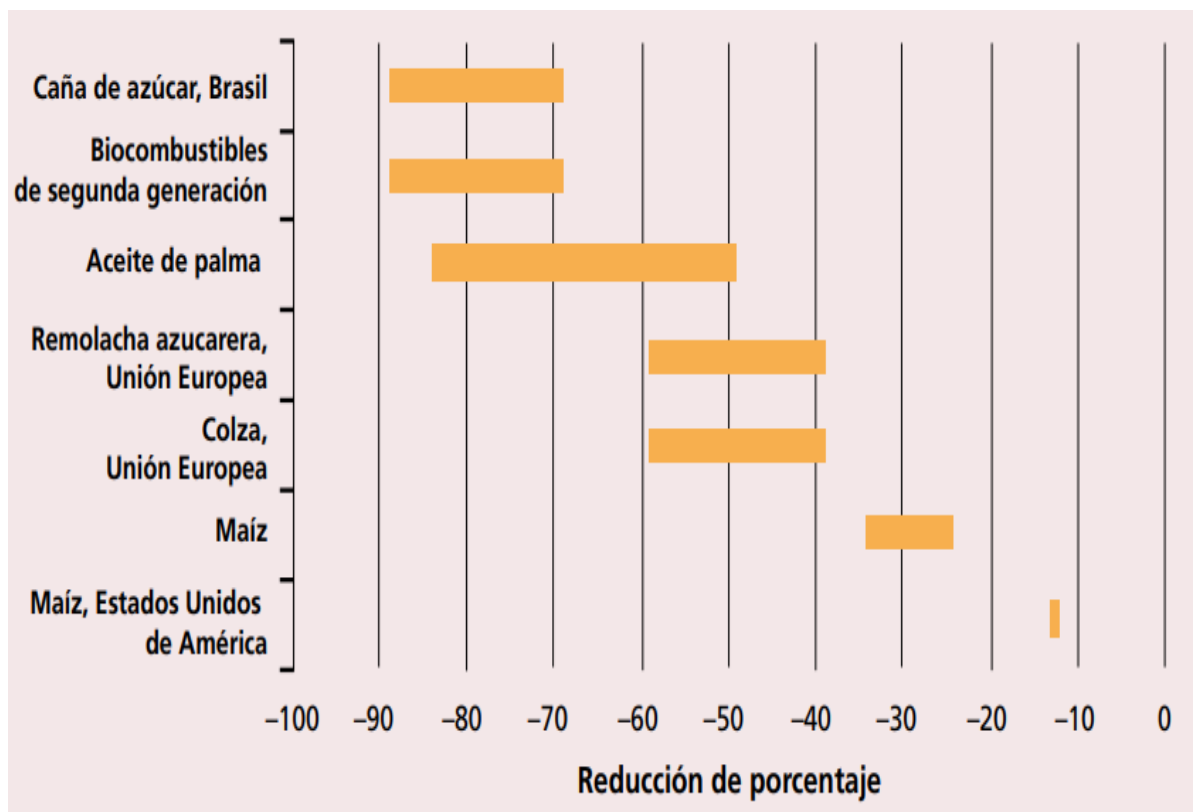
Debido al aumento en el gasto de aceites producidos a partir de palma africana (*Elaeis guineensis*), se genera también un aumento en los residuos generados a partir del proceso de producción de dichos aceites.

En los últimos años, se han evaluado diferentes metodologías de implementación de energías utilizando el cuesco de palma, para darle un aprovechamiento energético en la generación de biocombustibles. El uso de cuesco como combustible podría contribuir tanto al cumplimiento del numeral 2.2 de la Ley 142 de 1994, la cual plantea la necesidad de ampliación de la capacidad energética del país, como a la integración de nuevos municipios a la red interconectada nacional. Así mismo, se promueve la inclusión de combustibles alternativos y

renovables en sistemas industriales contribuyendo con las aclaraciones de la Ley 5001 de gestión energética y el protocolo de Kioto.

Según Camps Michelena, M y Marcos Martín, la mayoría de estudios que se han realizado en cuanto a la generación de biocombustibles de segunda generación resulta en una reducción de las emisiones del orden del 20-60 % en comparación con combustibles fósiles, siempre y cuando se empleen sistemas eficientes. Lo mencionado anteriormente se observa en la siguiente ilustración.

Ilustración 3. Reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero de determinados biocombustibles en comparación con los combustibles fósiles



Fuente: Los biocombustibles (2a. ed.). Madrid: Mundi-Prensa.2008

Con el fin de minimizar el impacto negativo de los residuos al medio ambiente y poder proponer una mínima recuperación, de la grave problemática que se vive a causa de los residuos generados y el mal manejo que se le está dando. La idea principal del proyecto es impactar en el aprovechamiento de los residuos

agroindustriales, dándoles un uso económico y ambientalmente sostenible, por medio de tecnologías alternativas y poder calificar las variables más adecuadas para garantizar niveles energéticos como volumen de los mismos (Camps Michelena, M., & Marcos Martín, F. 2018).

Esta propuesta hace parte de una estructura investigativa mucho más amplia y vinculada a los proyectos aprobados en la Convocatoria de investigación Interna de la Universidad Libre a nivel nacional. La propuesta presentada a consideración se encuentra vinculada al proyecto investigativo dirigido por los profesores Siby Garces, Luisa Fernanda Navarrete, Edwin Bulla y Gabriel Camargo. Al estar aprobado cuenta con los recursos económicos correspondientes para adelantar los diferentes estudios al respecto.

4. PREGUNTA PROBLEMA

¿Cómo afecta la variación de la temperatura y el tamaño de partícula en la distribución de productos obtenidos a partir de la pirolisis de la materia prima?

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la temperatura y el tamaño de partícula en la distribución de productos (sólido-líquido y gaseosos) del proceso de pirolisis del cuesco de la palma africana (*Elaeis guineensis*) para la obtención de biocombustibles.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las propiedades fisicoquímicas y térmicas de la materia prima.
- Determinar las condiciones de temperaturas adecuadas para el proceso de pirolisis con base en el TGA (Análisis Termogravimétrico).
- Obtener productos del proceso de pirolisis de la palma africana (*Elaeis guineensis*) mediante las temperaturas determinadas por el análisis Termogravimétrico.
- Determinación del potencial térmico del producto sólido a partir de propiedades fisicoquímicas.
- Proponer una alternativa para una de las problemáticas ambientales más significativas como lo es el impacto que genera los combustibles fósiles al medio ambiente.

6 MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO LEGAL

La normatividad que le dio vida a los biocombustibles en Colombia son las leyes 693 de 2001 llamada ley del etanol carburante y la ley 939 de 2004 o ley del biodiesel. El etanol de caña de azúcar empezó a producirse el 3 de octubre de 2005 y el biocombustible de aceite de palma el 1 de enero de 2008. Igualmente, la mezcla de biodiesel con el ACPM hoy es del 10% en el país, con excepción de Bogotá y su área de influencia donde la mezcla es del 9%.²

De igual forma se empezó a radicar la posibilidad de la implantación del biocombustible a base de palma africana a nivel nacional por medio de la expedición del Decreto 383 del 12 de febrero del 2007, en el cual se abre la posibilidad que proyectos agroindustriales como lo son los de obtención de biocombustibles y bajo el compromiso de los mismos con la vinculación de empleo agrícola y unos montos mínimos de inversión por proyecto, puedan ser considerados como Zonas Francas con los correspondientes beneficios en materia de reducción de impuesto de renta y aranceles. Este es claramente un elemento adicional para el desarrollo de estos proyectos con una visión global y no solo nacional, es decir que los mismos hacia el futuro tengan una visión exportadora igualmente.

De esta manera se indaga sobre posibles inversiones para la implementación de los residuos agroindustriales como energías alternativas por medio de biocombustibles y según el establecimiento de un fondo de capital semilla con un capital inicial de treinta (US\$30) millones de dólares para el impulso al desarrollo de proyectos de biocombustibles en el país, en el cual hacia el futuro es fundamental la participación del sector privado. El fondo participa como capital de riesgo en el desarrollo de proyectos en ciertas áreas del país (Romero S. Fieroo F. 2019).

Durante los últimos años se ha planteado la posibilidad que en Colombia la gasolina comercializada esté mezclada con un porcentaje de Biocombustible ,según el ministerio de minas y energía para el 2010 los departamentos de la Guajira, Arauca, Vichada, Guainía Y Norte de Santander ya implementan las mezclas de biocombustibles al 5 % a la gasolina, sin embargo como observaremos en la siguiente ilustración, según la Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia

² Jorge Bendeck Olivella - Presidente Fedebiocombustibles. Federación nacional de biocombustibles en Colombia. Boletín informativo No. 165 miércoles 14 de junio de 2017.

para el año 2018 ya existen 12 plantas de producción de biodiesel en todo el país, demostrando el desarrollo e implementación de energías alternativas en el país .

A continuación, en la siguiente tabla se presenta la normatividad que se puede aplicar para la producción de biocombustibles en Colombia, es la siguiente:

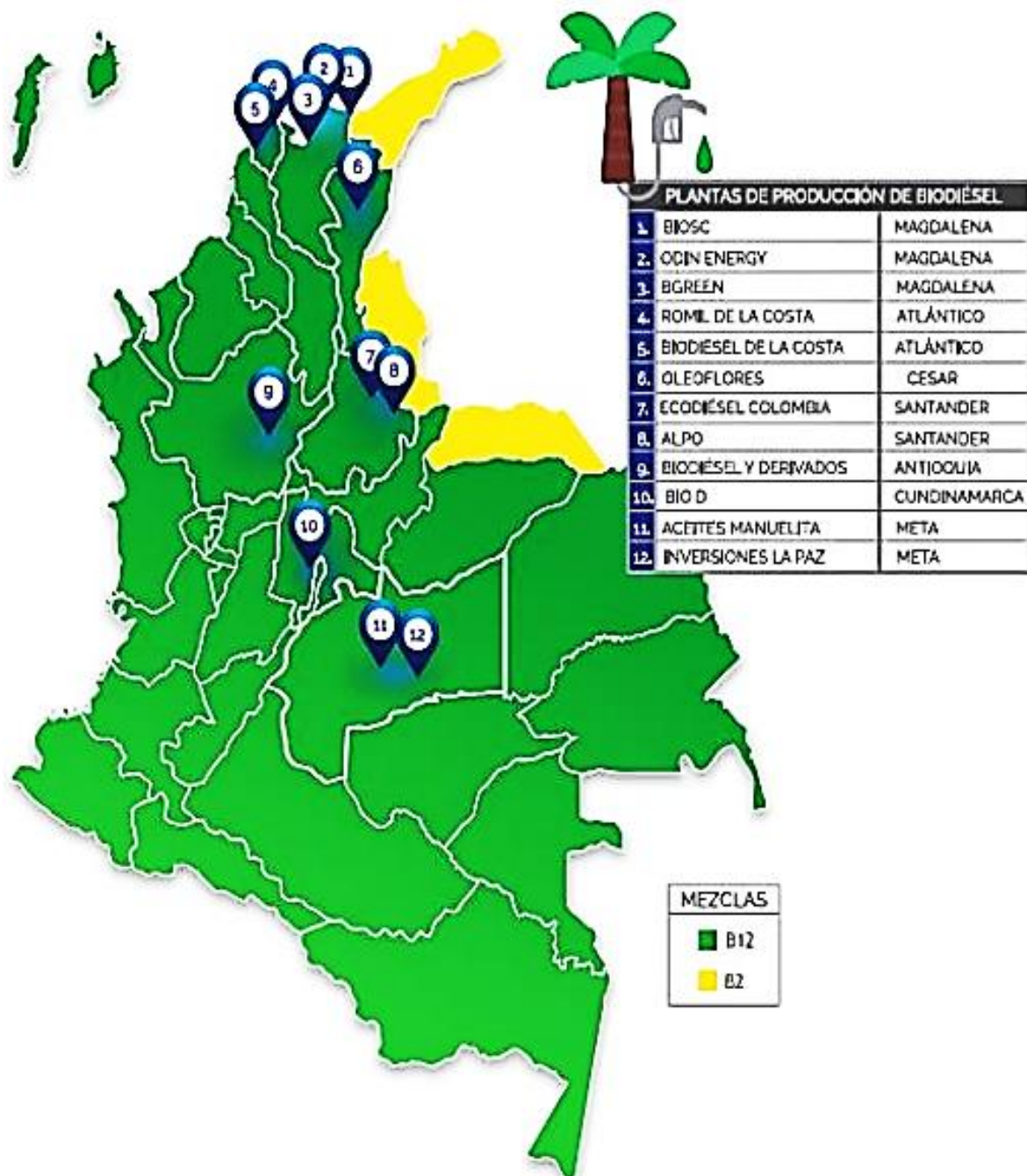
Tabla 1. Normatividad que aplica para producción de biocombustibles

Norma	Descripción
Ley 939 de 2004	Por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diésel y se dictan otras disposiciones.
Ley 1715 de 2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.
Conpes 3510 de 2008	Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia.

Fuente: Autores, 2020.

La federación de biocombustibles de Colombia presenta la siguiente ilustración en donde se evidencia las plantas de producción de Biodiesel en el país para el año 2018, cabe resaltar que en existen muchos más puntos en el país de generación de residuos de la producción de aceite de palma, los cuales no se aprovechan energéticamente.

Ilustración 4. Distribución del porcentaje de mezcla de biodiesel en el territorio nacional



Fuente: Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia, 2019.

6.2 MARCO GEOGRÁFICO

Se describe en este marco información tomada de FEDEPALMA, donde se ofrece una visión general del cultivo del aceite de palma.

La producción de aceite de palma crudo en Colombia en 2017 superará las 1.600.000 toneladas, cifra récord que revela un crecimiento de 42% respecto a 2016. Al cierre de 2017, FEDEPALMA manifestó que la producción de aceite de palma crudo para el año mencionado fue del orden de 1.632.667 toneladas, con un valor estimado de 3,3 billones de pesos. Este incremento obedece principalmente a una mejora sustancial de las condiciones climáticas que favoreció la producción del fruto de la palma, al inicio de la producción de áreas en desarrollo, y a aumentos en la productividad en las diferentes zonas palmeras (Fedepalma, 2017).

Ilustración 5. Mapa de Localización del Municipio del Meta en Colombia



Fuente: 123RF, 2020.

El departamento del Meta es el primer productor de palma africana, un cultivo que tarda 26 meses en dar fruto, pero cuya explotación puede abarcar 25 años. El 70 por ciento de las plantaciones se origina en el piedemonte haciendo énfasis en el cordón compuesto por las poblaciones de San Carlos de Guaroa (39.7%), Acacías (17.5%), Cumaral (7.3%), Barranca de Upía (6.2%) y Castilla la Nueva (4.1%) el cual coincide con el espacio mayor de actividad arrocera (El Tiempo, 2011). Localizándose este departamento en la zona Oriental como se ve en la ilustración anterior, un área en donde se encuentra mayor número de núcleos palmeros según la ilustración 3.

Los productos que se obtienen al procesar esta oleaginosa han posicionado a las empresas que tiene la región en los municipios de Acacías, Barranca de Upía, Cabuyaro, Cumaral, Puerto Gaitán, San Carlos de Guaroa y San Martín. Además, la semilla de palma reporta un mayor rendimiento sobre otras semillas oleaginosas. Las tortas derivadas del cultivo contienen en promedio 18 por ciento de proteína a diferencia del frijol soya que alberga 47 por ciento, no obstante, la pulpa del fruto palmero contiene 45 por ciento de aceite mientras que el frijol soya tiene 18 por ciento del mismo. De igual forma las fortalezas que genera la producción de la materia prima del aceite de la palma africana en el departamento de la meta principalmente:

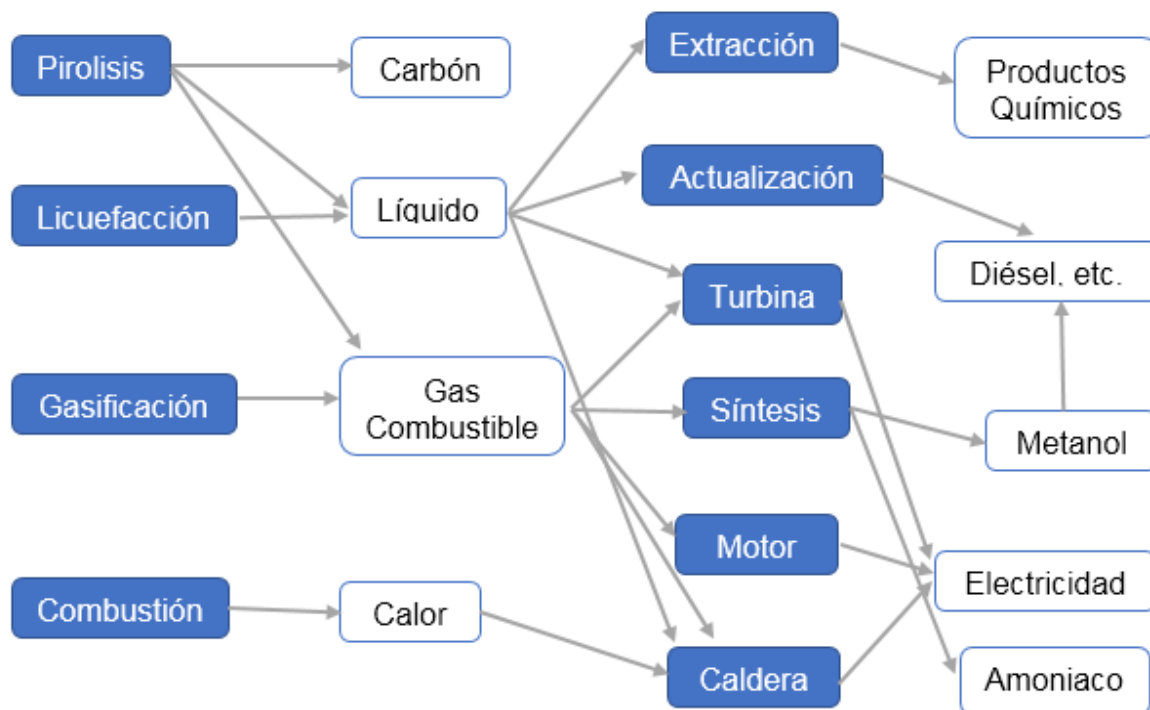
- En primera instancia, la capacidad del sistema de acumular o retener carbono, en razón a la alta capacidad de producción de biomasa mediante las hojas, el estipe, las inflorescencias y el racimo, el cultivo de cobertura y el mantenimiento o incremento de la materia orgánica, estrategia reconocida para disminuir la liberación de carbono a la atmósfera.
- La estructura de la palma le permite lograr por su filotaxia un dosel con alta capacidad para interceptar la luz y el agua, mejorando la eficiencia fotosintética y disminuyendo el impacto directo del agua lluvia sobre el suelo. Una disminución en la velocidad de caída del agua permite evitar su efecto erosivo y aumenta la capacidad de retención por parte de la planta, aspecto favorecido por el diseño del tronco de la palma.
- En este sistema, las entradas se reducen al mínimo posible y las salidas se busca maximizarlas mediante la integración y los cultivos asociados, siendo la estrategia de manejo de las condiciones del suelo, la materia orgánica, mediante la producción de compost, lombricompost, abonos verdes, aplicación de coberturas de biomasa y reciclamiento de nutrientes provenientes de las hojas y demás residuos de las cosechas. (Moreno M., Vanegas G. y Lara O.)

6.3 MARCO CIENTÍFICO

Los procesos de transformación termoquímica para la obtención de precursores de combustibles hacen uso del conocimiento científico de diferentes áreas tales como química, termodinámica, física, catálisis, diseño de reactores como se analiza en el trabajo clásico de Bridgewater. Donde aclaran que la pirólisis rápida se desarrolla desde principios de los setenta. Muchas investigaciones han sido estudiadas hasta deducir que este proceso es ahora una opción factible, viable y aceptada para obtención de biocombustibles líquidos renovables, productos químicos y derivados de biomasa (Bridgewater AV, Evans GD. 2013). El interés por estas sustancias derivadas recursos renovables ha obligado también a incrementar la eficiencia en las técnicas de caracterización y medición de compuestos.

En la siguiente ilustración se pueden identificar los procesos termoquímicos para la obtención de energía a partir de biomasa y sus posibles resultados, teniendo en cuenta como primera instancia la pirólisis e identificando que sale producto en tres estados.

Ilustración 6. Procesos y productos de biomasa termoquímica



Fuente: Bridgewater AV, Evans GD. 2013.

6.4 MARCO CONCEPTUAL

Biomasa: “Es todo aquel material orgánico proveniente fuente de energía renovable, la energía se forma en carbohidratos que las plantas producen mediante la fotosíntesis, en este proceso los enlaces se rompen por digestión, combustión o descomposición haciendo que la misma libere energía. Existen tipos de biomasa sólida, líquida y gas de la misma, de esta materia se puede obtener biocombustibles, aunque el proceso lleva de mucho tiempo se han encontrado métodos para aprovechar esta materia energéticamente” (Economista, 2015).

Temperatura: La temperatura es la magnitud termodinámica que pone en evidencia la energía térmica de un cuerpo con relación a la de otro. Esta propiedad termodinámica únicamente describe un estado macroscópico. Según la teoría molecular, la temperatura se define como la medida de la energía cinética media de las moléculas que la forman (Energía solar, 2016).

Pirólisis: Es una técnica de conversión energética, la descomposición térmica de los residuos orgánicos en ausencia de oxígeno, los compuestos que tienen dentro de su composición carbono a partir de su descomposición pueden producir gases, hidrocarburos condensables y residuos carbonosos. Al requerir energía térmica se divide la pirólisis en dos grupos; son los sistemas alotérmicos en donde transición de calor se lleva a cabo por conducción y radiación de las paredes en donde la fuente de energía es la combustión de parte de los productos. Y el otro grupo son los sistemas auto térmicos, en donde la energía la proporciona la combustión de parte de la carga. Así mismo existen tres tipos de pirolisis como se muestra en la siguiente tabla (Elías, C. X., & Velo, E. 2005).

Tabla 2. Comparación de los procesos de pirólisis

Proceso	Temperatura, °C	Velocidad de calentamiento, °C/s	Tiempo residencia	Producto mayoritario
Convencional	500	2	Gases 5 s Sólido horas	Char y condensables
Rápida	400 a 800	> 2	Gases: < 2 s	A temperaturas moderadas, 500 °C, condensables
Instantánea	> 600	> 200	Gases: < 0,5 s	Gases e hidrocarburos ligeros

Fuente: Elías, C. X., & Velo, E. (2005).

Combustión: “La combustión es definida como la reacción química de oxidación que es muy exotérmica para que este proceso se lleve a cabo debe haber presencia de un combustible el cual es el elemento que se oxida, y así mismo un comburente que es el elemento oxidante y una fuente de energía como es el calor, para que la reacción se mantenga es necesario que haya condiciones favorables para la combustión” (F. Esparza, 2011).

Análisis Elemental: “Dentro del análisis elemental se puede obtener el porcentaje en peso de los compuestos también determinados en el proceso que están presentes en la materia o compuesto químico dentro de los compuestos y su proporción pueden estar carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, también se halla la fórmula empírica del compuesto” (Rueda, 2017).

Tamaño de partícula: “Se define como el porcentaje relativo de los granos de cada una de las distintas fracciones de tamaños representadas en una muestra, una de las técnicas para definir el tamaño de partícula más comunes es el tamizado, para este proceso solo es necesario una serie de tamices con su malla de diferentes dimensiones, después de este proceso se pesan las fracciones de cada uno de los tamices y se obtienen las fracciones másicas para cada uno de los tamaños” (Perry R., 2011).

Materia Volátil: las materias volátiles son una mezcla de gases que destilan fácilmente como carbono e hidrógeno, metano y otros hidrocarburos de bajo peso molecular, la importancia de la presencia de estas es que proporciona una indicación de su reactividad e ignición (Cortez J. 1963).

Carbono Fijo: “Se estima para verificar la cantidad de productos de combustión intermedios, se considera también un parámetro dentro del cual se calcula la sumatoria de porcentaje de humedad, materia volátil y cenizas con respecto a la diferencia dada a 100, también se puede estimar la cantidad de inquemados de las cenizas volátiles y se supone que lo que queda es el % de carbono "puro" o "fijo"(FAO, 2013).

Cenizas: Es el residuo sólido producto de la combustión completa de un material y de la oxidación completa de la materia mineral presente en el carbón, la calidad del carbón depende de la cantidad de ceniza que se encuentren al final en el producto, a mayor contenido de cenizas, menor poder calorífico en el carbón (Cortez J. 1963).

Biogás: “Es una mezcla de gases conformada principalmente por dióxido de carbono y metano, la composición del mismo depende del proceso y de la materia de la cual proviene, sin embargo, se considera que cuando el biogás tiene más de

un 45 % de metano es inflamable, un biogás tiene características como lo son la temperatura de ignición, contenido energético, límite de explosión, presión y temperatura crítica, densidad normal, olor y masa molar” (Varnero M., 2011)

Humedad: Cantidad de vapor de agua en el aire o en cualquier material.³

Biocombustible: Mezcla de sustancias productos de la biomasa, es una fuente de energía renovable, se consideran dentro de los más importantes el biodiesel y bioetanol, son considerables porque pueden llegar a sustituir a los combustibles fósiles con el objetivo de mitigar los impactos ambientales. Dentro de las ventajas de la utilización de los biocombustibles es que no producen la misma cantidad de dióxido de carbono que los combustibles convencionales, al ser de fuentes de energías renovables no hay peligro de que se agoten, tienen un valor agregado muy grande ya que los residuos de los cuales pueden provenir son desechos agroindustriales sin tratamiento para la extracción de energía y empoderan las economías rurales sin generar competitividad de las empresas extractoras de los combustibles convencionales. Los aceites vegetales son los más comunes para la obtención de biodiesel, a partir de lo dicho existen más de 300 especies diferentes, la producción de estos aceites actualmente es de gran potencial para países como Colombia en donde se tiene gran variedad de ecosistemas que dan paso para el aprovechamiento energético, aunque los cultivos arbóreos como la palma son más efectivos por los rendimientos que presentan (García J. 2011).

Análisis Próximo: Este análisis se hace para determinar los parámetros de humedad, materia volátil, ceniza, azufre, carbono fijo, y poder calorífico de la muestra (Posoo A. 2014).

Análisis Termo gravimétrico: “Técnica para estudiar las reacciones, fundamentalmente gráfica la relación entre temperatura y velocidad de calentamiento en el desarrollo de las reacciones de descomposición térmica, este caracteriza las propiedades físicas y químicas de algún material en específico con respecto a la temperatura” (Cutíño, 2011).

Grupo Funcional: “Átomo o grupo de los mismos que define la estructura de una familia particular de compuestos orgánicos y así mismo sus propiedades, a continuación se presentan los grupos funcionales que se pueden encontrar en un material”.⁴

³ Menezes, L. (1965). O 3° planeta. Brazil

⁴ Muñoz M (2005-2006), Fundamentos de Química Orgánica.

Tabla 3. Grupos Funcionales

FAMILIA	G. FUNCIONAL	EJEMPLO
ALCANOS	R-R''	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
ALQUENOS	R-CH=CH-R'	CH ₃ -CH=CH-CH ₃
ALQUINOS	R-C≡C-R'	CH ₃ -C≡C-CH ₃
ALCOHOLES	R-OH	CH ₃ -CH ₂ -OH
HALOALCANOS(X = Cl, Br ó I)	R-X	CH ₃ -CH ₂ -Br
ÉTERES	R-O-R'	CH ₃ -O-CH ₂ -CH ₃
ALDEHIDOS	$\begin{array}{c} \text{:O:} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	CH ₃ -CH ₂ -CHO
CETONAS	$\begin{array}{c} \text{:O:} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{R}' \end{array}$	CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃
ÁCIDOS	$\begin{array}{c} \text{:O:} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \end{array}$	CH ₃ -CH ₂ -COOH
ÉSTERES	$\begin{array}{c} \text{:O:} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{OR}' \end{array}$	CH ₃ -CH ₂ -COO-CH ₃
AMINAS	R-NR'R''	CH ₃ -CH ₂ -NH ₂
AMIDAS	$\begin{array}{c} \text{:O:} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{NR}'\text{R}''\text{R}''' \end{array}$	CH ₃ -CH ₂ CONHCH ₃
NITRILOS	R-C≡N	CH ₃ -CH ₂ -CN

Fuente: Muñoz M (2005-2006), Fundamentos de Química Orgánica.

Poder Calorífico: El poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor que se obtiene a partir de la oxidación completa, con presión atmosférica de los componentes en unidad de masa del combustible. Se distinguen dos poderes caloríficos el inferior y el superior en donde el inferior es la cantidad de calor que puede obtenerse de la combustión completa si en los productos de la misma, el agua está en forma de vapor de agua, por lo tanto, esa parte del calor no se aprovecha por qué se va para la evaporación de la misma. Con respecto al poder calorífico superior el líquido en los procesos de combustión, por lo que se aprovecha todo el calor de oxidación (García R. 2012).

6.5 MARCO TEÓRICO

A nivel mundial se desarrollan métodos para la obtención de biocombustibles, estos, tienen que respetar los factores ambientales, del sistema económico del país y la sociedad en sí misma, el marco legal es prioridad dentro del proceso como lo es los derechos a la vida, a un ambiente saludable y vida digna, así mismo se puede concluir que estos derechos se violan cuando el ambiente no es apto para la salud humana y el ambiente, esta alternativa da paso al respeto por los derechos fundamentales, a nivel ambiental busca el mejoramiento de suelos y minimizar la degradación, optimizar el uso del recurso hídrico y con mayor relevancia reducir la contaminación de aire. La demanda de biocombustibles crecerá en países en desarrollo, también se espera que su producción y comercio aumenten dando oportunidades económicas a las agroindustrias, se espera que, por la biodiversidad, clima y geografía, centro y Suramérica se convierta en la zona productora de biocombustibles para el mundo (Acosta, A. (2012).

La mayoría de biomasa tiene un valor energético, Suramérica por su posición geográfica tiene beneficios con respecto los diferentes ecosistemas, por ejemplo, en Brasil se cultiva la caña de azúcar el cual tiene un valor energético alto ya que contiene gran cantidad de azúcar y gracias a la fermentación se pueden obtener biocombustibles de esta biomasa, de igual manera en Argentina la soja es uno de los productos más significativos en este país, en donde pasó de producir 20 millones de toneladas en el año 2000 a 47 millones de toneladas en el año 2007, pero así mismo como hay producción y procesos para estos alimentos, también se producen residuos sólidos que no se aprovechan, para el caso de la palma de aceite hay 220.000 hectáreas de palma Liberia (África) ,la RSPO (Mesa Redonda del Aceite de Palma Sostenible) busca el desarrollo y procesos sostenibles para la extracción del aceite de la palma africana, certificando a las empresas y dando soluciones para los residuos de mayor impacto en las empresas. En Colombia desde el 2002-2008 la expansión de cultivos de palma es indiscutible, dejando así en evidencia la cantidad de residuos que también se pueden generar por el mismo crecimiento. Así mismo en Colombia se presenta una disputa agraria ya que los pequeños empresarios dueños de algún tipo de biomasa podrían obtener energía y venderla, lo cual origina un conflicto cuando los derechos básicos de los campesinos e indígenas no son respetados y se tienen que presentar ante situaciones como enfrentamiento armado, desplazamiento y despojo de tierras (Muñoz M. 2015).

“Los impactos ambientales por parte de los combustibles fósiles son relevantes en cuanto al calentamiento global, la contaminación atmosférica en las grandes ciudades es importante ya que la calidad de aire es deficiente, una de las razones

de ello es la cantidad de autos y la quema de combustibles fósiles, los biocombustibles aportarían para la disminución de la polución, apoyaría la economía de pequeños agricultores entre otros impactos positivos”.⁵

Colombia es un país que tiene un nivel agrícola muy alto, el gobierno a inicios del 2000 busca obtener biocombustibles a partir de la biomasa producto de todos los procesos, la manufactura de más interés para la obtención de biocombustibles es la caña de azúcar, la palma africana, la yuca, y el maíz considerando otros productos agrícolas para el mismo fin, desde 2005, Colombia ha mezclado la gasolina con un 10% de alcohol carburante producto de la caña de azúcar y planea así mismo aumentar la dosis, el aprovechamiento energético de esta biomasa no solo dan beneficios económico sino también ambientales por que disminuye el porcentaje de gases de efecto invernadero. Colombia en el 2007 producía un millón de litro de alcohol carburante que abastecían a Bogotá y al sur occidente del país,” En la siembra de 456 hectáreas en Tumaco, en el sudoccidental departamento de Nariño, sobre el Pacífico colombiano, donde se localiza el principal proyecto de palma africana, se denunciaron problemas ambientales por el drenaje de 86 kilómetros cuadrados de tierras y la construcción de 11 kilómetros de carreteras “Existen conflictos con respectos a los cultivos de palma africana ya que las poblaciones más vulnerables como Chocó son denunciados por el cultivo ilegal de esta palma y son desalojados de sus propios terrenos por esta actividad, es un problema no solo ambiental sino también socio cultural (Rey, G. H. 2007).

El uso de biocombustibles puede tener efecto positivos y negativos en el ambiente, por esto se debe hacer un análisis en cada país o región donde se tengan en cuenta aspectos como la cantidad de biomasa, estudio económico de la zona y su desarrollo en cuanto a actividades agrónomas, es importante identificar las partes favorecidas por la producción de estos biocombustibles. El ex presidente de Colombia Álvaro Uribe Vélez tenía gran interés en la implementación de esta tecnología en el país, y basados en los discursos de él, se llega a una conclusión (Rey, G. H. 2007).

Los biocombustibles son una buena alternativa frente a las necesidades de fuentes energéticas diferentes a los combustibles fósiles, no afectan la selva, ni los bosques de la Amazonía colombiana, la disponibilidad de tierras ubicadas en la Orinoquía Colombiana, tierras de sabana que son potenciales para el cultivo de

⁵ Castiblanco Roza Carmenza, & Hortúa Romero Sonia Edith. (2012). El Paradigma Energético De Los Biocombustibles Y Sus Implicaciones: Panorama Mundial Y El Caso Colombiano. Gestión Y Ambiente, 15(3), 5-26

palma y para crecimiento de otros cultivos. De esta manera no se afecta la seguridad alimentaria al cultivar palma para producir biocombustibles el mandatario afirma que la mejor contribución de Colombia en contra del cambio climático y el calentamiento global es proteger la selva y para ello en Colombia se tiene el programa de familias guardabosques quienes tienen la misión de proteger y cuidar el bosque, evitando que se cultive coca, también el narcotráfico es enemigo del medio ambiente, es un aliado del calentamiento global, en seis discursos se refiere explícitamente a que el cultivo de palma es una buena opción para producción de biocombustibles. Potter desde 1971 ha postulado pensamientos en la bioética profunda, en donde le da importancia no solo a las especies sino también a los objetos inanimados como agua y otros, muestra también su preocupación por las generaciones futuras y en la supervivencia de la humanidad, plantea que es importante reconocer los límites para la obtención de recursos para el desarrollo económico, Potter denomina “conocimiento peligroso” a los rápidos avances de la ciencia, él plantea que el entendimiento es malo solo cuando está en personas de mente corta, con intenciones malas o solo económicas, esta afirmación no implica que la bioética ignore la ciencia, lo que se debe hacer es analizar los resultados de las investigaciones y tomar la mejor decisión para que no se conviertan en rutinas (Acosta, A. (2012).

“En cuanto a Colombia, la bioética tiene que entrar en el sector político y comprometa al gobierno a promulgar leyes que cuiden el medio ambiente de forma estricta, y así vendrán más soluciones amigables con el ambiente y desarrollos económicos mucho más altos por la posición privilegiada de Colombia y sus sistemas ecológicos”.⁶

El marco normativo sobre biocombustibles de Colombia es muy amplio, Ley 693 de 2001 y ley 939 de 2004, en donde se obliga a la mezcla de componentes oxigenados a los combustibles tradicionales, para el 2008 el CONPES 3510 define 10 estrategias para la implementación estas sustancias.

- “Creación de la comisión intersectorial para el manejo de biocombustibles.
- Definición de un programa para reducir costos en el proceso de obtención de biocombustible.
- Plan de desarrollo de infraestructura de transporte.
- Incentivar la producción eficiente de biocombustibles.

⁶ Wilches Flórez, Á. M. (2013). ANÁLISIS BIOÉTICO DESDE LA PERSPECTIVA DE VR POTTER A LOS DISCURSOS DE ÁLVARO URIBE VÉLEZ, RELACIONADOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA. *Revista Latinoamericana De Bioética*

- Definición de un plan nacional de investigación y desarrollo en biocombustibles.
- Armonización de la política nacional de biocombustibles con la política nacional de seguridad alimentaria y nutricional
- Esquema de regulación de los precios de los biocombustibles
- Continuación de la política de mezclas de combustibles y biocombustibles
- Abrir nuevos mercados y diferenciar los internacionales
- Garantizar en el proceso un desarrollo sostenible”.⁷

Por lo anterior, los análisis que se llevarán a cabo para la producción del biocombustible, son métodos utilizados primeramente para el desarrollo más óptimo del estudio de la biomasa, donde se hace una revisión bibliográfica en artículos científicos para poder comparar los resultados y dar veracidad de ellos, de esta manera se tendrá en cuenta los siguientes estudios ya realizados y analizados:

- “Diferenciación de especie micro bacteriana por FTIR (espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier): Analizan según el método de diferenciación de componentes principales y se realizaron derivadas del primer orden”.⁸
- “Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor *Guadua Angustifolia Kunth*: Logran identificar parámetros que permiten obtener mayor capacidad en datos de adsorción para la caracterización de la biomasa”.⁹
- “La cromatografía de gases y la espectrometría de masas (Identificación de compuestos causantes de mal olor): Describe la cromatografía de gases donde aplican técnicas a la identificación de compuestos”.¹⁰

⁷ Estado del arte y novedades de la bioenergía en el Colombia. (2011).

⁸ JORGE ANDRÉS CUÉLLAR GIL, B. Sc; SANDRA MILENA CORONADO RÍOS, Lc. M.Sc.; ROBERTO CARLOS ARRUBLA QCO. (2011). Differentiation of Mycobacterial Species by FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy). Acta biol. Colomb., Vol 16N°2.

⁹ Jhon Jairo Prías Barragán, Carlos Andrés Rojas González, Narly Andrea Echeverry Montoya, Gerardo Fonthal, Hernando Ariza Calderón. (2011). Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor *guadua angustifolia kunth*. Scielo. Rev. acad. colomb. cienc. exact. fis. nat. vol.35 no.135 Bogotá.

¹⁰ M.C. Gutiérrez, M. Droguet. (2012). La cromatografía de gases y la espectrometría de masas (Identificación de compuestos causantes de mal olor).

7 DISEÑO METODOLÓGICO

El análisis elemental, determinación de grupos funcionales y análisis próximo establecen las propiedades iniciales a nivel químico y físico con las cuales se desarrollará el proyecto. “El análisis termo gravimétrico es un proceso que consta de la relación entre el porcentaje de masa perdida y la temperatura por un tiempo determinado en donde de esta información se puede identificar variables químicas y físicas de la materia teniendo como objetivo primordial determinar las temperaturas”.¹¹

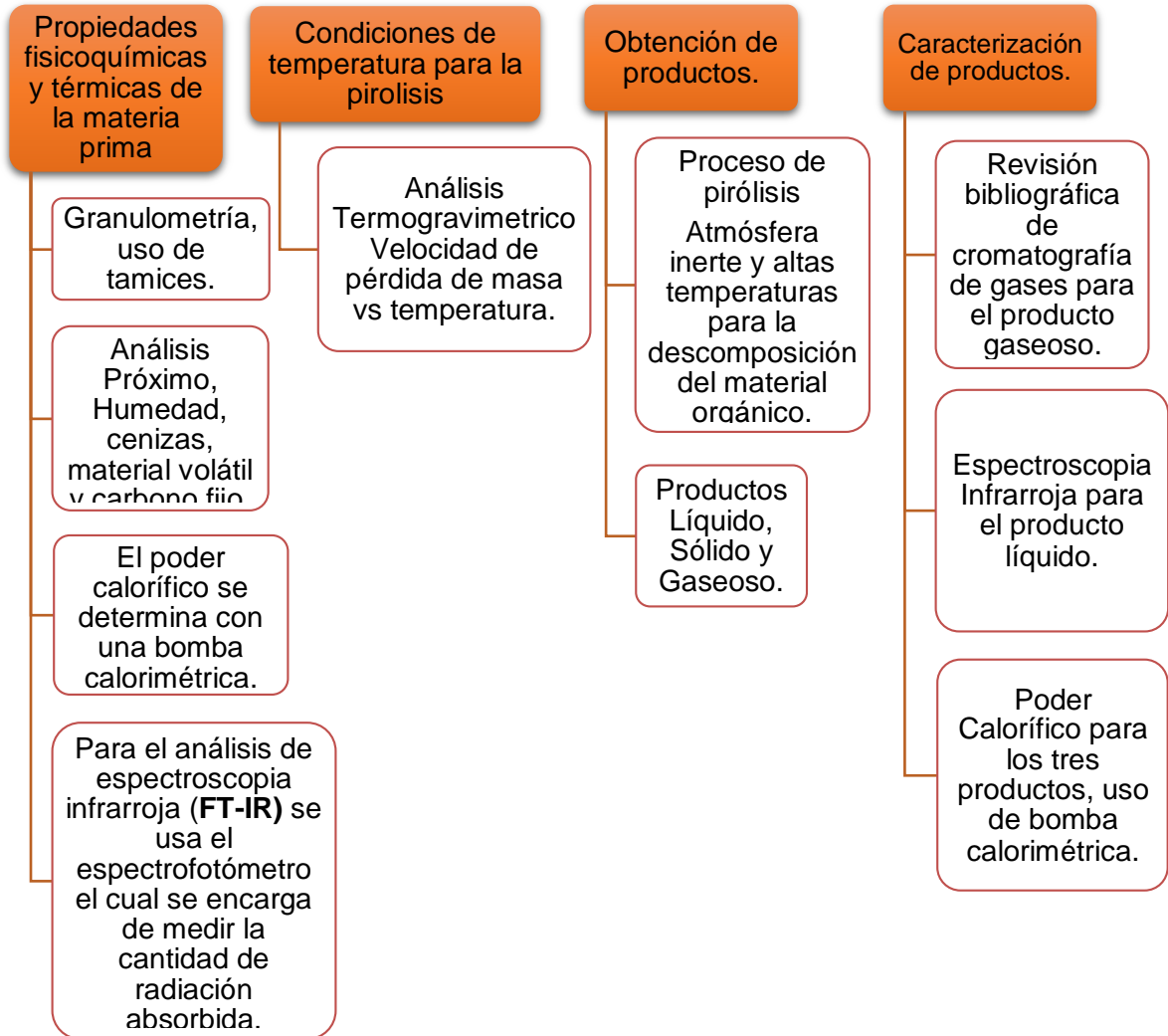
Ya con la obtención de las características químicas y físicas, la materia prima se descompone de manera térmica (pirólisis) La combustión es otra opción para la eliminación de los residuos sin embargo puede liberar una cantidad significativa de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), mientras que método de pirólisis puede limitar la producción de gases de efecto invernadero y descomponer los desechos para producir productos potencialmente útiles biocombustible sólido, bio-oil líquido y biogás teniendo en cuenta dos variables como lo son la temperatura que es el principal dentro del proceso de descomposición y el tamaño de partícula en donde este influye dentro en la transferencia de calor determinando el rendimiento y la velocidad de la reacción. Finalmente, después de la obtención de la materia que se desea se hace una caracterización para identificar componentes químicos, por medio de espectrometría FTIR y se toma el poder calorífico para determinar la cantidad de energía (Rashidi, N. A., & Yusup, S. 2017).

La metodología que presenta el proyecto es de dos a la dos que hace referencia a que se presentan dos niveles por cada variable, en este caso las dos temperaturas respectivas y los tamaños de partícula que corresponden a materiales gruesos y finos, esta modalidad en anteriores investigaciones representa un nivel de confiabilidad del 85 % (Calderón, 2011).

A continuación, se explicará de manera general el proceso metodológico que se va a llevar a cabo para el desarrollo de los objetivos del proyecto, de manera caracterizada y específica, teniendo en cuenta que se hicieron las respectivas modificaciones aprobadas por los jurados para los resultados de FTIR y de cromatografía, donde los resultados obtenidos son referencias bibliográficas:

¹¹ Liew, R. K., Nam, W. L., Chong, C. T., Chong, M. Y., Phang, X. Y., Su, M. H., . . . Lam, S. S. (2018). Oil palm waste: An abundant and promising feedstock for microwave pyrolysis conversion into good quality biochar with potential multi-applications. *Process Safety and Environmental Protection*, 115, 57-69. doi: 10.1016/j.psep.2017.10.005

Ilustración 7. Diseño Metodológico



Fuente: Autores, 2020.

En la siguiente tabla se anexan las normas respectivas para cada una de las pruebas de laboratorio mencionadas anteriormente que requiere el presente proyecto.

Tabla 4. Normas para las pruebas de laboratorio

Norma	Prueba
ASTM D7582-15: Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis	Establece el procedimiento para realizar análisis termo gravimétrico (TGA) a una muestra.
ASTM D3172-13: Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke	Establece los métodos prescritos y analizados para la determinación de humedad, material volátil, cenizas y cálculo de carbono fijo.
ASTM WK24875: New Practice for On-line Determination of Siloxanes in biogas and other Gaseous fuels by FTIR	Establece el procedimiento adecuado para realizar un análisis por transformada de Fourier (FTIR) a un gas.
ASTM D3173-11: Standard Test Method for moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke	Establece los parámetros adecuados para la determinación de la humedad de una muestra de carbón o coque.
ASTM D3174-12: Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal	Establece parámetros para determinar el contenido de ceniza de muestra de carbón o coque.

<p>ASTM D3175-11: Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke</p>	<p>Establece los parámetros para la determinación del contenido de materia volátil de una muestra.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Autores, 2020.

7.1 GRANULOMETRÍA

Se realiza inicialmente el tamizado de la materia prima previamente pesada, para determinar el tamaño de partícula a partir del tamaño de la malla de los tamices a utilizar, después se desarrolla el análisis granulométrico con el porcentaje de materia retenida y la que pasa por los orificios de la malla, se realiza la gráfica respectiva a los tamaños de partícula vs el porcentaje de retención.

7.2 ANÁLISIS PRÓXIMO

Dentro del análisis próximo se obtendrán los porcentajes de ceniza, materia volátil, carbono fijo y humedad, los materiales para este proceso son los siguientes: Crisol de porcelana, una mufla, un desecador, una balanza analítica y una mufla 1300 Furnace marca Thermolyne.

7.2.1 Humedad

La humedad es una de las variables más importantes atribuidas a la caracterización de la biomasa y los productos provenientes de la misma, la capacidad energética será más óptima en caso de la eliminación del agua de la materia, el procedimiento para el análisis de porcentaje de humedad se hace por medio de la técnica ASTM-D3173-11.

Se pesa la muestra, se precalienta el horno por 40 minutos a una temperatura de 100 °C, después se deja la muestra en la mufla durante 1 hora a una temperatura de $107 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Se pasa al desecador durante 30 minutos y se pesa nuevamente. Se ingresa la muestra nuevamente a la mufla a la misma temperatura durante 30 minutos, se pasa nuevamente al desecador durante 15 minutos y se pesa una vez más. Finalmente se ingresa la muestra una vez más a la mufla durante 15 minutos y luego al desecador durante 15 minutos y se pesa por última vez la muestra

La siguiente ecuación permite determinar el porcentaje final de humedad:

Ecuación 1. Porcentaje de humedad.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{A - B}{A} * 100 \%$$

Fuente: ASTM D3173-11. (2011).

Dónde:

- **A:** Peso inicial, gr de muestra utilizados.
- **B:** Peso final, gr de muestra después del calentamiento.

7.2.2 Materia Volátil

Es porción del material que se puede convertir en gas, estas se desprenden de la biomasa cuando llegan a una temperatura determinada, La diferencia entre el porcentaje de pérdida de peso y porcentaje de humedad equivale a la materia volátil de la muestra. La siguiente ecuación nos permite determinar el porcentaje de materia volátil.

Después de registrar el último peso del procedimiento anterior se ingresa la muestra a la mufla hasta una temperatura de $950 \pm 20^{\circ}\text{C}$ durante 7 minutos, se dejará enfriar en el desecador y se registra su peso.

Ecuación 2. Porcentaje de materia volátil.

$$\%MV = \left[\frac{C - D}{C} * 100 \right] - \% \text{ Humedad}$$

Fuente: ASTM D3173-11. (2011).

Dónde:

- **C:** Peso inicial, gr de muestra utilizados
- **D:** Peso final, gr de muestra después del calentamiento.

7.2.3 Cenizas

Hace referencia a la cantidad o fracción de residuos inorgánicos que quedan luego de la oxidación completa de la materia orgánica, para este procedimiento se toma como referencia la técnica estándar ASTM D3174-12, esta para el análisis de cenizas en una muestra de carbón.

Se ingresará la muestra a la mufla a temperatura ambiente hasta alcanzar 500°C durante 1 hora, en seguida se comienza a aumentar la temperatura y finalizada otra hora deberá estar en $750 \pm 15^\circ\text{C}$. Luego se mantendrá la temperatura constante durante 2 horas. Se pasa al desecador y se registrará el peso.

La siguiente ecuación es la utilizada para la obtención del porcentaje de cenizas en la muestra.

Ecuación 3. Porcentaje de cenizas.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{F}{E} * 100$$

Fuente: ASTM D3173-11. (2011).

Donde:

- **E:** Peso muestra inicial, gr de muestra en A.
- **F:** Peso final, gr de muestra después del calentamiento.

7.2.4 Carbono fijo

Esta variable hace referencia al índice de producción de coque a partir del cuesco de palma africana, y este también como medida de la materia combustible que queda tras la volatilización de los compuestos ligeros.

Para la determinación del porcentaje de carbono fijo se sumarán los porcentajes hallados anteriormente y se restará a 100%

Este valor con la diferencia de los valores de las pruebas de humedad, cenizas y materia volátil como se muestra en la siguiente ecuación.

Ecuación 4. Porcentaje Carbono fijo

$$\% \text{ Carbono Fijo} = 100 - \% \text{ humedad} - \% \text{ materia volátil} - \% \text{ cenizas}$$

Fuente: ASTM D3173-11. (2011)

7.3 ANÁLISIS ELEMENTAL

El análisis elemental puede ser cualitativo (determinando qué elementos están presentes), o puede ser cuantitativo (determinado cuanto de cada compuesto está presente), determinar la estructura de un compuesto desconocido es importante, el análisis determina el porcentaje en peso de carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno. El análisis elemental se realizará en laboratorios externos.

7.4 PODER CALORÍFICO

Cantidad de calor por unidad de masa o volumen que desprende un combustible al quemarse, en este proceso existe una combustión completa. Una gráfica tiempo vs temperatura nos permite identificar la variación respectiva entre estos y mediante de la aplicación de la primera ley de la termodinámica se determina el poder calorífico superior (PCS).

Ecuación 5. Cálculo del Poder Calorífico.

$$PCS = Va * a * Cpa + Kb * T2 - T1 - (Cpe * Le) Mc$$

Fuente: Fernández, (2012).

En donde:

PCS = Poder calorífico. (KJ / Kg)

va= Volumen de agua. (m³)

a= Densidad del agua. (Kg / m³)

Cpa= Poder calorífico del agua. (Cal / cm)

ΔT = Delta de temperaturas. (°C)

Kb = Capacidad térmica de absorción de la bomba calorimétrica (KJ / °C)

$cpe = \text{Poder calorífico del alambre de ignición. (KJ)}$

$Le = \text{Longitud del alambre de ignición. (cm)}$

$Mc = \text{Masa de la muestra. (Kg)}$

Para determinar éste se usa una bomba calorimétrica, la bomba de combustión se carga con O_2 aproximadamente con una presión de 30 atm y posteriormente se introduce 2 L de agua y se aísla el sistema, finalmente después de la explosión interna se toma la temperatura cada 5 segundos hasta que no existan variaciones de temperatura del agua.

La práctica se desarrolla en la bomba calorimétrica con aporte de oxígeno, cuando se aplica una chispa la combustión comienza fácilmente, calor liberado por la combustión se invierte en forma de calor latente para vaporizar la humedad que se encuentra en la biomasa, el vapor de agua se dispersa y se condensa sobre las paredes de la bomba, devuelve el calor al agua del exterior y se contabiliza la diferencia de temperaturas para obtener el poder calorífico.

7.5 ANÁLISIS FTIR

El principio básico de la espectrometría es que las moléculas absorben energía de la luz en longitudes de ondas específicas, conocidas como sus frecuencias de resonancia, como primera medida se fija el espectro cero, se ingresa la muestra en el porta muestras y se procede para el análisis debido.

7.6 ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO

Inicialmente se establecen las condiciones de operación de la balanza termogravimétrica. Una atmósfera inerte con un flujo de nitrógeno (N_2) de 50 ml/min, velocidades de calentamiento (V_c) de 5, 10, 15 y 20°C/min para un rango de temperatura de 30 hasta 1000°C. “Después se ingresa la muestra en un crisol y se procede a hacer la prueba y se obtiene información sobre el tiempo (min) y la temperatura (°C), la pérdida de peso TG (μg) y la primera derivada DTG ($\mu g/min$), el equipo muestra las variaciones de la de las velocidades de calentamiento, y así poder determinar las temperaturas adecuadas para el proceso de pirolisis”.¹²

¹² Ochoa A, Mahecha D. Evaluación del proceso de pirólisis para la obtención de combustibles a partir de llantas usadas. Trabajo de investigación. Universidad Libre. Facultad de ingeniería. Cundinamarca, Bogotá, 2018, 37-41 pag.

7.7 PIRÓLISIS

En primera instancia se hace limpieza del reactor, se ingresa la celda con materia previamente pesada, se cierra el reactor y se realiza la medición del flujo con el rotámetro. Como se mencionó anteriormente las variables que se mantendrán constantes durante el proceso de pirólisis será: tasa de calentamiento a $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$, flujo de dióxido de carbono (CO_2) de $50 \text{ ml}/\text{min}$ y el tiempo de residencia de 1 a 2 horas, en el que las temperaturas de operación se mantendrán constantes, esto con el fin de obtener producto líquido, sólido y gas, teniendo en cuenta las condiciones para realizar la pirólisis convencional. Posteriormente, se realizan las conexiones a las dos trampas frías donde se recolecta el líquido condensado, estas trampas están en un envase con hielo eutéctico a temperaturas de $-10^{\circ}\text{C} \pm 5$ para condensar los gases de salida, mientras que la última conexión será con una trampa que contenga hidróxido de sodio (NaOH) para neutralizar los gases no condensables y finalmente termina la conexión al extractor. Las pruebas inician con una temperatura de 17°C , una vez se programa la tasa de calentamiento para que alcance temperaturas de $350^{\circ}\text{C} \pm 5$ y $500^{\circ}\text{C} \pm 5$ (Elías, C. X., & Velo, E. 2005). En el funcionamiento del pirolizador los gases que salen del horno por medio de la tubería, si los vapores son de mayor masa molecular se condensa y van a un recipiente para el enfriamiento de los mismos.

7.8 CROMATOGRAFÍA DE GASES

La Cromatografía es una técnica de separación en la que los componentes de una muestra se separan en dos fases: una fase estacionaria de gran área superficial, y una fase móvil. El objetivo de la fase estacionaria es retrasar el paso de los componentes de la muestra. Cuando los componentes pasan a través del sistema a diferentes velocidades, estos se separan en determinados tiempos. Cada componente tiene un tiempo de paso característico a través del sistema, llamado tiempo de retención. La separación cromatográfica se logra cuando el tiempo de retención del analito difiere del resto de componentes de la muestra. Este método permite separar cada componente en un alto estado de pureza o bien, al identificarlos, determinar su proporción exacta (Raffino E., 2020).

Se desarrolla una separación de fases en donde el líquido pirolítico muestra tener dos fases, una acuosa y la otra alquitranosa, para llevar a cabo la separación se realiza por medio del proceso de filtración y centrifugación, obteniendo:

- Fracción Soluble (FS) - soluble en agua con compuestos orgánicos.
- Fracción Insoluble (FI) - insoluble en agua con compuestos orgánicos de diferente peso molecular.
- Para separar los compuestos de bajo peso molecular de los de alto peso molecular la fracción insoluble (FI) se destila (50-80°C) a presión atmosférica obteniendo:
- Fracción Destilada (FD) - contiene agua y compuestos orgánicos de bajo peso molecular.
- Residuo de Destilación (RD) - contiene compuestos orgánicos de mayor peso molecular (Olguín L. 2014).

Para los productos sólidos se realizará un análisis FTIR Y poder calorífico, análisis elemental, los procesos se realizarán similares a las caracterizaciones anteriores.

7.9 PROBLEMÁTICAS GENERADAS POR COMBUSTIBLES FÓSILES

Inicialmente nos basamos en la resolución del objetivo número 5 donde se propone una alternativa para una de las problemáticas ambientales más significativas como lo es el impacto que genera los combustibles fósiles al medio ambiente, donde se realizó una revisión bibliográfica respectivamente buscando posibles opciones de manejo, para la mitigación de la emisión de gases contaminantes por parte de las industrias y la contaminación de los residuos sólidos orgánicos que generan principalmente las agroindustrias, se plantean diferentes análisis de comparación en el uso de biocombustibles a nivel nacional y porcentajes de disminución de contaminantes de las mismas, optando por una energía renovable eficientemente a nivel energético en el país.

8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 Análisis Granulométrico

Se disponen de 5 tamices como se observa en la ilustración 8, con número de malla de (0.075, 0.25, 2, 4.75 y 9.5) mm respectivamente, para la selección del tamaño de partícula, la práctica se desarrolla con el mecanismo de sacudimiento mecánico aplicado en un tiempo de 7 a 10 minutos. La selección del tamaño de partícula se hace basada en los resultados del material retenido, se elige un tamiz con malla de retención de material grueso y una malla de retención de material fino.

Ilustración 8. Montaje de tamizado



Fuente: Autores, 2020.

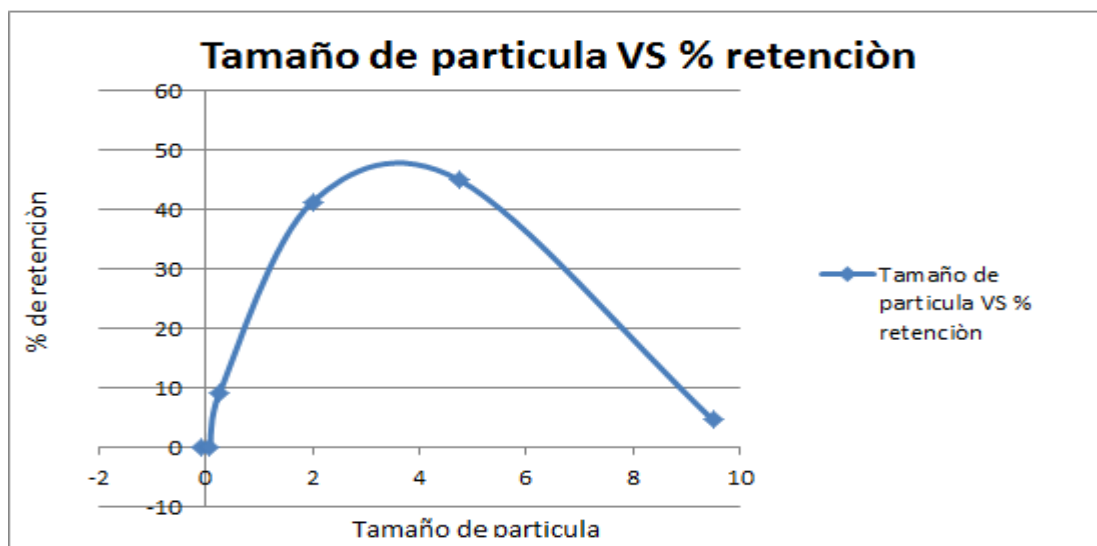
Tabla 5. Resultados de granulometría

GRANULOMETRÍA		
Malla del Tamiz (mm)	Porcentaje de Material Retenido en 3 Tamizados	% de Retención
0,075 /	0.559	0.10
0,25 / 0,075	0.387	0.07
2,0 / 0,25	47.307	8.99
4,5 / 2,0	217.21	41.22
9,5 / 4,75	236.374	44.92

/ 9,5	24.258	4.61
<p>Inicialmente se busca que la cantidad inicial para tamizar sea de 500 g en cada uno de los ensayos, el porcentaje de la alimentación de los tres ensayos es de 526.180 g, teniendo en cuenta los pesos retenidos se vuelve a sacar porcentajes y con ellos el % de retención.</p>		

Fuente: Autores, 2020.

Gráfica 1. Tamaño de partícula VS % de material retenido



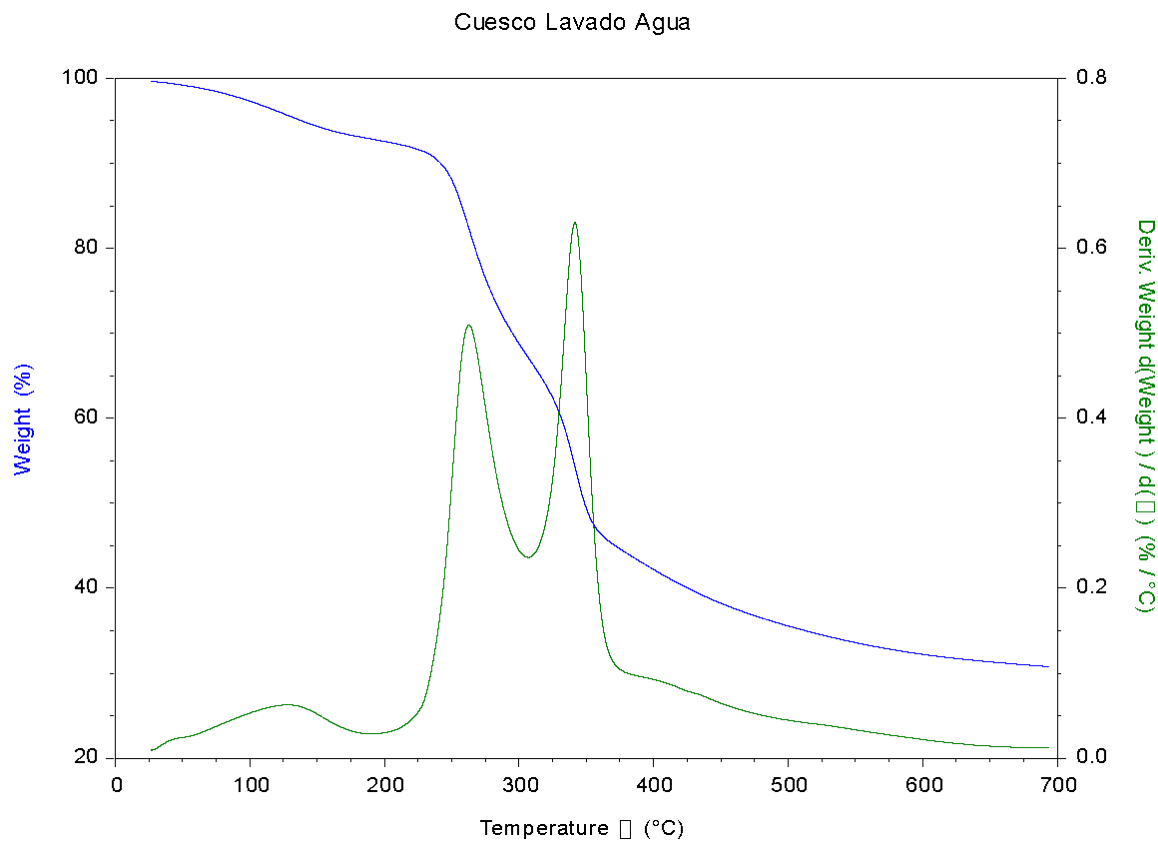
Fuente: Autores, 2020.

Con base en la gráfica 1 la retención de materiales va aumentando con el tamaño de partícula, evidenciando que dentro la totalidad de biomasa hay mucho material grueso debido a la naturaleza de su origen, también hay partículas muy pequeñas esto ya depende de cómo sea triturado el material anteriormente. Teniendo en cuenta los tamaños de las mallas para el tamizado se clasifican de la siguiente manera: Material fino mallas 75 micrómetros y 250 micrómetros - Material grueso 2 mm, 4,75 mm y 9,5 mm, el material que más porcentaje de retención tiene es el de 4,75 mm, pero para que el proceso sea más factible se hace la selección del material de 2 mm y de 250 micras correspondiendo a la elección de un tamaño grueso y otro fino como se demuestra en la tabla 8. Lo ideal para el proceso de pirólisis es que los tamaños de partículas sean pequeños para que la conductividad térmica sea más eficiente a la hora del calentamiento, de igual manera menor será la resistencia al escape de material volátil lo que implica que el líquido pirolizado va tener un mayor rendimiento.

8.2 Análisis Termogravimétrico

Consiste en la disminución de la masa de una muestra en función de la temperatura para determinar propiedades físicas y químicas del material, cuando se somete a una calefacción controlada, en una atmosfera gaseosa adecuada para el fin del estudio, generando una curva que se conoce como TGA, en este caso usando un gas inerte, lo que permite este intercambio de gases es inducir un tipo de descomposición o reacción química distinto.

Gráfica 2. Análisis TGA, % de masa Vs temperatura



Fuente: Autores, 2020.

En la gráfica 2 en el eje de las x se gráfica los datos de temperatura y en la ordenada la variación de la masa, en el eje izquierdo (curva azul oscuro) y en el lado derecho la derivada de la masa contra la temperatura (curva verde claro).

Para la variación de la pérdida de peso en función de la temperatura se observó un ligero cambio de pendientes cerca de los 100°C con una variación de masa del 4%, correspondiendo a la humedad presente en la muestra. Posteriormente se presenta una curva de pérdida de masa respectivamente al aumento de temperatura esta se encuentra entre aproximadamente los 237°C entre los 370°C donde se ha presentado una pérdida de masa de un 45% aproximadamente (con respecto al peso inicial); en estas temperaturas se puede evidenciar la descomposición termo-oxidativa y formación de productos volátiles y descomposición máxima de la celulosa, cerca de los 500°C sigue habiendo una pérdida pero de manera menos pronunciada hasta los 700°C teniendo en cuenta que las temperaturas mayores a 500°C se presenta la carbonización de compuestos hidrocarbonados cuya pirólisis no lleva a la formación de volátiles.(María R. 2014)

En la gráfica 2, se puede identificar como la pérdida de masa se presentan entre las variaciones de temperatura desde 230°C a 370°C logrando analizar qué temperaturas son las más adecuadas para el proceso de la pirólisis, es importante determinar cuáles son las sustancias que se pierden en cada variación de temperatura para evaluar la curva de descomposición térmica, dicho esto se presentan de la siguiente manera:

- Temperaturas moderadas menores a 150°C presentan pérdidas de componentes como agua, disolventes orgánicos de bajo peso molecular o desorción de gases.
- Temperaturas comprendidas entre 150-250°C Se presentan pérdidas de componentes de bajo peso molecular como aditivos, agua de cristalización y primero productos de descomposición.
- Temperaturas comprendidas entre 250-500°C Inicio de degradación térmica (gas inerte) o descomposición termo-oxidativa (O₂).
- Temperaturas mayores 500°C Carbonización compuestos Hidrocarbonados cuya pirólisis no lleva a formación de volátiles. (María R. 2014)
- Se hace la selección de las dos temperaturas con las cuales se va a trabajar estas son respectivamente 350°C y 500°C

8.3 Análisis Elemental del material

Estas pruebas fueron realizadas en una institución externa por un grupo de investigación diferente pero que trabajaron con el mismo material.

Tabla 6. Análisis Elemental de la Biomasa

Parámetro	Resultado	Norma ASTM
Humedad (105°C) % masa	8.17	D-3173-03 (08)
Azufre % masa	0.20	D-4239-08
Poder calorífico Btu/lb	7,385.00	D-5865-04
Poder calorífico J/g	17,170.00	D-5865-04
Carbono % masa	45.21	D-5373-08
Hidrógeno % masa	6.37	D-5373-08
Nitrógeno % masa	1.14	D-5373-08

Fuente. INGEOMINAS.

La humedad para la muestra respectiva representa un 8,17% según la tabla 9, sin embargo, hay que tener en cuenta de que la muestra analizada en esta investigación fue previamente lavada con agua, también hay que considerar que la diferencia no es muy amplia con respecto a los porcentajes obtenidos de humedad en el análisis próximo de la muestra inicial. En cuanto a los niveles de azufre no presentan gran relevancia lo cual es bueno ya que este componente es considerado como uno de los más contaminantes en los procesos de combustión, produciendo SO_2 y SO_3 siendo compuestos que presentan mayor influencia en la formación de lluvia ácida.

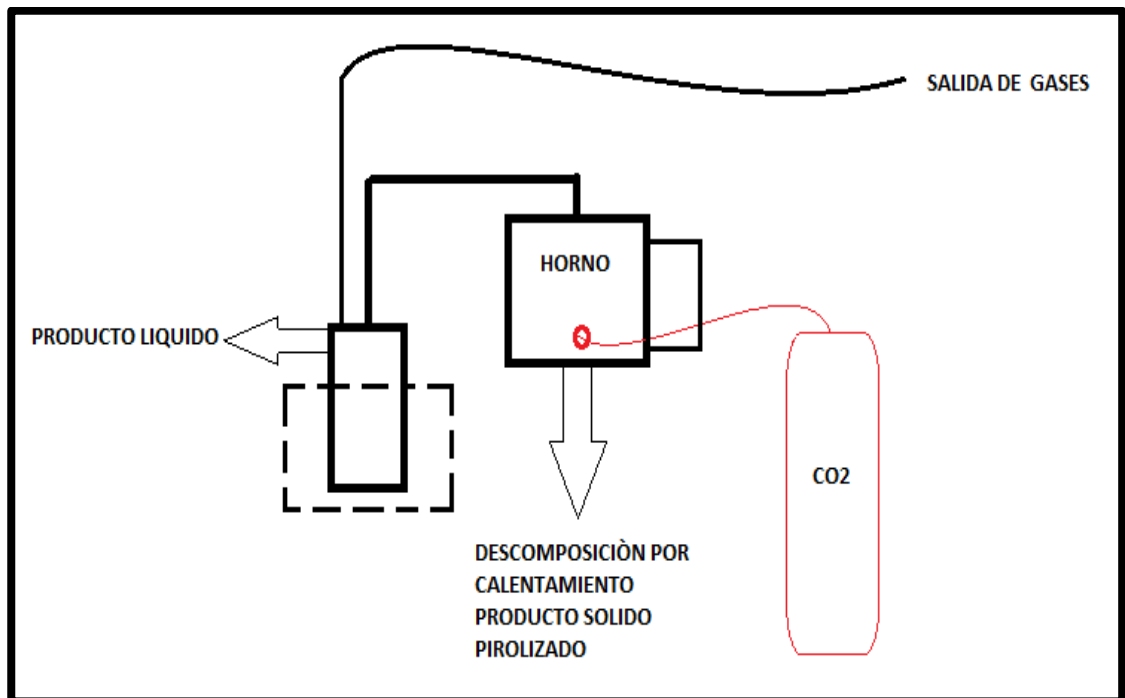
Los poderes caloríficos tampoco presentan grandes diferencias con respecto a los encontrados en este estudio, confirmando los resultados realizados en el laboratorio de la universidad libre con la bomba calorimétrica para la obtención de los valores energéticos tanto de la muestra inicial como de los productos. Los niveles de nitrógeno son adecuados ya que valores a mayores a 6% puede causar problemas relacionados con las emisiones de óxido de nitrógeno, la muestra de estudio presenta un 1.14% (Rincón S. y González Y. 2014).

8.4 Pirólisis

Se realizan cuatro pruebas de pirólisis teniendo en cuenta las variables que son tamaño de partícula y temperatura de la pirólisis, el desarrollo de esta práctica se hace en la Universidad Libre en los laboratorios de Molinos de la facultad de Ingeniería. Se tiene una programación experimental para trabajar dos niveles para las dos variables, lo que dan un total de 4 experimentos sin réplicas, estas réplicas estarán sujetas al uso y disponibilidad del equipo en la institución ya mencionada.

Según la ilustración 9 el equipo consta de un horno que aloja en su interior un reactor de lecho fijo en donde se piroliza el material sólido, este cuenta con una tapa atornillada la cual debe garantizar el sellado total libre de fugas, dentro de este se encuentra la conexión que permite la entrada del gas inerte y otra conexión que permite la salida del producto gaseoso donde llega a la trampa de condensado, esto suponiendo que el gas sea condensable, esta se encuentra sumergida en una nevera que contiene hielo, esto con el fin de regular la temperatura del recipiente de la trampa para obtener el producto líquido, en cuanto a los gases no condensables, son expulsados hacia la atmósfera por medio de una manguera.

Ilustración 9. Esquema básico del proceso de pirólisis



Fuente: Autores, 2020.

Tabla 7. Resultados obtenidos del proceso de pirolisis

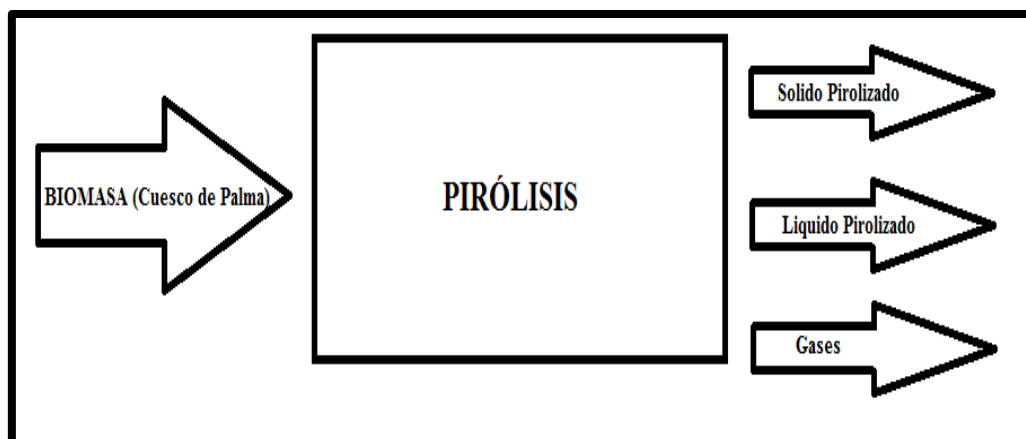
# de muestra	Temperatura-Tamaño de Partícula	Biomasa Inicial (g)	Líquido(ml)	Sólido(g)
1	Sin pirolizar			
2	500C ^o -2mm	201,43	180	75,758
3	500C ^o -250µm	207,23	44	69,251
4	350C ^o -2mm	202,18	56	86,598
5	350C ^o -250µm	202,79	7	25,504

Fuente: Autores, 2020.

Teniendo en cuenta la tabla 10 donde en la segunda columna se presenta la temperatura y el tamaño de partícula de cada una de las respectivas muestras, en las dos últimas las cantidades de productos líquido (volumen) y sólido (masa) obtenidos. Los resultados demuestran que la pirólisis correspondientes a un tamaño de partícula de 2 mm indican que al aumentar la temperatura disminuye la fracción sólida, para la muestra 2 de (500°C -2mm) un 37,61 % de producto sólido y 42,83% para la temperatura más baja muestra 4(350°C -2mm), analizando los datos en cuanto a la temperatura de 500°C se evidencia que al disminuir el tamaño de partícula se presenta una menor cantidad de producto sólido lo que es coherente con la literatura ya que en partículas de menor tamaño el material volátil se desprende con mayor facilidad al no haber resistencias debidas a la fricción del material que se forma con la estructura del sólido.(Cutiño M., Enma M.,SalasT., & Medina P.)

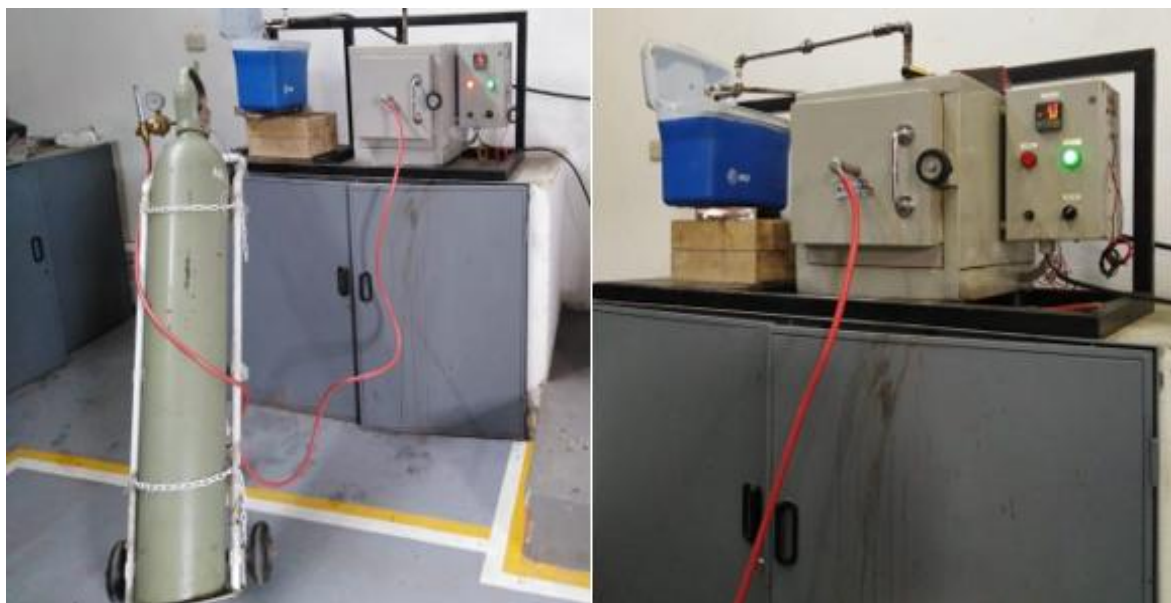
El análisis de la fracción líquida es más complicado de hacer en este caso debido a que en el primer ensayo se presentó un ingreso del agua de refrigeración y en el ensayo de la muestra 5 se evidencia grandes diferencias con respecto a las cantidades con los otros productos, puede alterar el resultado final de esta pirólisis, por lo cual nos da un valor muy bajo en los productos finales. Así mismo se elaboró el balance de materia del proceso de pirólisis, como se observa en la ilustración 10, dando como productos sólidos, líquidos y gases (pirolizados).

Ilustración 10. Balance de materia del proceso de pirólisis



Fuente: Autores, 2020.

Ilustración 11. Montaje del proceso de pirólisis



Fuente: Autores, 2020.

Como se ve en la ilustración 11, se puede destacar el sistema de control del equipo. La pirólisis es un proceso termoquímico en el cual se presenta rompimiento de partículas por medio de calor en ausencia de oxígeno, para lograr esta atmósfera inerte se aplica CO_2 al horno, el reactor se calienta a las temperaturas ya seleccionadas que son 350°C y 500°C , Las partículas del cuesco de palma africana

contienen principalmente carbono, hidrógeno y oxígeno, estas se descomponen por acción de las temperaturas que se aplican al proceso están perdiendo peso molecular, se producen sustancias gaseosas y estas se llevan casi todo el hidrógeno y oxígeno que contiene la biomasa, así mismo el producto sólido es principalmente carbono, su masa es inferior a la original pero el poder calorífico como se muestra en la tabla 12, es superior como se evidencia en la caracterización de la materia, los vapores formados salen por la tubería, para que se enfríe el producto líquido, las moléculas de más bajo peso molecular quedan gaseosas y no son atrapadas, mientras los vapores de mayor masa molecular se condensan. Los gases que se producen son monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos ligeros (metano, etano, etileno entre otros).

8.5 Análisis Próximo

Se busca tomar como muestra inicial para las pruebas de cenizas y material volátil 1 g por motivo de seguridad en las muflas con respecto a la cantidad de biomasa quemándose en un espacio reducido. Se desarrolla mediante los siguientes procedimientos: Humedad, Materia Volátil, Ceniza y Carbono fijo.

En la tabla 11 se resumen los resultados obtenidos, teniendo en cuenta los datos de para el peso promedio de cada muestra se hicieron tres ensayos, el peso promedio inicial fue la muestra inicial sin pirolizar en entrar a la mufla, después se encuentra el peso promedio para el análisis de humedad con su respectivo porcentaje y de igual manera para las siguientes muestras de material volátil, cenizas y carbono fijo.

Tabla 8. Resultados Análisis Próximo Productos sólidos obtenidos

Muestras	500 c^o- 2mm	500c^o- 250µm	350c^o- 2mm	350c^o- 250µm	Sin Pirolizar
Inicial					
Peso promedio	1,003	1,003	1,002	1,009	1,003
Humedad					
Peso promedio	0,985	0,982	0,981	0,982	0,858
Porcentaje	1,76	2,06	2,10	2,71	14,461
Material Volátil					
Peso promedio	0,976	0,974	0,978	0,979	0,592
Porcentaje	1,71	1,91	1,45	1,96	26,46
Ceniza					
Peso promedio	0,902	0,889	0,909	0,892	0,557
Porcentaje	10,07	11,37	9,31	11,63	17,99
Carbono Fijo					
Porcentaje	86,46	84,66	87,14	83,70	41,9

Fuente: Autores, 2020.

Los valores de material volátil deben ser más bajos en cuanto a los productos pirolizados ya que este debe convertir en los productos líquidos y gaseosos, mientras que el carbono fijo presenta un aumento, teniendo en cuenta que los productos después pirolizados tienden a representar ese componente (los valores de material volátil de las columnas 3, 4, 5 y 6) Al igual que con la humedad, respectivamente en la prueba sin pirolizar este componente es más alto en comparación con los productos, esto debido a que la materia no se ha expuesto a temperaturas tan altas como después de la pirolisis. Los porcentajes de material volátil y ceniza en la muestra inicial sin pirolizar son respectivamente más altos que los de las pruebas ya pirolizadas, las moléculas que se encuentran en la biomasa se craquean con el calor y desciende la cantidad de material volátil desde un 26,46 % de la biomasa inicial hasta un mínimo de 1,45% con las siguientes variables 350°C-2mm presentando relevancia para para la temperatura de 350°C y el aumento de contenido de carbono desde 41,09% de la biomasa inicial hasta un 87,14% correspondiente a 350°C-2mm, la cantidad de cenizas disminuye de los productos con respecto al valor de cenizas de la biomasa inicial considerando que está muy alto teniendo en cuenta que para el tamaño de partícula de 2 mm es relevante con esta variable. El producto sólido pirolizado es de mejor calidad al reducirse la cantidad de material volátil y aumentar las concentraciones de carbono.

8.6. Espectroscopia FTIR

Este laboratorio fue realizado mediante el procedimiento establecido para ejecutar un análisis por espectrometría FTIR, para lo cual se utilizó un equipo de análisis infrarrojo *IR Prestige 21 marca Shimadzu* como se observa en la figura 4.

Cabe resaltar que para la gráfica de la muestra inicial se manejó el programa de lectura de infrarrojo de la Universidad Libre, por tal motivo en el resultado de las 4 últimas muestras se observan en formato diferente, ya que para estas se manejó el programa origin lo cual se evidencia el cambio de formato, pero no impide la lectura de los espectros de cada una de las muestras.

Ilustración 12. Equipo para análisis infrarrojo IR Prestige - 21 - Shimadzu



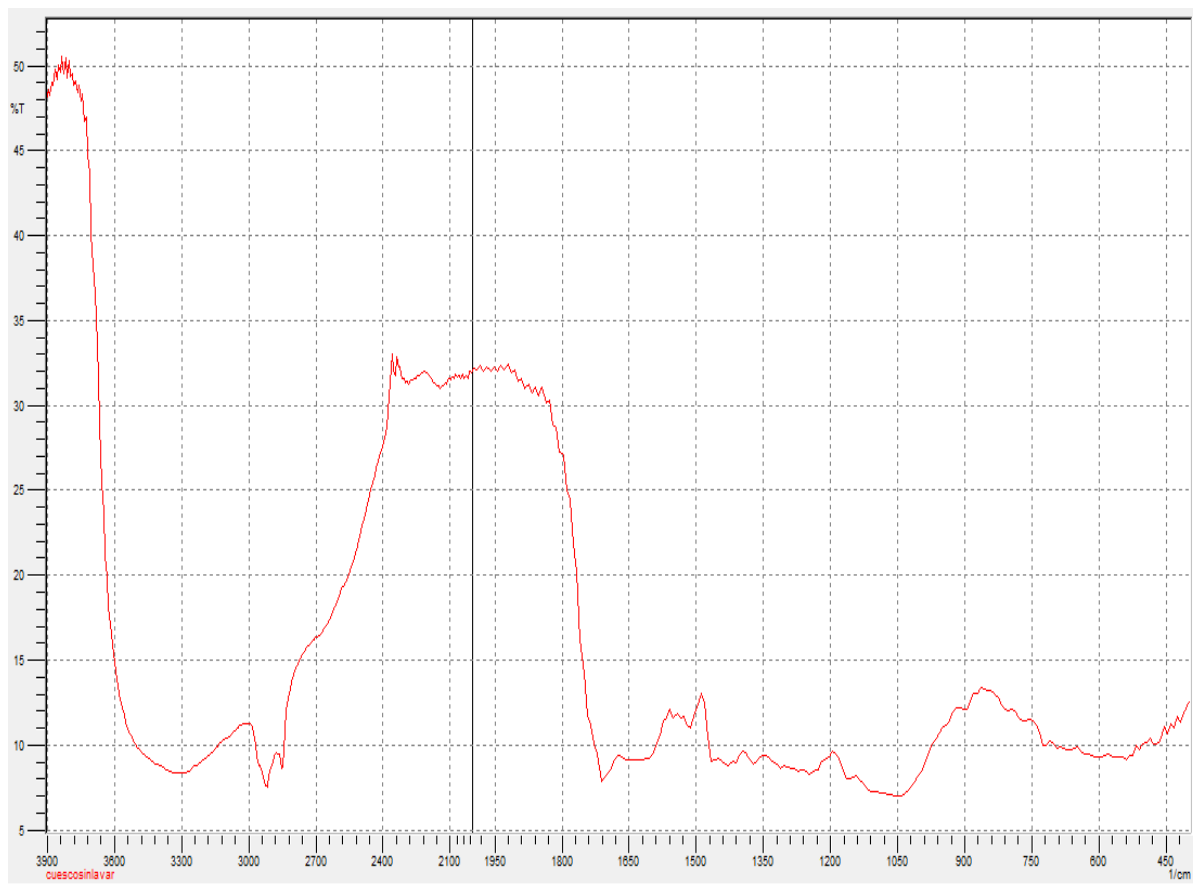
Fuente: Autores, 2020.

Con base en la gráfica 3, se analizó que la biomasa obtenida del cuesco de palma está constituida principalmente por grupos funcionales asociados con alquenos, alquilos, aromáticos, cetona y alcoholes. Las respuestas a las excitaciones en los diferentes rangos del espectro se asocian con los distintos grupos funcionales que están presentes en la estructura de la hemicelulosa, celulosa y lignina, con base en artículos similares (Rodríguez D., Reyes Y. y Camargo G., 2013).

En la gráfica 3, se encontró que los picos presentados en un intervalo de longitud de onda comprendido entre 3400 y 3200 cm^{-1} se evidencia un amplio estiramiento y vibración asociado con grupos OH, mientras que en el rango de $1890 - 1800\text{ cm}^{-1}$ y

1700 – 1550 cm^{-1} se genera un estiramiento y vibraciones coligado al grupo funcional C=C (Alquilo), los estiramientos en cetonas no conjugadas C=O oscilan entre los rangos de 1750 – 1710 cm^{-1} y en los rangos de 1550 – 1500 cm^{-1} se atribuyen al grupo funcional C=C con un estiramiento y vibraciones del anillo aromático. Mientras que el grupo CO-O y el grupo C-C se exteriorizan en 1300 cm^{-1} y 900 cm^{-1} , basándonos en estudios con resultados similares (Marrugo G., 2015).

Gráfica 3. Análisis FTIR – Muestra inicial

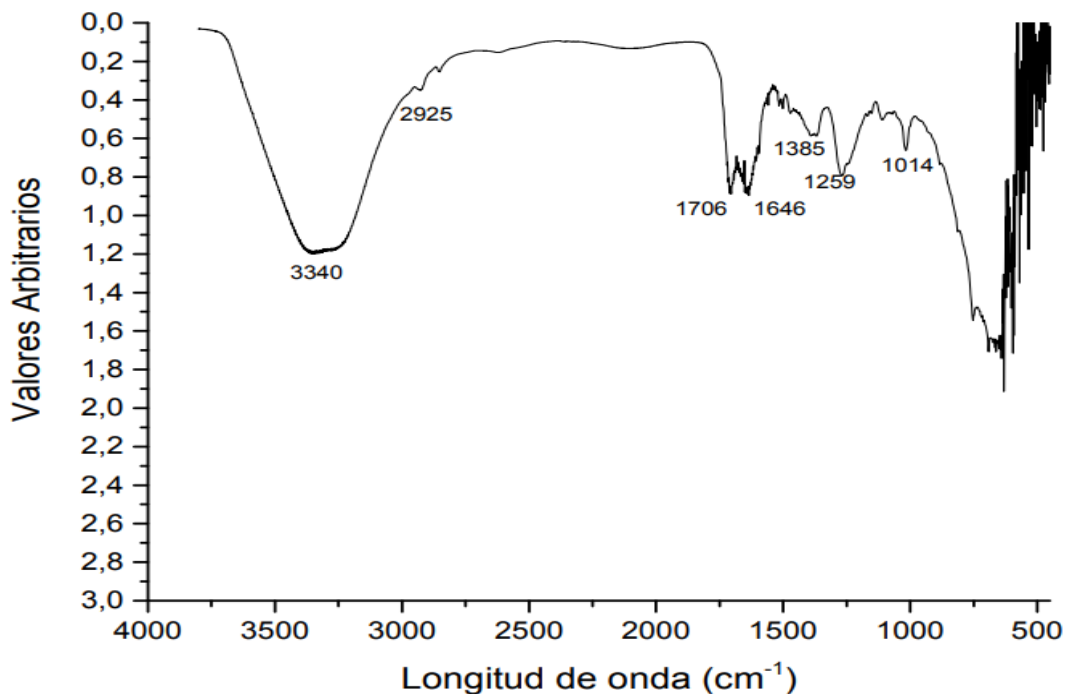


Fuente: Autores, 2020.

Teniendo en cuenta el estudio de Efecto de los cambios estructurales de diferentes biomásas pirolizadas del cuesco de palma para productos líquidos de (Arango Daniel, 2018) en la gráfica 4 de la muestra 2 (500°C – 2mm), en la región de 3340 cm^{-1} se asocia al grupo OH, y su ensanchamiento corresponde a puentes de hidrogeno, en la región de 2925 cm^{-1} se encuentra un estiramiento C-H característico de CH_2 y CH_3 . En 1706 y 1646 cm^{-1} hay un estiramiento C-O de carbonilo, que varía en dos señales, debido a la mezcla de dos hidrocarburos

presentes, esta señal C-O se atribuye al carbonilo de ácidos carboxílicos y se confirma por la señal de O-H y por último se observa una flexión simétrica “tijera” H-C-H en la región de 1385 a 1259 cm^{-1} .

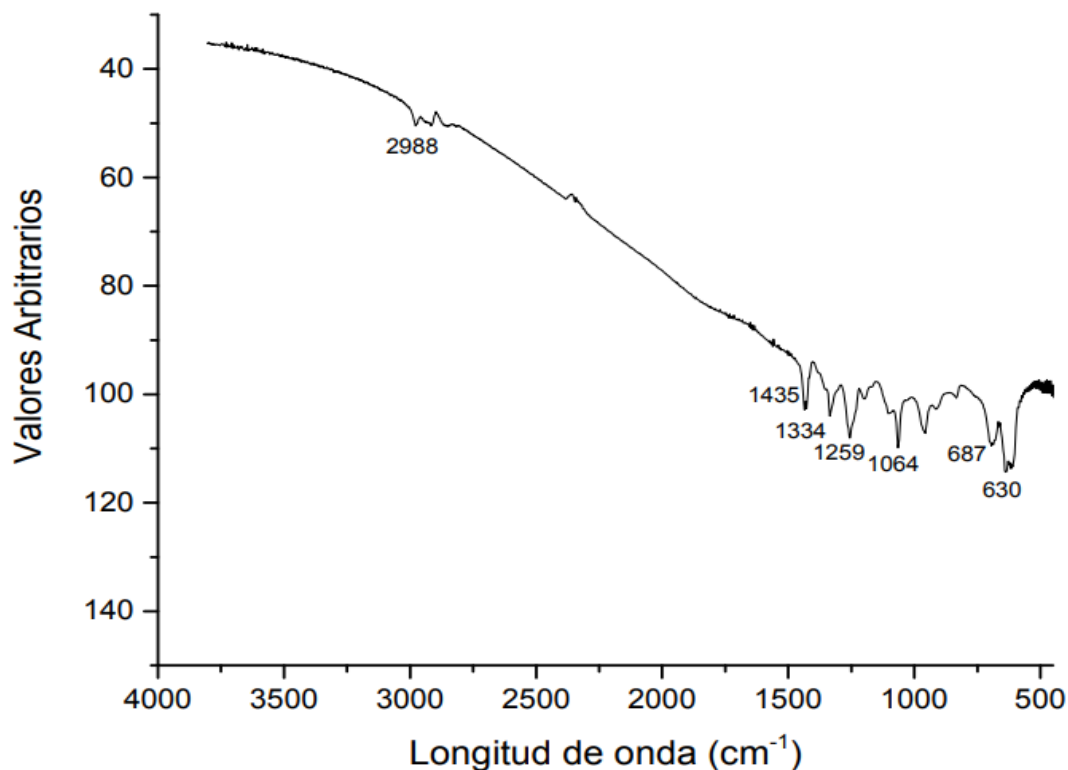
Gráfica 4. Espectro FTIR a 500°C – 2mm



Fuente: Autores, 2020.

En la muestra 3 (500°C – 250 micras) de la gráfica 5, se observa en la región de 3000 cm^{-1} hacia arriba los puentes de hidrogeno por estructuras O-H, han desaparecido por el proceso de pirolisis. Pero las señales de 1400 a 500 cm^{-1} poseen un comportamiento similar a la estructura de la muestra 2 (500°C – 2mm). A diferencia de la muestra 2 en la zona de huella dactilar, desaparece la humedad de la muestra. La conclusión en esta muestra nos indica que el grupo funcional acido carboxílico que se evidencia en la gráfica 4 solo era humedad y el ensanchamiento que tuvo en la región de 3340 cm^{-1} era debido a los puentes de hidrogeno de moléculas de agua, basados en (Arango D., 2018).

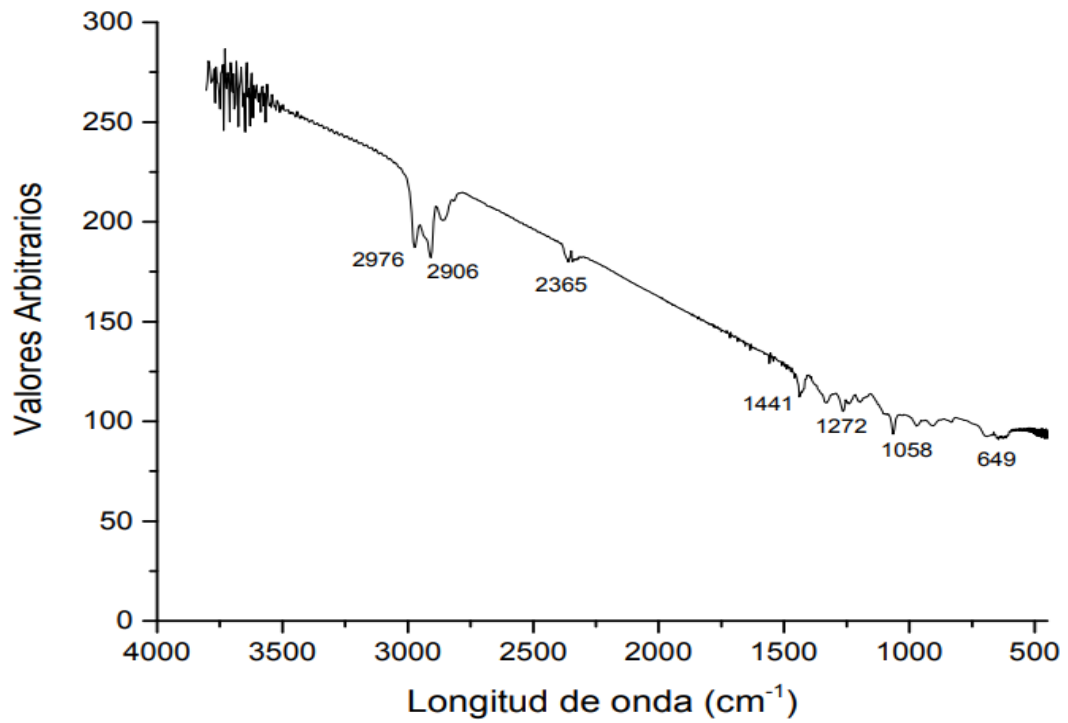
Gráfica 5. Espectro FTIR a 500°C – 250 micras



Fuente: Autores, 2020.

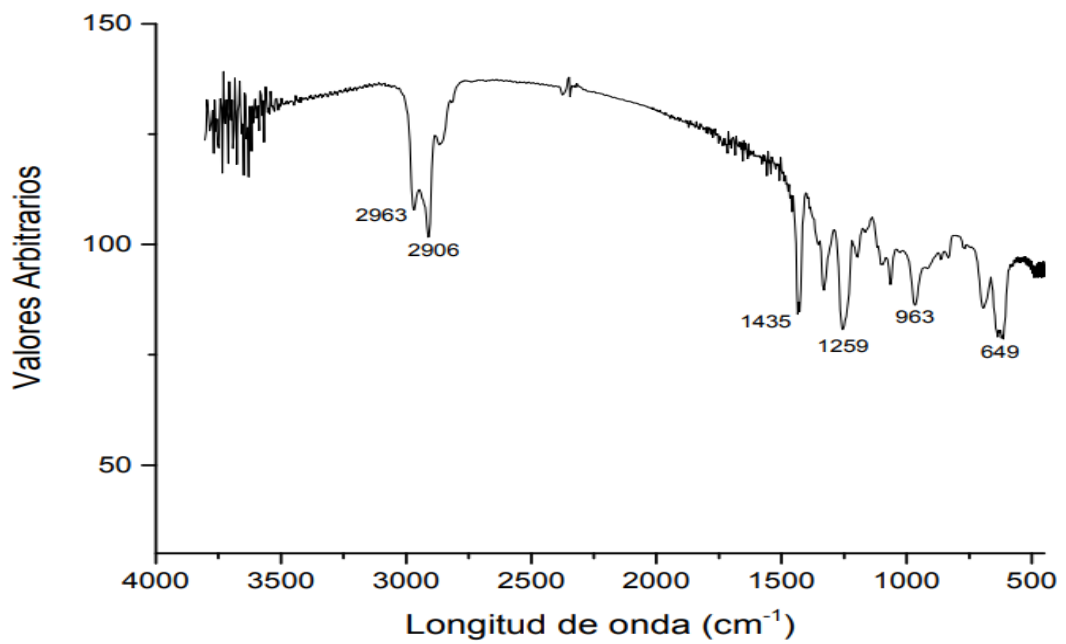
Teniendo en cuenta a (Rodríguez D., Reyes Y. y Camargo G., 2013), por último, en las gráficas 6 y 7 que representan las muestras 4 (350°C – 2mm) y 5 (350°C – 250 micras) respectivamente, se analiza en la región de 3000 a 2700 cm⁻¹, hay señales que se atribuyen a hidrocarburos saturados e insaturados, por estiramiento C-C característico de CH₂ y CH₃. Además, se encuentra una señal en 2300 característica de grupos alquenos y alquinos, que corroborada por el estiramiento C-C de alquinos y alquenos entre la región de 1400 - 1200 cm⁻¹, se confirma con una señal entre 600 y 700 cm⁻¹ característica de C=C alquenos. En 1435 cm⁻¹ se observa una señal de flexión simétrica CH₂, estas señales son características de un aceite insaturado de cadena corta por su naturaleza líquida, sin presencia de grupos funcionales específicos.

Gráfica 6. Espectro FTIR a 350°C – 2mm



Fuente: Autores, 2020.

Gráfica 7. Espectro FTIR a 350°C – 250 micras



Fuente: Autores, 2020.

8.7 Poder Calorífico

Según la ilustración 13, se observa el montaje de la bomba calorimétrica en los laboratorios de la universidad libre para su posterior medición.

Ilustración 13. Montaje de la bomba calorimétrica



Fuente: Autores, 2020.

Aplicando la ecuación 5 se determina el PCS donde el valor de V_a , ρ_a , C_{pa} , K_b , C_{pe} , L_e , siempre son constantes.

$$PCS = \frac{\left(0,002m^3 * 1000 \frac{Kg}{m^3} * 4,186 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C} + 2,34 \frac{KJ}{^\circ C}\right) * (1,004^\circ C) - \left(2,3 \frac{cal}{cm} * 10cm * 0,0041868 \frac{KJ}{cal}\right)}{0,0010848 Kg}$$

$$PCS = 10658,5516 KJ/Kg$$

Fuente: Autores, 2020.

El valor de PCS obtenido en este trabajo se acerca a otras investigaciones realizadas a la biomasa del cuesco de palma en los que el PCS da valores de 10073,9 KJ/Kg a 11224,2 KJ/Kg (Tecnura, 2016). Por consiguiente, los resultados obtenidos dan un poder calorífico superior al de nuestra muestra inicial sin pirolizar como se muestra en la tabla 12.

Tabla 9. Resultados del Poder Calorífico

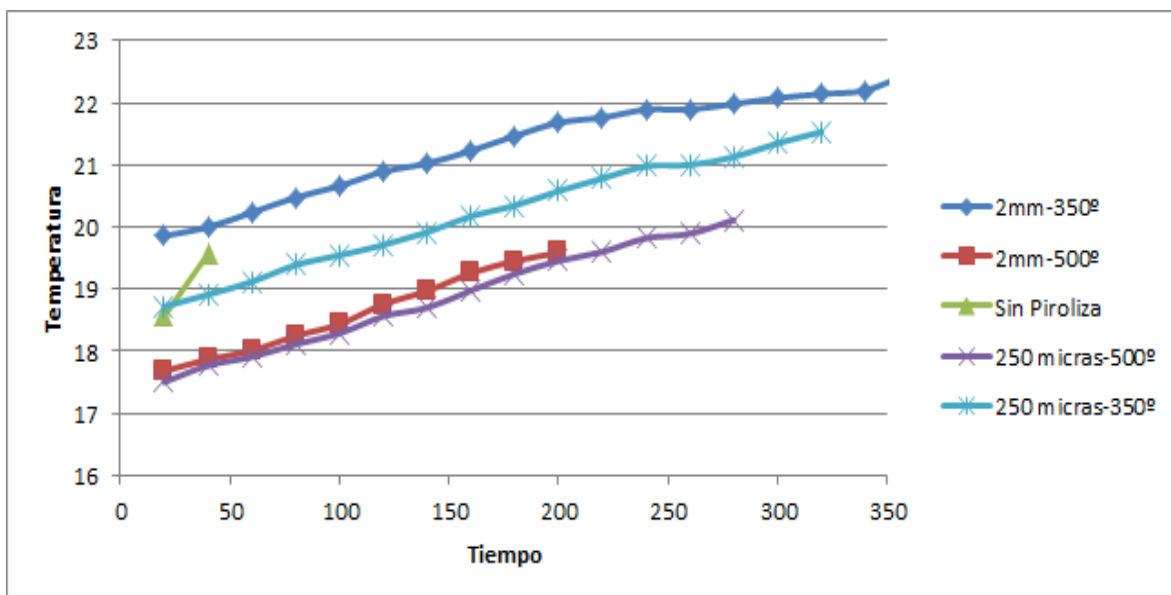
# de muestra	Temperatura de pirólisis	Tamaño de partícula	Masa de la muestra (Kg)	Delta de temperatura(°C)	Poder Calorífico (KJ/Kg)	Tiempo en estabilizar la temperatura (segundos)
1	Inicial sin pirolizar		1,000	1,00	10658,55	43
2	500°C	2 mm	1,003	1,90	20259,22	207
3	500°C	250 µm	1,005	2,61	27766,04	290
4	350°C	2 mm	1,001	3,47	37080,11	370
5	350°C	250 µm	1,003	2,81	29914,68	321

Fuente: Autores, 2020.

Según la tabla 12, la segunda y tercera columna son las temperaturas y tamaños de partícula respectivamente, en la cuarta columna la masa de la muestra en (Kg), la quinta columna representa los deltas de temperaturas en (°C), la sexta columna son los poderes caloríficos de cada una de las muestras en (KJ/Kg) y finalizando en la séptima columna está el tiempo de estabilización de la temperatura en (segundos).

Para la muestra inicial sin pirolizar el poder calorífico según la práctica es de 10658,55 KJ/Kg respectivamente se hace la misma caracterización para las 4 muestras con las diferentes variables, el mayor poder calorífico es de 37080,11 KJ/Kg para la muestra de tamaño de partícula de 2mm con una temperatura de 350°C, también teniendo en cuenta que la diferencia de temperaturas y tiempo de estabilización también es mayor. Con base en estos resultados obtenidos se puede afirmar que la temperatura de reacción es la única variable cuantificable que puede afectar el valor energético de la biomasa. Para la temperatura de 350°C al disminuir el tamaño de partícula el carbono resultante presenta un menor poder calorífico, lo que confirma que de este se desprendió una mayor cantidad de volátiles al no haber resistencias a la difusión como se explicó anteriormente.

Gráfica 8. Variación de temperatura respecto al tiempo



Fuente: Autores, 2020.

Del análisis de la tabla 12 se puede afirmar que el producto sólido con el poder calorífico más alto corresponde a la muestra número 4, la segunda muestra con el poder calorífico más alto es el tamaño de partícula de 250 micras y temperatura de 350°C (muestra 5), esto permite observar que la mayor cantidad de calor desprendido en la combustión se hace relevante para las muestras que fueron pirolizadas con una temperatura de 350°C.

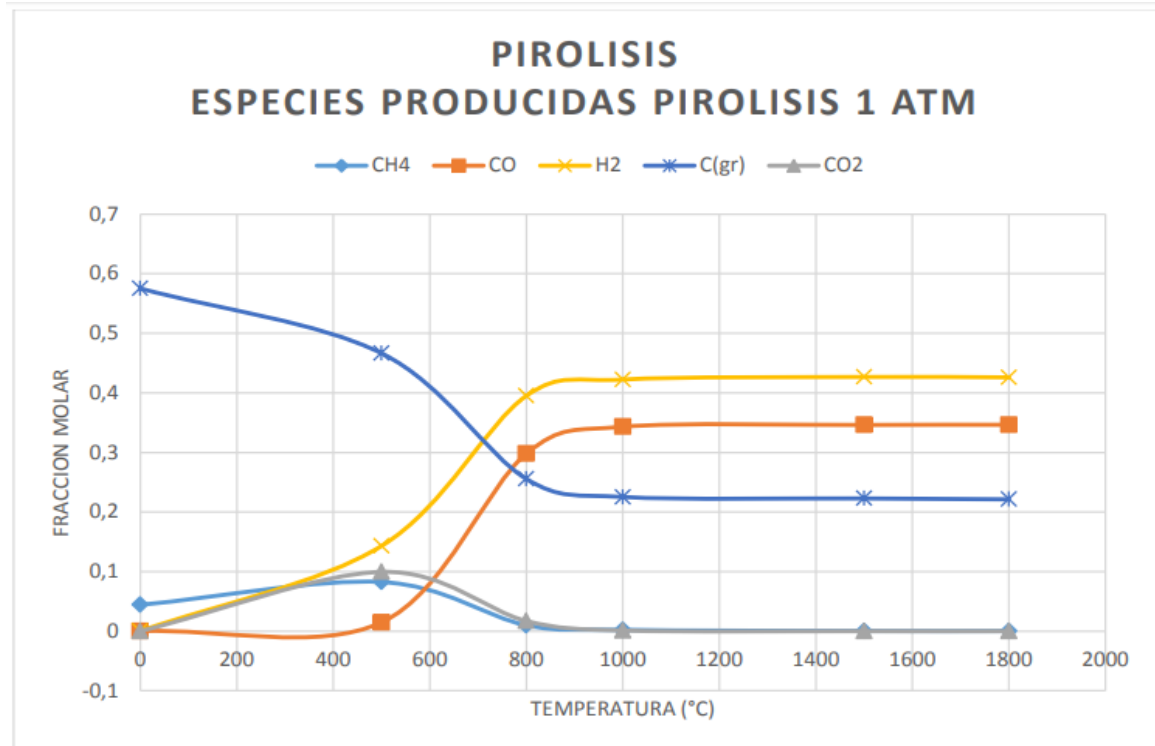
8.8 Cromatografía de gases

Teniendo en cuenta la solicitud enviada al comité de proyectos de grado a causa de la emergencia sanitaria, esta sección será justificada con análisis ya realizados sobre la misma materia prima (cuesco de palma) y con rangos de temperaturas similares por medio de trabajos de grado dirigidos por el ingeniero Gerardo Gordillo I.M., M.Sc., PhD. Del departamento de ingeniería mecánica de la Universidad de los Andes.

8.8.1 Producto gaseoso

A continuación, se podrá ver el comportamiento de la gráfica 9 donde se presentan las principales especies de gas derivadas después del proceso de pirolisis del cuesco de palma.

Gráfica 9. Especies producidas en pirolisis a 1 atm



Fuente: Caicedo, 2015.

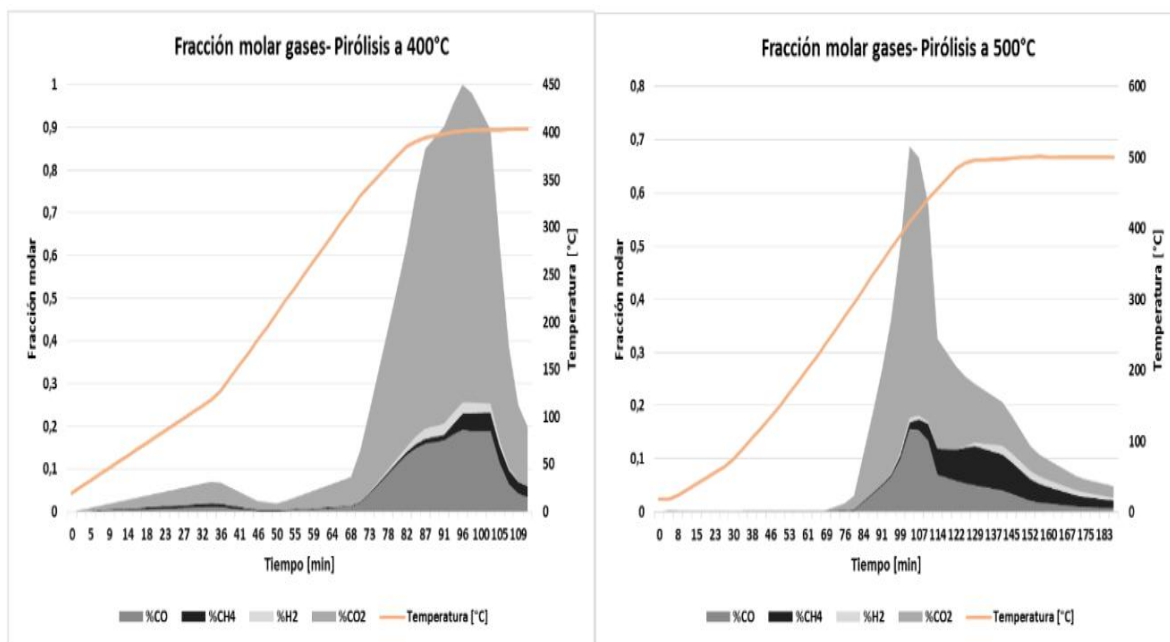
Se obtienen en la corriente gaseosa las fracciones de los siguientes gases del proceso de pirólisis del cuesco de palma: Gas metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrogeno (H₂), las fracciones más altas de los productos gaseosos corresponden al hidrogeno (curva amarilla) y el monóxido de carbono (curva naranja) por otro lado, el metano (curva azul clara) y el dióxido de carbono (curva gris) presentan a bajas temperaturas una mayor conversión inicial, pero a partir de los 300°C el hidrogeno se empieza a formar en mayor cantidad y desde los 500°C se incrementa la producción del monóxido de carbono (CO) y decrecen los gases de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la tesis de Caicedo Fajardo Santiago (2015), en la gráfica 6 se presenta una tendencia similar entre la producción del metano CH₄ y el dióxido de carbono CO₂, donde llegan a su pico máximo alrededor de los 400°C a 550°C mostrando un comportamiento similar, de igual forma el monóxido de carbono CO y el hidrogeno H₂ presentan una semejanza en su producción, alcanzando su pico más alto de temperatura entre 500°C a 800°C, después de alcanzar una temperatura de más de 800°C se vuelve constante la producción de estos gases. analizando la gráfica 6 se puede deducir que se está presentando una clara relación del rompimiento en los enlaces de hidrogeno y carbono.

8.8.2 Composición de los gases

Con base en la tesis de Carranza Rojas Eliana María (2015), los resultados obtenidos de las pruebas fueron registrados respectivamente tomando la fracción molar de los gases a diferentes temperaturas como se observa en la gráfica 6. Teniendo en cuenta las variables de evaluación se basa primordialmente en las temperaturas evaluadas entre 350°C y 500°C respectivamente y los valores más cercanos a estas.

Gráfica 10. Fracción molar acumulada de los gases a diferentes temperaturas de pirólisis



Fuente: Carranza, 2015

Según Carranza Rojas Eliana María (2015), los resultados obtenidos en la gráfica 10, se puede observar que a la temperatura de 400°C no se puede generar la suficiente energía para romper los enlaces que dan lugar a los gases con mayor contenido energético.

De igual forma se evidencia que en los picos de ambas graficas la fracción molar de CO₂ y CO entre los rangos de temperatura de 350°C y 400°C lo que indica que estos gases tienden a ser similares y sus reacciones dan lugar a la formación de óxidos de carbono a estas temperaturas y se deduce una significativa degradación de la celulosa presente en la biomasa. Por último, se puede observar en la gráfica que a partir de los 400°C hasta los 500°C se presenta una reducción de CO y se empieza a producir el CH₄ y el H₂ (Carranza, 2015).

8.9 PROBLEMÁTICAS GENERADAS POR COMBUSTIBLES FÓSILES

Para la consecución del quinto objetivo se argumenta que en el país las grandes áreas agroindustriales para los centros de producción, elaboran por procesos termoquímicos la generación de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, lo que disminuiría los costos de producción y otorgaría una mayor relación costo - beneficio del cultivo e incrementaría el porcentaje de partes de las plantas usadas para el beneficio de la producción y el producto final.

De igual forma los residuos de la palma africana se pueden utilizar de manera de pellets o briquetas (Rincón Sahra y González Yuri, 2014) o mediante un tratamiento someterse a pirólisis, como se ha hecho con cultivos similares en investigaciones hechas en la universidad nacional sede Medellín y la universidad de Antioquia, la alternativa planteada para la consecución de este objetivo se sustenta en el uso de la pirólisis tradicional que permite obtener aproximadamente un 33% de producción de líquidos y casi un 46% de producto sólido. Este producto sólido puede emplearse como combustible o como adsorbente para colaborar con la purificación de aguas de lavado usados en la obtención de la palma africana, lo que contribuye a diversificar los usos del residuo usados como materia prima y del producto obtenido a partir del mismo, esto contribuye con el ciclo de vida de la palma africana. Un dato relevante a este respecto es que por cada tonelada de aceite de palma obtenida se genera una tonelada de residuo (Elbersen W. 2013). Estos residuos pueden usarse para generar combustibles que se usan en calderas o en forma sólida (pellets y briquetas) como se dijo anteriormente o con un proceso termoquímico para obtener precursores de combustibles líquidos y sólidos.

A continuación, se presenta una línea de tiempo de los biocombustibles a nivel nacional, donde fue necesario realizar una revisión sistemática de las publicaciones científicas que abordan el tema del ciclo de vida para la producción de biodiesel a partir del aceite de palma africana en Colombia. Se tuvo en cuenta artículos científicos publicados entre 2010 y 2020, donde se consultaron bases de datos como ScienceDirect, La red de revistas científicas de américa latina y el caribe, Scielo, latindex y la herramienta de búsqueda académica de Google. Todo esto con el fin de presentar referencias de trabajos de investigación similares.

8.9.1 Uso del Biogás

La primera investigación sobre biogás se dio inicio en el año 1659 conocido como “hidrógeno carburado” donde por medio de la pirólisis de biomasa se empezó a producir carbón, donde fue la primera aplicación a gran escala de un proceso relacionado con gasificación. En el siglo XVIII el uso excesivo de la madera era escaso, por este motivo se empezó a producir el coque derivado del carbón a través de la pirólisis, pero no era muy vistoso en esa época. El historial de gasificación se divide en cuatro periodos descritos de la siguiente manera:

- 1972: Primer uso de gas de carbón para iluminación interior
- 1861: Primera unidad exitosa (Gasificador Siemens)
- 1945 - 1974: “Exceso de petróleo” de posguerra.
- 2001: Proyectos avanzados de energía renovable de gasificación (Basu, P. 2013).

8.9.2 Biomasa y sus productos

Inicialmente las producciones de fuentes de energía se obtienen de los recursos naturales, el agua, la tierra, los nutrientes, las semillas, entre otros, uno de sus resultados es la biomasa, como lo es el maíz, la caña de azúcar, el aceite de palma, el trigo, el sauce, la remolacha azucarera, etc. con la cual se produce bioenergía a través de un proceso de transformación de la materia para generar biocombustible, los más conocidos son, biodiesel, biogás, etanol, carbón vegetal, bagazo, madera combustible, etc. (Basu, P. 2013). Por último, el uso final que se le da a esta generación de biocombustible tiene como finalidad suplir necesidades vitales para el hombre y la sociedad en los medios de transporte, electricidad, maquinaria, entre otras.

Tabla 10. Fuentes de biomasa

Productos agrícolas	Maíz, caña de azúcar, remolacha azucarera, trigo, etc.	Produce etanol
	Semilla de colza, soja, semilla de aceite de palma, etc.	Produce biodiesel
Materiales lignocelulósicos	Plantas de paja o cereales, madera, chatarra, salpicadura	Puede producir etanol, biolíquido y gas

Fuente: (Basu, P. 2013)

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) ha desarrollado diversos proyectos sobre biomasa a través de su división IEA Bioenergy. La agencia calcula que el 10% de la energía primaria mundial procede de los recursos asociados a esta fuente, incluidos los relacionados con biocombustibles líquidos y biogás (José A. 2016).

Se producen tres tipos de combustible primario a partir de biomasa:

- Líquido (etanol, biodiesel, metanol, aceite vegetal y aceite de pirólisis).
- Gaseoso (biogás (CH₄, CO₂), gas productor (CO, H₂, CH₄, CO₂, H₂), gas de síntesis (CO, H₂), gas natural sustituto (CH₄).
- Sólido (carbón vegetal, biomasa torrefactada).

De estos provienen cuatro categorías principales de producto:

- Productos químicos como metanol, fertilizantes y fibra sintética.
- Energía como el calor.
- Electricidad.
- Combustible de transporte como gasolina y diésel (Elbersen, W. 2013).¹³

Tabla 11. Comparación de cuatro procesos principales de conversión termoquímica

Proceso	Temperatura (°C)	Presión (MPa)	Catalizador	Secado
Licuefacción	250-330	5-20	Esencial	No se requiere
Pirólisis	380-530	0,1-0,5	No se requiere	Necesario
Combustión	700-1400	>0,1	No se requiere	No es esencial, pero puede ayudar
Gasificación	500-1300	>0,1	No es esencial	Necesario

Fuente: (Basu, P. 2013)

¹³ Residuos de aceite de palma disponibles para la bioeconomía, junto con el reciclaje de nutrientes. *Revista Palmas*, 34, 56-65. 2013. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10702>

La combustión implica la conversión a alta temperatura de biomasa en exceso de aire en dióxido de carbono y vapor. La gasificación, por otro lado, implica una reacción química en un ambiente deficiente en oxígeno. La pirólisis tiene lugar a una temperatura relativamente baja en ausencia total de oxígeno. En la licuefacción, las grandes moléculas de materia prima se descomponen en líquidos que tienen moléculas más pequeñas. Esto ocurre en presencia de un catalizador y a una temperatura aún más baja.¹⁴

Para el proceso de pirolisis como definición general se sabe que este proceso de lleva a cabo a temperaturas bastante elevadas con total ausencia de oxígeno, por la cual se descompone térmicamente la biomasa en sólido, líquido y gas, presentando en los siguientes tipos de variaciones (Morocho S. 2019):

- Pirolisis lenta: Conocida también como convencional, se lleva a cabo a temperaturas inferiores, entre 300 y 550°C, debido a que la velocidad de calentamiento es lenta, se obtienen como productos fracciones de gas líquido y sólido en menores proporciones (Cortázar 2014, p. 35; Rincón, Silva 2015, p. 193).
- Pirolisis rápida: Este tipo se efectúa a temperaturas superiores, comprendidas entre 600-800°C (Millán 2014, p. 30), el rendimiento de la fracción líquida es superior a la obtenida en la pirólisis convencional, debido a que la velocidad de calentamiento es rápida se hace necesario un enfriamiento instantáneo de los gases con el fin de evitar el craqueo de los mismos y la formación de gases condensables (Rincón, Silva 2015, p. 194).

8.9.3 Potencial energético en Colombia

En relación al potencial energético se destaca el análisis preliminar de biomasa potencialmente útil para obtener diésel, desarrollado por Cabrera et ál. (2011); en la región de la Zona Pacífica de Colombia se realizó una comparación entre las propiedades termo-físicas de los biodiesel y las propiedades del diésel comercial, desarrollando pruebas de rendimiento de estos biocombustibles en los motores de encendido por compresión evaluando la eficiencia, el consumo y la potencia a diferentes revoluciones por minuto (RPM) del motor. Los combustibles probados fueron los siguientes: el Biodiesel A compuesto por *Elaeis Oleífera* (Palma Americana de Aceite), el Biodiesel B por *Elaeis Guineensis* (Palma Africana de Aceite), el Biodiesel C por *Ricinus Communis* (Ricino o Higuera Infernal) y los

¹⁴ Residuos de aceite de palma disponibles para la bioeconomía, junto con el reciclaje de nutrientes. *Revista Palmas*, 34, 56-65. 2013. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10702>.

Biodiesel 1 y 2 compuestos por aceite de palma y tratados con metanol y etanol respectivamente (Cabrera et ál., 2011).

Tabla 12. Eficiencias estimadas de diferentes tipos de biodiesel frente a diésel comercial, zona del Pacífico colombiano

REVOLUCIONES POR MINUTO RPM	BIODIESEL A	BIODIESEL B	BIODIESEL C	BIODIESEL 1	BIODIESEL 2	DIESEL COMERCIAL
750	9,07 %	10,50 %	9,36 %	10,32 %	9,97 %	14,74 %
1300	6,04 %	6,93 %	5,73 %	6,81 %	6,10 %	9,00 %
1750	5,40 %	5,72 %	5,12 %	5,63 %	5,45 %	7,55 %
1950	4,31 %	4,40 %	4,09 %	4,32 %	4,35 %	5,21 %
230	4,10 %	4,00 %	3,97 %	4,01 %	4,22 %	4,55 %

Fuente: Preliminary analysis of biomass potentially useful for producing biodiesel, Cabrera et ál., 2011.

Los resultados obtenidos en la tabla anterior demuestran que los porcentajes de los biocombustibles son cercanos al diésel comercial y en cuanto a las revoluciones por minuto (RPM), la potencia del biocombustible fue casi similar por los biodiesel, demostrando que este tipo de combustible puede reemplazar los combustibles convencionales. Sin embargo, se resalta el poder calorífico inferior y diferencias en la viscosidad frente al diésel (Cabrera et ál., 2011).

Para el 2011 la producción de aceite de palma en el país creció 21.7% en el primer trimestre del año. En los meses de enero, febrero y marzo se registraron 82000, 89000 y 101000 toneladas de aceite respectivamente lo que significó un incremento sustancial frente a la producción promedio mensual de 63000 toneladas en 2010. Para el 2013 Colombia se convirtió en el único país latinoamericano que mezcla 10% de biodiesel de palma con diésel, en respuesta al reto de obtener fuentes de energía limpia y renovable, al tiempo que se impulsa el desarrollo del sector agrícola.¹⁵

¹⁵ «el universal,» aceites de palma - fedepalma, 2019. Available: <http://www.eluniversal.com.co/temas/aceite-de-palma>.

8.9.4 Análisis del ciclo de vida (ACV)

Este método explica el tiempo de vida de un producto, desde su producción hasta su disposición final de los desechos que pueda generar durante todo su ciclo. Al enfocarlo hacia los biocombustibles se busca la protección de ecosistemas, la reducción de emisiones, la seguridad energética y el bienestar socio-económico en las áreas rurales donde se implementan los proyectos ¹⁶, este hace posible calcular los impactos ambientales acumulativos resultantes de todas las etapas en el ciclo de vida del producto.¹⁷

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una de las herramientas más difundidas en la evolución de impactos ambientales de los productos durante cada una de sus etapas, dicha herramienta cuantifica las emisiones potenciales pero estos valores dependen de cuando, como y donde se liberan al medio ambiente, es decir el lugar de cultivo y producción del producto.¹⁸

En Colombia a partir de 1997 se dieron los primeros trabajos y talleres sobre ACV cuando se crearon en el instituto colombiano de normas técnicas y certificaciones (Icontec) los comités técnicos de normalización similares del ISO, para de esta manera discutir y homologar a normas nacionales la serie de estándares internacionales de la familia ISO 14000, entre ellas la serie ISO 14040 sobre ACV.¹⁹

8.9.5 Conocimiento de estudios sobre análisis de ACV para la producción de biodiesel a partir del aceite de palma en Colombia entre 2010-2015

El análisis del ciclo de vida expuesto anteriormente tiene como finalidad en este proyecto evaluar la sostenibilidad y el uso del biocombustible de palma africana, analizando las ventajas y desventajas que pueda traer la utilización de este tipo de energía alternativa. Una vez se analiza el ciclo de vida y se obtiene el inventario asociado con la unidad funcional, el estudio identifica áreas de enfoque aptas para la expansión potencial de materias primas para biocombustibles a nivel nacional, proporcionando una base de conocimiento científico para la planeación estratégica

¹⁶ M. Z. N. L. A. P. P. K. V. Gómez Olachica, «análisis del ciclo de vida para la producción de biodiesel a base de aceite de higuera empleando la metodología "de la cuna a la cuna" escenario sabana de torres, Santander,» *ion*, vol. 89, pp. 89 - 98, 23 junio 2010.

¹⁷ A. M. C. M. F. P. Dulce María Pérez Martínez, «análisis de ciclo de vida en la empresa panchito Gómez toro,» *centro azúcar*, vol. 37, nº 3, pp. 18 - 26, 2010.

¹⁸ C. A. Cardona, d. L. Sánchez y o. J. Sánchez, «análisis de ciclo de vida y su aplicación en la producción de bioetanol: una aproximación cualitativa,» *universidad eafit*, vol. 43, nº 146, pp. 59 - 79, mayo 2012.

¹⁹ J. R. C. Vargas, «historia ampliada y comentada del análisis del ciclo de vida (acv),» *revista de la escuela colombiana de ingeniería*, vol. 77, pp. 37 - 70, octubre - diciembre 2008.

asegurando que la expansión de la siembra para la producción de biodiesel es sostenible para un futuro.²⁰

Uno de los primeros estudios que se desarrollaron fue una investigación consistente en la simulación del proceso de obtención de biodiesel a partir de aceite crudo de palma a través de la metodología “puerta a puerta”; el propósito del estudio fue evaluar la sostenibilidad ambiental de la producción de biodiesel, se realizó un análisis en el cambio climático (CCl). Acidificación (AI), eutrofización (EI) y en las energías no renovables (NRE) utilizadas durante el proceso. Como resultado se obtuvo que la mayor producción de CO₂ es dado por la transformación del suelo seguido por el uso de petróleo para la producción de energía en algunas etapas del proceso, igualmente se presenta emisiones de amoníaco y óxido de nitrógeno, además de generar sustancias como el nitrato y el fosfato como consecuencia de la disposición de aguas en su mayoría. Sin embargo, al compararlo con la producción del combustible fósil se notó que el biodiesel es mucho más amigable, puesto que sus emisiones al ambiente son en menor medida que el diésel convencional (Márquez B. y Hernández P. 2013).

Otro estudio realizado cuyo objetivo es evaluar los costos de operación de la producción de biodiesel de aceite de palma, con una planta piloto cuya capacidad es de 20.000L por día y de 850L por lote, esta planta de producción utiliza el aceite de palma como materia prima. El estudio resalta algunas de las ventajas del biodiesel en comparación directa con el diésel de petróleo, como lo es el mantenimiento del rendimiento del motor al reducir las emisiones de partículas en un 66,7%, los hidrocarburos no quemados en un 45,2% y el monóxido de carbono en un 46,7%. El biodiesel puede producirse de varias materias primas, pero el aceite de palma es uno de los cultivos con mayor producción de aceite, dando un rendimiento de producción 10 veces mayor al de la soja y 6 veces mayor al de la colza. El estudio muestra que son varios los factores que frenan la producción a gran escala de este biocombustible, en los cuales se encuentran el precio de las materias primas, los costos de producción de esta y el precio de los combustibles fósiles que es considerablemente menor. El artículo describe el proceso de producción del biodiesel de manera detallada, con cantidades exactas de la capacidad de las plantas en Colombia y la capacidad de la planta a escala piloto, dando una descripción precisa de los valores de referencia en cada una de las fases de producción. Dentro de la discusión científica que arrojó la investigación tras

²⁰ Banco interamericano de desarrollo (bid) - ministerio de minas y energía, «researchgate,» evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia cap. i. Introducción, enero 2012. [en línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/261805108_evaluacion_del_ciclo_de_vida_de_la_cadena_de_produccion_de_biocombustibles_en_colombia_cap_i_introduccion.

finalizar el estudio en la planta piloto, se encuentra la eficiencia del proceso, los parámetros de calidad, la evaluación económica y el análisis de la sensibilidad. El resultado de este estudio muestra que la instalación produce biodiesel con una conversión de ácidos grasos a ésteres metílicos con una eficiencia de 99,4% y en su mayoría cumplió con los parámetros de calidad de las normas internacionales, el costo de producción del biodiesel era equivalente a \$ 3.75 / gal, con el costo de las materias primas representando aproximadamente el 72.6% del costo total, lo que permite concluir que el proceso es provechoso económicamente en la producción de biodiesel de palma a escala piloto (Hernández A. y Acevedo C. 2015).

Para concluir se plantea una alternativa para el uso de los residuos sólidos que contribuya a la independencia económica del sector al ser usados en forma directa como los pellets o las briquetas, con un proceso térmico transformándose en combustibles, lo cual es lo que se investiga en este proyecto, reconociendo de este manera que los biocombustibles generados a partir del cuesco de palma africana son eficientes de igual forma que el combustible fósil, con la diferencia de que estos son productos de residuos agroindustriales y amigables con el medio ambiente.

9 CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto se comprobó que las variables de investigación tienen un efecto significativo en la distribución de los productos. La caracterización la materia prima especialmente su bajo contenido de humedad la hace adecuada para las transformaciones termoquímicas como se comprueba por los análisis realizados.

- Los valores obtenidos en la caracterización fisicoquímica del cuesco de palma, cumplen con los rangos adecuado para la generación del biocombustible, puesto que el material volátil con porcentajes entre 1,80% y 1.30% son aptos para generar los productos líquidos y gaseosos, de igual forma la presencia de carbono, nitrógeno e hidrogeno, son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa, siendo esta una solución que contribuye a las necesidades energéticas de una forma sostenible.
- Al establecer las propiedades térmicas de la materia prima mediante el poder calorífico se puede observar que el valor resultante es 17,170.00 KJ/Kg resultado típico para las biomazas lignocelulosas.
- La prueba TGA en atmosfera inerte permite identificar perdidas de masa, identificando el cambio de pendiente más abrupto se hace evidente a una temperatura entre los 237°C y 370°C lo cual manifiesta una descomposición termo-oxidativa y finalmente se presenta una variación cerca a la temperatura correspondiente los 700°C carbonización de hidrocarbonados.
- La pirólisis es un proceso muy efectivo para la obtención de biocombustibles en los tres estados de la materia, generando la mayor cantidad de líquido correspondiente a 180 ml para la muestra con las variables de 500°C-2mm y respecto a los sólidos la que obtuvo más producto que la muestra de variables 350°C-2mm.
- Para el producto sólido obtenido el poder calorífico para las cuatro muestras recolectadas es acordes con la literatura; sin embargo, el que presenta más diferencia con respecto a la materia prima es aquel que corresponde a la muestra número 3 (350°C- 2 mm) también corresponden a muestra con mayor cantidad de producto sólido obtenido.
- Inicialmente en el ámbito de la contaminación del aire, es evidente que los biocombustibles generan el 10% de la energía primaria mundial, por ello contribuyen a la mejora de la calidad del aire, evidenciando reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (especialmente el azufre), por tal motivo se manifiesta que la producción de biocombustibles presenta una

reducción de emisiones del orden del 70% - 90% en comparación con los combustibles fósiles siempre y cuando se manejen sistemas eficientes.

- Con referencia a la gráfica 9 de las especies producidas de las pirolisis se puede deducir que se está presentando una clara relación del rompimiento en los enlaces de hidrogeno y carbono, formando de esta manera compuestos de CH₄ Y CO₂ donde presentan una tendencia similar en la producción de estos gases llegando a su pico máximo alrededor de los 400°C a 550°C.
- Con base en los resultados obtenidos de las pruebas de FTIR de las gráficas 5, 6, 7 y 8, se deduce que en las regiones de 3340 - 3000 cm⁻¹ se asocia a la presencia del grupo OH, esto por causa del ensanchamiento y la humedad que se registra en estos rangos debido a los puentes de hidrogeno de las moléculas de agua, de igual forma después del rango de los 3000 cm⁻¹ desaparecen los grupos OH a causa del proceso de pirolisis y se originan enlaces de hidrocarburos saturados e insaturados hasta un rango de 2500cm⁻¹.

10 BIBLIOGRAFIA

1. A. GÓMEZ, S. RINCÓN Y W. KLOSE, Carbón Activado de Cuesco de Palma. Estudio de termogravimetría y estructura., Kassel: Kassel University Press GmbH., 2010.
2. A. GÓMEZ, W. KLOSE Y S. RINCÓN. 2018. Pirólisis de biomasa: cuesco de palma., Kassel, Alemania: Kassel University Press.
3. A. M. C. M. F. P. DULCE MARÍA PÉREZ MARTÍNEZ. 2010, análisis de ciclo de vida en la empresa panchito Gómez toro, centro azúcar, vol. 37, nº 3, pp. 18 – 26.
4. ACEVEDO, S., GIRALDO, L., & MORENO, J. C., 2015. Caracterización textural y química de carbones activados preparados a partir de cuesco de palma africana (*elaeis guineensis*) por activación química con CaCl_2 y MgCl_2 . Revista colombiana de química, 44(3), 18-24. Disponible en: <https://search-proquest-com.sibulgem.unilibre.edu.co/docview/1819133851?accountid=49777>
5. ACOSTA, O. Y A. CHAPARRO. 2012. Efectos de los Biocombustibles en la Seguridad Alimentaria en Colombia: Una Aproximación Sistemica. Revista Salud Pública 11(2): 290-300. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v67n2/v67n2a13.pdf>
6. AGRAWAL A, CHAKRABORTY S. A kinetic study of pyrolysis and combustion of microalgae *Chlorella vulgaris* using thermo-gravimetric analysis. Bioresour Technol 2013; 128:72–80.
7. ÁLVARO JAVIER ÁVILA DÍAZ, & YESID, C. E. 2015. Agrocombustibles y soberanía alimentaria en Colombia. Cuadernos De Geografía, 24(1), 43-60. Disponible en: <https://search-proquest-com.sibulgem.unilibre.edu.co/docview/1676573457?accountid=49777>
8. American Society and Testing and Materials. 2013. ASTM D3172-13. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos. Disponible en: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D3172-13>.
9. American Society for Testing and Materials. 2009. ASTM WK24875. New Practice for On-line Determination of Siloxanes in Biogas and Other Gaseous Fuels by FTIR. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos
10. American Society for Testing and Materials. 2011. ASTM D3175-11. Standard test method for volatile matter in the analysis sample of coal and coke. Pensilvania, West Conshohocken, Estados Unidos. Disponible en: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D3175-11>.
11. American Society for Testing and Materials. 2012. ASTM D3174-12. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal: West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos. Disponible en: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D3174-12>.

12. American Society for Testing and Materials. 2015. ASTM D7582-15. Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis. West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos. Disponible en: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D7582-15>.
13. American Society for Testing and Materials. 2011. ASTM D3173-11. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos. Disponible en: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D3173-11>.
14. ARANGO DANIEL I. (2018). Obtención de carbones activados a partir del cisco de café y el cuesco de la palma africana para aplicaciones en el área de energía. Universidad pontificia bolivariana. Recuperado de: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4522/Obtenci%C3%B3n%20de%20carbones%20activados%20a%20partir%20del%20cisco%20de%20caf%C3%A9....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
15. Asadullah, M., Ab Rasid, N. S., Kadir, Sharifah Aishah Syed A, & Azdarpour, A. (2013). Production and detailed characterization of bio-oil from fast pyrolysis of palm kernel shell. *Biomass and Bioenergy*, 59, 316-324. doi: 10.1016/j.biombioe.2013.08.037
16. Banco interamericano de desarrollo (bid) - ministerio de minas y energía, «researchgate,» evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia cap. I. Introducción, enero 2012. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/261805108_evaluacion_del_ciclo_de_vida_de_la_cadena_de_produccion_de_biocombustibles_en_colombia_cap_i_introduccion.
17. BARRAGÁN J., ROJAS C., ECHEVERRY N., GERARDO F., CALDERÓN H. (2011). Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor guadua angustifolia kunth. *Scielo. Rev. acad. colomb. cienc. exact. fis. nat. vol.35 no.135 Bogotá*.
18. BASU PRABIR. *Biomass Gasification and Pyrolysis*, Amsterdam, Elsevier, 2010, 364p. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B7VihfHTyqeMYllpUm5WdDJidIE/view?ts=5e39a54b>.
19. BASU, P. (2013). *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction*. En: P. Basu *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction* (pp. 147–176). 2a. ed. Londres: Elsevier Inc. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-396488-5.00005-8>
20. BEFS. 2012. Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida (befsa). *Fao, org, capitulo 10 uso eficiente del carbón vegetal*. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-bp846s.pdf>
21. BENDERCK J, *Biocombustible, la mejor solución, hoy biocombustibles*, Boletín informativo No. 191, 2018.

22. BOCHNO E. 2011. Estado del arte y novedades de la bioenergía en el Colombia. organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/3/as419s/as419s.pdf>
23. BRIDGWATER AV, EVANS GD. An assessment of thermochemical conversion systems for processing biomass and refuse. Report to UK DTI (ETSU B/T1/00207/REP), 2013.
24. C. A. CARDONA, D. L. SANCHEZ Y O. J. SANCHEZ, análisis de ciclo de vida y su aplicación en la producción de bioetanol: una aproximación cualitativa, universidad eafit, vol. 43, n° 146, pp. 59 - 79, mayo 2012.
25. CAICEDO FAJARDO SANTIAGO. Bogotá D.C. 2015., pág. 48. Estimación de gases combustibles producto de gasificación de cuesco de palma utilizando diferentes agentes oxidantes. Universidad de los Andes. Facultad de ingeniería. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/17355/u713465.pdf?sequence=1>
26. CAMPS MICHELENA, M., & MARCOS MARTÍN, F. Los biocombustibles (2a. ed.). Madrid: Mundi-Prensa. 2010
27. CASTIBLANCO ROZO CARMENZA, & HORTÚA ROMERO SONIA EDITH. 2012. El Paradigma Energético De Los Biocombustibles Y Sus Implicaciones: Panorama Mundial Y El Caso Colombiano. Gestión Y Ambiente, 15(3), 5-26
28. ÇEPELIOĞULLAR Ö, PÜTÜN AE. Thermal and kinetic behaviors of biomass and plastic wastes in co-pyrolysis. Energy Convers Manager 2013; 75:263–70.
29. CHOI, G., OH, S., LEE, S., & KIM, J. (2015). Production of bio-based phenolic resin and activated carbon from bio-oil and biochar derived from fast pyrolysis of palm kernel shells. Bioresource Technology, 178, 99-107. doi: 10.1016/j.biortech.2014.08.053
30. CODINA-CANET, M. A.; OLMEDA-GÓMEZ, C.; PERIANES-RODRÍGUEZ, A. (2013). Análisis de la producción científica y de la especialización temática de la Universidad Politécnica de Valencia. Scopus (2003-2010). Revista Española de Documentación Científica, 36(3): e019. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/redc.2013.3.942>
31. Colombia. Congreso de la república. Ley 1715 (13. Mayo, 2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario Oficial No. 49.150 de 13 de mayo de 2014
32. Colombia. Congreso de la República. Ley 693. (19, septiembre, 2001). Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá, D.C., 2001. No. 44.564.
33. Colombia. Congreso de la república. Ley 939 (31, diciembre, 2004). Por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diésel y

se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Año cxi. N. 45778. 31, diciembre, 2004. Pág. 17.

34. Congreso de la República de Colombia. Ley 142 de 1994, "por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones". julio 11 de 1994.
35. CORTÁZAR; RINCÓN, SILVA. A Model Proposal for Financial, Environmental and Social Evaluation of Projects: An Ethical Approach to Evaluate Sustainable Projects. International Journal of Good Conscience. 10(2)1-24. agosto 2015. ISSN 1870-557X.
36. CUÉLLAR J., CORONADO S., ARRUBLA R. (2011). Differentiation of Mycobacterial Species by FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy). Acta biol. Colomb., Vol 16N°2.
37. CUJIA, G., & BULA, A. (2010). Potencial obtención de gas de síntesis para la producción de metanol a partir de la gasificación de residuos de palma africana. Interciencia, 35(2), 106-112. Disponible en: <https://search-proquest-com.sibulgem.unilibre.edu.co/docview/210117565?accountid=49777>
38. Cury, K., Aguas, Y., Martínez, A., Olivero, R. & Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. Revista colombiana de ciencia animal 9, 122-132.
39. CUTIÑO M., ENMA; MEDINA P., MARGARITA; ORTEGA G., GISELLE. 2011. Análisis termo gravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales Tecnología Química. Doi: 10.25186 / CS. V14I2.1572.
40. E, BECERRA, Caracterización del desecho agroindustrial de la palma de aceite "cuesco" para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de ingeniería – dirección de posgrados especialización en ingeniería de pavimentos, 2017.
41. E. B. BENEDETTI MARQUEZ, S. P. HERNANDEZ ESPINOSA Y P. ACEVEDO. análisis de ciclo de vida "puerta a puerta" del proceso de producción de biodiesel a partir de aceite crudo de palma, universidad de san buenaventura - bibliotecadigital, 1 10 2013.
42. Economista, E. (2015, Dec 29). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. UPME. Convenio ATN/FM-12825-CO. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf
43. El futuro está en La Palma. El Tiempo. 06-de febrero 2001. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-639947>
44. ELBERSEN, W. (2013). Residuos de aceite de palma disponibles para la bioeconomía, junto con el reciclaje de nutrientes. Revista Palmas, 34, 56-65. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10702>
[file:///C:/Users/ALEXANDER/Downloads/10702-Texto-10967-1-10-20131106%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ALEXANDER/Downloads/10702-Texto-10967-1-10-20131106%20(1).pdf)

45. ELÍAS, C. X., & VELO, E. (2005). Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. Universidad nacional. Departamento de ciencias analíticas. Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/biocarbones_cenim_csic.pdf
46. ESCALANTE, H.; ORDUZ, J.; ZAPATA, H.J.; CARDONA, M.C. Y DUARTE, M. (2010). Atlas de Biomasa: UPME. Anexo E. Potencial energético de la biomasa residual. Disponible en: http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentación/Biodiesel/Anexo_E_Potencial_energetico_departamental.pdf
47. ESCALANTE. Efecto de la temperatura en el potencial de aprovechamiento energético de los productos de la pirólisis del cuesco de palma, Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento, ISSN-e 0123-921X, Vol. 20, N°. 48 (abril - junio), 2016, págs. 89-99.
48. ESFAHANI RM, GHANI WAWA, SALLEH MAM, ALI S. HYDROGEN-Rich gas production from palm kernel shell by applying air gasification in fluidized bed reactor. Energy Fuels 2012; 26:1185–91.
49. F. ESPARZA. El fuego o combustión. Bomberos de Navarra nafarroako suhiltzaileak. Disponible en: http://www.bomberosdenavarra.com/documentos/ficheros_documentos/fuego_o.pdf
50. F. GONZÁLEZ, I. C. JIMÉNEZ, M. RODRÍGUEZ, S. RESTREPO, M. GÓMEZ. Combustibles de segunda generación: una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. Revista de ingeniería. Universidad de los Andes, Vol. 28, pp 70-82, 2018.
51. Fedepalma. 2011. La palma de aceite, una agroindustria eficiente, sostenible y mundialmente competitiva palmas. Documentos. 03 de mayo del 2011, Disponible: <http://www.fedepalma.org>.
52. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). 2019. Bogotá, Colombia. Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite organizado por Fedepalma. Disponible en: <http://web.fedepalma.org/Proximo-Congreso-de-Fedepalma-2019>
53. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) (2014). Anuario Estadístico de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo. Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/anuario/article/view/11200/11201>
54. FERNÁNDEZ, 2019. Determinación del proceso óptimo de pirólisis de lodos residuales, para la mayor eficiencia de producto sólido. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17235>
55. FIGUEROA HERMES. el universal. aceites de palma. Fedepalma, 2019. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.co/temas/aceite-de-palma>.
56. FLÓREZ RAMOS, D. F., BARCO BURGOS, J., & RINCÓN PRAT, S. L. (2016). Análisis comparativo de la carbonización de cuesco de palma de

- aceite en reactores de lecho fijo. *Revista Tecnura*, 20(49), 45-58. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.
57. FLYNN JH, WALL AL. A quick direct method for determination of activation energy from thermogravimetric data. *J Polym Sci B* 1966; 4:323–8.
 58. GAO NB, LI AM, QUAN C, DU L, DUAN Y. TGA–FTIR and Py–GC/MS analysis on pyrolysis and combustion of pine sawdust. *J Anal Appl Pyrol* 2013; 100:26–32.
 59. GARCÍA S., Ingeniero Industrial., 2011. (noviembre, 2. 0. Combustión y combustibles) disponible en: <https://docplayer.es/16557272-Combustion-y-combustibles.html>
 60. GUERRERO-PENA, A., ANGUEBES-FRANSESCHI, F., CASTELÁN-ESTRADA, M., MORALES-RAMOS, V., CÓRDOVA-QUIROZ, A.V., ZAVALA-LORÍA, J.C., BOLAÑOS-REINOSO, E. Optimization of the biodiesel synthesis using crude african palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq) [Article@Optimizacion de la síntesis de biodiésel a partir de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq)] (2013) *Agrociencia*, 47
 61. HERRERA-RUALES, F., & ARIAS-ZABALA, M. (2014). Bioethanol production by fermentation of hemicellulosic hydrolysates of african palm residues using an adapted strain of *scheffersomyces stipitis*. *Dyna*, 81(185), 204-210. Retrieved from <https://search-proquest-com.sibulgem.unilibre.edu.co/docview/1676615257?accountid=49777>
 62. J. C. ACEVEDO, J. A. HERNANDEZ, C. F. VALDES Y S. KUMAR KHANAL, «analysis of operating costs for producing biodiesel from palm oil at pilot-scale in Colombia, » *bioresource technology*, vol. 188, pp. 117-123, 2015.
 63. J. R. C. VARGAS, «historia ampliada y comentada del análisis del ciclo de vida (acv),» *revista de la escuela colombiana de ingeniería*, vol. 77, pp. 37 - 70, octubre - diciembre 2008.
 64. JORGE BENDECK OLIVELLA - Presidente Fedebiocombustibles. Federación nacional de biocombustibles en Colombia. Boletín informativo No. 165 miércoles 14 de junio de 2017.
 65. KIM SJ, JUNG SH, KIM JS. Fast pyrolysis of palm kernel shells: influence of operation parameters on the bio-oil yield and the yield of phenol and phenolic compounds. *Bioresour Technol* 2010; 101:9294–300.
 66. LBERTO RICARDO, A. A., EVER, O. M., ARIZA, I. P., ANDRÉS, F. S., & MARLEY CECILIA, V. C. (2018). Devolatilization of african palm (*elaeis guineensis*) husk studied by TG-MS. *Ingeniería e Investigación*, 38(2), 9-17. doi:<http://dx.doi.org.sibulgem.unilibre.edu.co/10.15446/ing.investig.v38n2.677>
 67. LIEW, R. K., NAM, W. L., CHONG, C. T., CHONG, M. Y., PHANG, X. Y., SU, M. H., LAM, S. S. (2018). Oil palm waste: An abundant and promising feedstock for microwave pyrolysis conversion into good quality biochar with potential multi-applications. *Process Safety and Environmental Protection*, 115, 57-69. doi: 10.1016/j.psep.2017.10.005
 68. LIEW, R. K., NAM, W. L., CHONG, C. T., CHONG, M. Y., PHANG, X. Y., SU, M. H., LAM, S. S. (2018). Oil palm waste: An abundant and promising

feedstock for microwave pyrolysis conversion into good quality biochar with potential multi-applications. *Process Safety and Environmental Protection*, 115, 57-69. doi:10.1016/j.psep.2017.10.005

69. Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia. Documento Conpes 3510. 2008. Disponible en: http://www.fedebiocombustibles.com/files/Conpes_3510.pdf
70. LÓPEZ, LUIS ALBERTO QUINTERO, et al. "Análisis de residuos sólidos de palma africana, como alternativa de aprovechamiento de energías renovables en el departamento del César/Analysis of African palm solid waste, as an alternative to use renewable energy in the department of Cesar." *Ingenierías USBmed*, vol. 10, 2019.
71. M. Z. N. L. A. P. P. K. V. GOMEZ O., análisis del ciclo de vida para la producción de biodiesel a base de aceite de higuierilla empleando la metodología "de la cuna a la cuna" escenario sabana de torres, Santander, *ion*, vol. 89, pp. 89 - 98, 23 junio 2010.
72. M.C. GUTIÉRREZ, M. DROGUET. (2012). La cromatografía de gases y la espectrometría de masas (Identificación de compuestos causantes de mal olor).
73. MANALS-CUTIÑO, ENMA M, SALAS-TORT, DOLORES, & PENEDO-MEDINA, MARGARITA. (2018). Caracterización de la biomasa vegetal cascarilla de café. *Tecnología Química*, 38(1), 169-181. Recuperado en 11 de octubre de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000100013&lng=es&tlng=es.
74. MARÍN, E., ALONSO CORT, VELÁSQUEZ, CIRO H., MSC, PHD, & CÁRDENAS, MORENO E., MSC. (2011). Biocombustibles: Búsqueda de alternativas*/Biofuel: The search for alternatives/Biocombustíveis: A busca de alternativas. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 6(2), 118-123. Retrieved from <https://search-proquest-com.sibulgem.unilivre.edu.co/docview/926955154?accountid=49777>
75. MARIN-BURGOS, V., & CLANCY, J. S. (2017). Understanding the expansion of energy crops beyond the global biofuel boom: Evidence from oil palm expansion in Colombia. *Energy, Sustainability and Society*, 7, 1-21. doi:<http://dx.doi.org.sibulgem.unilivre.edu.co/10.1186/s13705-017-0123-2>
76. MARRUGO G. (2015). Efecto de los cambios estructurales de diferentes biomásas pirolizadas sobre las características del gas de síntesis, obtenido a partir de la gasificación de biochar. Universidad nacional de Colombia. Facultad de minas, Escuela de Procesos y Energía. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/52265/1/1017171447.2016.pdf>
77. MOROCHO S. 2019. Obtención de combustible mediante pirólisis térmica a partir de polipropileno reciclado. Escuela superior politécnica de chimborazo. Riobamba – Ecuador. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/13804/1/96T00569.pdf>

78. Muñoz M (2017), Fundamentos de Química Orgánica. Universidad nacional autónoma de México. Facultad de ingeniería. México. Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13731/Fundamentos%20de%20qu%C3%ADmica%20org%C3%A1nica%20y%20aplicaciones%20en%20ciencias%20de%20la%20tierra.pdf?sequence=3>
79. NEIRA L. Y PEREZ E. 2016. Temperatura y calor. Conceptos básicos en los textos de física en la educación media general. revista ARJÉ. Disponible en: <http://arje.bc.uc.edu.ve/arj19/art03.pdf>
80. NUÑEZ M. Y GARCÍA P. 2016. Dialnet. Universidad de Santiago de Compostela. Biocombustibles: Bioetanol y biodiesel. Boletín das ciencias, ISSN 0214-7807, Año 19, N°. 61, 2006, págs. 179-180
81. OCHOA A. Y MAHECHA S. 2018. Evaluación el Proceso de Pirólisis para la Obtención de Combustibles a partir de Llantas Usadas. Departamento de ingeniería. Bogotá D.C. Colombia. Disponible en: <file:///C:/Users/ALEXANDER/Downloads/Proyecto%20de%20Grado-%20Andrea%20Ochoa-%20Derly%20Mahecha.pdf>
82. OKOROIGWE, E. Y SAFFRON, C. (2012-2014). Determination of Bio-Energy Potential of Palm Kernel Shell by Physicochemical Characterization. Nigerian Journal of Technology, 31(3), 329–335. Recuperado de: <http://nijotech.com/index.php/nijotech/article/view/561>
83. PARK, J.; LEE, Y.; RYU, C. Y PARK, Y.K. (2014). Slow Pyrolysis of Rice Straw: Analysis of Products Properties, Carbon and Energy Yields. Bioresource Technology, 155, 63-70. Recuperado de: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.084>.
84. PATRICIA OLGUÍN L. Y RODRÍGUEZ MAGADÁN H. 2014. Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Biotecnología Métodos en Biotecnología Cromatografía De Gases. Universidad nacional autónoma de México. Disponible en: http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/cromatografia_de_gases.pdf
85. Perry R, Green D (2001) Manual Del Ingeniero Químico. Tomo II (6a. Ed.). disponible en: https://www.academia.edu/25306420/Perry_Manual_del_ingeniero_qu%C3%83_mico_Tomo_II_6a_ed_
86. POSOO A. (2014). análisis próximo de una muestra de carbón en la mina "golondrinas". Instituto colombiano de geología y minería, INGEOMINAS. Disponible en: <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/El-carbon-Colombiano-muestreo-analisis.PDF>
87. RASHIDI, N. A., & YUSUP, S. (2017). Potential of palm kernel shell as activated carbon precursors through single stage activation technique for carbon dioxide adsorption. Journal of Cleaner Production, 168, 474-486. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.045
88. RASHIDI, N. A., & YUSUP, S. (2017). Potential of palm kernel shell as activated carbon precursors through single stage activation technique for


carbon dioxide adsorption. *Journal of Cleaner Production*, 168, 474-486. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.045

89. Récord en producción de aceite de palma, sector palmero colombiano cierra 2017 con balance positivo. Fedepalma. Disponible en: <http://web.fedepalma.org/con-record-en-produccion-de-aceite-de-palma-sector-palmero-colombiano-cierra-2017-con-balance-positivo>
90. REY, G. H. (2007, Jul 13). COLOMBIA: La guerra de los biocombustibles. IPS - Inter Press Service
91. RINCÓN SAHRA Y GONZÁLEZ YURI. Bogotá D.C. 2014, pág. 92. Estudio de factibilidad para la fabricación de pellets a partir de material lignocelulósico proveniente de palma de aceite. Universidad libre. Facultad de ingeniería.
92. RIPOLL, A., & FERRER, H. (2013). los biocombustibles: ¿factor de desarrollo o potencializador del conflicto? */bio-fuels: ¿development factor or conflict reinforcement factor? /os biocombustíveis: ¿fator de desenvolvimento ou potencializador do conflito? /biocarburants: ¿facteur de développement ou source des conflits? *Criterio Libre*, 11(19), 126-141. Retrieved from <https://search-proquest-com.sibulgem.unilivre.edu.co/docview/1761133138?accountid=49777>
93. RODRIGUEZ D., REYES O. & CAMARGO G. (2013). Evaluation of the pyrolysis and co-pyrolysis process of palm shell and waste tyres in a co2 atmosphere. Universidad libre. Recuperado de: <https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/18514/EVALUACION%20DEL%20PROCESO%20DE%20PIROLISIS%20Y%20CO-PIROLISIS%20CON%20CUESCO%20DE%20PALMA%20Y%20NEUM%20%81TICOS%20USADOS%20EN%20UNA.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
94. ROMERO J. Y PEREZ A. 2019. Política general en materia de combustibles. Ministerio de minas y energía. Doc. PDF. Disponible en: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/488888/Politica.pdf/dac8566c-33e4-426c-8960-b3bd204abc23>
95. SOGAMOSO M., VANEGAS G. & LARA O. (2018). Viabilidad de la producción de palma de aceite en Villanueva Casanare bajo el enfoque de la sostenibilidad. Universidad Católica de Colombia. Facultad de ciencias económicas y administrativas. Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22538/1/Viabilidad%20de%20la%20produccion%20de%20palma%20Villanueva.pdf>
96. TORRES PÉREZ, C., & QUINTERO LOPEZ, L. (2019). Análisis de residuos sólidos de palma africana, como alternativa de aprovechamiento de energías renovables en el departamento del Cesar. *Ingenierías USBMed*, 10(1), 8-18. <https://doi.org/10.21500/20275846.3662>.
97. ULLAH, K., KUMAR SHARMA, V., DHINGRA, S., BRACCIO, G., AHMAD, M., & SOFIA, S. (2015). Assessing the lignocellulosic biomass resources potential in developing countries: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 682-698. doi: 10.1016/j.rser.2015.06.044

- 98.** United States Department of Agriculture(usda). Palm oil: world supply and distribution. 02 de octubre del 2011, Disponible: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=Table+11%3a+Palm+Oil%3a+World+Supply+and+Distribution+&hidReportR>
- 99.** VAN DAM, J. (2016). Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. Palmas, 37(Especial Tomo II), pp. 149-156. Disponible en: http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/Memorias%20de%20la%20XVIII%20Conferencia%20Internacional%20sobre%20Palma%20de%20aceite/M_2_15_%20Subproductos%20de%20la%20palma.pdf
- 100.** VARNERO, M. M. T. (2011). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Manual de biogás. Chile. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- 101.** WILCHES FLÓREZ, Á. M. (2013). Análisis bioético desde la perspectiva de vr potter a los discursos de Álvaro Uribe Vélez, relacionados con la implementación de la producción de biocombustibles en Colombia. Revista Latinoamericana De Bioética.
- 102.** Y.J RUEDA Y K TANNOUS, Isoconversional kinetic study of the thermal decomposition of sugarcane straw for thermal conversion processes, 2017.
- 103.** YEPES, S., MONTOYA, L. & OROZCO, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en Medellín y el sur del valle del Aburrá Colombia. Facultad nacional de agronomía 61(1), 4422-4431.

11 ANEXOS

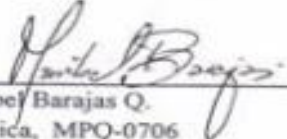
Anexo 1. ANÁLISIS ÚLTIMO BIOMASA DE PALMA DE ACEITE

 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO <small>República de Colombia</small>	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ENSAYOS Y SERVICIOS			GLQ - 661
				11-12-2012
				F-LAB-PES-006 V.2
				pag 1 de 1
LABORATORIO DE CARBONES				
SOLICITANTE		SERVICIO GEOLOGICO/UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA: PROYECTO DE GASIFICACION caforeron@gmail.com, sguerra@ingehominas.gov.co, brodriguez@ingehominas.gov.co		
DIRECCION		Diag 53 No. 34-53		
TELEFONO / FAX		2200252/541		
TIPO DE MUESTRA		Vegetales y polimero		
PROCEDENCIA		No indicada		
SOLICITUD No.		171-I de 07-03-2012		

ID MUESTRA	41576-I	41577-I	41578-I	
REFERENCIA DEL CLIENTE	Almidón de yuca (18/11/2012)	Polimero (18/11/2012)	Palma AF (18/11/2012)	NORMA ASTM
Resultados en base como se recibe:				
Humedad (105°C), % masa	13,28	16,99	8,17	D-3173-03(08)
Azufre, % masa	0,04	2,87	0,20	D-4239-08
Poder calorífico, Btu/lb	6407	7620	7385	D-5865-04
Poder calorífico, J/g	14896	17717	17170	D-5865-04
Carbono, % masa	38,11	34,63	45,21	D - 5373-08
Hidrógeno, % masa	6,89	8,29	6,37	D - 5373-08
Nitrógeno, % masa	0,07	10,90	1,14	D - 5373-08

Notas

- Los resultados del presente informe corresponden exclusivamente a las muestras recibidas y no a otros materiales de la misma procedencia.
- El Laboratorio no se hace responsable de las posibles interpretaciones surgidas por la reproducción parcial del informe.



 Maribel Barajas Q.
 Química, MPQ-0706

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO
 Diagonal 53 No 34 - 53, Bogotá, D. C. Teléfonos 220 02 52 - 220 02 56
 www.ingehominas.gov.co