 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN TERMOGRAVIMÉTRICA DE RESIDUOS CON POTENCIAL ENERGÉTICO

Esteban Osorio Ospina, C.C. 1128400764
Jhefferson Torres Arismendy, C.C. 1039456266

Ingeniería Electromecánica

Pedro Nel Alvarado Torres

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

03-08-2016

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Resumen

El objetivo de esta tesis es recolectar y caracterizar diversos tipos de biomásas residuales para explorar su potencial energético. Se inicia el presente trabajo cuestionando que biomásas son desechadas constantemente en nuestro medio para proceder a su recolección y análisis. Las biomásas escogidas para su análisis son: pulpa de café, cisco de café, llantas usadas y residuos de poda. Como comparación con un combustible fósil sólido, se realizó el análisis de una muestra de carbón obtenido de la mina Amagá, Antioquia. Cada una de las biomásas estuvo sometida a un riguroso proceso de recolección y secado para posteriormente ser sometidas al método de cuarteo hasta obtener el tamaño de muestra requerido para su análisis. Se recogió aproximadamente 200 kg de pulpa de café en una finca ubicada en Jericó Antioquia, 60 kg de residuo de café en las cafeterías del ITM sede fraternidad y parque I, la muestra de llanta se recogió en un monta llantas en la ciudad de Medellín, el residuo de poda se recogió luego de pasar la jornada de mantenimiento en las zonas verdes del ITM sede fraternidad. Luego de realizarse este proceso las muestras fueron sometidas a un análisis termo gravimétrico (TGA) obteniendo una serie de resultados como lo es la cantidad de humedad de humedad del residuo, la cantidad de material volátil, la cantidad de carbono fijo y las cenizas

Palabras clave: Recolección de residuos, caracterización, pulverización, potencial energético, análisis termo gravimétrico, carbono fijo, material volátil.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

En este espacio queremos agradecer principalmente a una persona que fue fundamental en el desarrollo de este trabajo y es nuestro compañero de estudio LUIS FERNANDO ZAPATA quien sin aparecer en la portada hace parte de él, también un agradecimiento especial a todas esas personas que con su buena voluntad nos ayudaron en la recolección de las muestras; Además a nuestras familias por su tolerancia y apoyo incondicional en este proceso.

Y un especial agradecimiento a nuestro director de trabajo de grado, el profesor PEDRO NEL ALVARADO TORRES quien nos dio la confianza y la oportunidad de desarrollar esta investigación a su lado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

TGA: análisis termo gravimétrico

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	9
3. METODOLOGÍA	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	43
REFERENCIAS	44

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

La expresión residuos sólidos incluye a los residuos sólidos generados en las viviendas, en los procesos de limpieza de los espacios públicos, en la actividad industrial, en la construcción y demolición de infraestructura de edificaciones públicas o privadas y en la carga y descarga de materiales. Igualmente, pueden incluirse aquellos residuos sólidos generados en pequeñas factorías industriales (artesanales), los lodos generados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales o industriales, la chatarra de maquinaria y los residuos de hospitales, entre otros. Por tanto, son todos aquellos residuos que por sus características físicas o su acondicionamiento deban manejarse en forma independiente de los residuos líquidos y de los residuos liberados a la atmósfera. (Ministerio de Medio Ambiente de Colombia, 1999)

Los problemas del manejo de los residuos sólidos no sólo afectan la salud humana sino que, también, están relacionados con la generación de contaminación atmosférica, la contaminación del suelo y la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

La composición física de los residuos sólidos urbanos en nuestro país está constituida en más del 50% por residuos orgánicos; es por esto que con el aprovechamiento de los mismos se disminuirá en gran medida la presión sobre el medio ambiente como soporte de actividades antrópicas; se reincorporarán los nutrientes al ciclo de fertilización del suelo y se frenará el uso de agroquímicos. (Jaramillo Henao & Zapata Márquez , 2008)

Es allí donde el Manejo Integral de Residuos no solo implica la adopción de todas las medidas en las actividades de prevención, minimización, separación en la fuente, almacenamiento, transporte, aprovechamiento, valorización, tratamiento y disposición final de residuos sólidos peligrosos y no peligrosos que se realizan de manera individual o interrelacionadas y en condiciones que propendan por el cuidado de la salud humana y el ambiente. Sino también el Manejo Integral de Residuos implica la planeación y cobertura de las actividades relacionadas con los residuos, desde la generación hasta la disposición final, incluyendo los aspectos de segregación, movimiento interno, almacenamiento, desactivación, recolección, transporte y tratamiento, con lo cual se pretende evitar y minimizar la generación de residuos e incrementar el aprovechamiento de éstos, de tal suerte que cada vez sea menor la cantidad de residuos a disponer. (Ministerio de Medio Ambiente y de Desarrollo Económico, 2002)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La composición de los residuos es un elemento fundamental para la selección de la mejor tecnología para la conversión de residuos en energía. Es por ello que existen diferentes normas a nivel internacional para realizar un correcto estudio de los residuos a tratar. En la siguiente Tabla se describe algunas de éstas normas:

Tabla 1. Normas internacionales para el estudio de muestras de MSW.

NORMA	DESCRIPCIÓN
ASTM D 5231-9 2(2003)	Metodología para la medición de la composición de MSW mediante una clasificación manual de los residuos.
ASTM E790/830/897	Determinación porcentual los contenidos de humedad, cenizas, volátiles y carbono fijo de los residuos.
ASTM E777/778	Método para la determinación porcentual del contenido de carbono (C), hidrógeno (H) y nitrógeno (N).
ASTM E955	Determinación del poder calorífico superior de una muestra de MSW.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales mediante el uso de tratamientos térmicos de avanzada

Existen tres grandes alternativas a nivel mundial, con aprovechamiento energético, las cuales son: la incineración, la gasificación y la pirolisis. Las tres tecnologías son tratamientos térmicos, aunque presentan variaciones en sus condiciones de operación y también en los productos finales por obtener. La incineración ha sido la más utilizada internacionalmente. Los procesos de gasificación y pirolisis a gran escala con residuos sólidos aún están siendo desarrollados en los países industrializados. (Steinvorth Álvarez, 2014)

El proceso de incineración o combustión se define como la descomposición térmica de biomasa, o residuos sólidos municipales en este caso, a altas temperaturas (mayores a 850°C) y en presencia de oxígeno. En la incineración se utiliza oxígeno en exceso para conseguir una combustión completa de los residuos. El fin de la incineración es la reducción de volumen de los sólidos con su consecuente aprovechamiento para la producción de electricidad, vapor o calefacción. Posterior a la incineración los efluentes, emisiones atmosféricas y cenizas, deben ser tratados adecuadamente antes de su disposición final. (Steinvorth Álvarez, 2014)

La gasificación consiste en la descomposición térmica de residuos con una cantidad de oxígeno insuficiente, lo cual provoca una combustión incompleta. Se busca obtener un gas de síntesis (que contiene CO, H₂, CH₄, CO₂, entre otros) que puede utilizarse tanto para producción de electricidad, con fines térmicos o para producir biocombustibles líquidos y químicos. El gas debe ser tratado para eliminar compuestos que puedan dañar el equipo utilizado. El subproducto sólido resultante, un tipo de alquitrán, puede aprovecharse para otros fines como construcción de carreteras. Por último la pirolisis descompone térmicamente los residuos en ausencia total o casi total de oxígeno. Las condiciones de operación varían de acuerdo con los productos que se desee obtener. Entre estos se encuentran gas de síntesis, productos líquidos (aceites de pirolisis y ácidos piroleñosos) y un sólido carbonoso que puede ser convertido en carbón vegetal o carbón activado. Ocurre a temperaturas entre 200- 1100°C. A continuación se presenta un cuadro con ventajas y desventajas que tiene la aplicación de este tipo

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de tecnologías para la gestión integral de los residuos sólidos. (Barradas Rebolledo, 2009)

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los tratamientos térmicos de avanzada.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Incineración	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de volumen. • Emisiones controladas. • Aprovechamiento de calor para generación de electricidad y otras. • Alternativa a rellenos sanitarios cuando no hay espacios. • Relativamente silenciosos e inodoros (siempre y cuando se tomen medidas previstas). 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta inversión inicial. • Costos elevados para evitar contaminación por emisiones. • Dificultad de operación (necesidad de mano de obra especializada). • Posible generación de productos sumamente nocivos para la salud (dioxinas, furanos, metales pesados). • Problemas con las comunidades cercanas al incinerador. • Posible conflicto con programas destinados a la reducción de generación de residuos. • Requieren de más energía si se tratan residuos con altos porcentajes de humedad.
Pirólisis	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento de sub productos en otros procesos. • Permite generar productos de acuerdo a las condiciones de operación. • Se evita la formación de compuestos nitrogenados, halogenados y azufrados peligrosos (sección previa de materiales que se integran al proceso). • Facilidad de manejo de los productos finales (excepto los líquidos por su alto poder corrosivo y su viscosidad). 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de inversión inicial. • Cuidado en la operación para no obtener productos no deseados. • Aun no se cuenta con instalaciones de grande escala. • Los recursos más deseados son separados para fines de reciclaje. • Requieren de más energía si se tratan residuos con altos porcentajes de humedad.
Gasificación	<ul style="list-style-type: none"> • Obtención de un gas de síntesis con varios usos (producción de electricidad, uso como combustible, producción de una amplia gama de químicos). • Facilidad de manejo de los productos obtenidos. • Se evita la formación de compuestos nitrogenados, halogenados y azufrados peligrosos (sección previa de materiales que se integran al proceso). 	<ul style="list-style-type: none"> • Complejidad de operación. • Experiencias a gran escala limitadas. • Utilización de recursos que preferiblemente son destinados al reciclaje • Requieren de más energía si se tratan residuos con altos porcentajes de humedad

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el presente trabajo, se analizarán 4 tipos de biomásas para determinar sus características termogravimétricas. Basados en sus propiedades será posible evaluar que tipo de tecnología es la más adecuada para el tratamiento de estas. Las biomásas son: borra y pulpa de café, residuo de llantas y residuo de poda.

Residuos del café.

En la agroindustria del café solamente se utiliza el 9,5 por ciento del peso total del fruto en la preparación de bebidas y el 90.5% son subproductos vertidos a los cuerpos de aguas contaminándolas y disminuyendo la posibilidad de vida de los ecosistemas, o se realiza un almacenamiento en la época de recolección y luego son retirados de estas instalaciones entrando a contaminar el suelo; se calcula que aproximadamente son vertidos a campo abierto dos millones de toneladas de pulpa y 420.000 toneladas de mucilagos que bien podrían incrementar la cadena de valor en los sistemas productivos y no seguir contaminando el medio ambiente. Se ha tratado de adoptar métodos de utilización como materia prima en la producción de concentrados para las industrias porcícolas y ganaderas, en preparación de bebidas, vinagre, biogás, cafeína, pectinas, enzimas pépticas, proteínas y abonos. (Suarez Agudelo, 2012)

Tratamiento de los residuos de café: Los tratamientos empleados para los residuos del café se describen a continuación:

- **Lagunas de oxidación** Las lagunas de oxidación utilizan microorganismos aerobios para la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Como ventajas se tienen la facilidad de operación y mantenimiento, los bajos costos de operación ya que no requieren energía y su baja producción de lodos. Como desventajas pueden citarse que requieren de grandes áreas para el tratamiento y que se pueden generar procesos de eutrofización.
- **Sistemas modulares de tratamientos anaeróbico:** Es conocido como digestión anaeróbica, es un proceso biológico acelerado artificialmente, que tiene lugar en condiciones muy pobres de oxígeno o en su ausencia total, sobre substratos orgánicos. Como resultado se obtiene una mezcla de gases formada por un 99% de metano y dióxido de carbono y un 1% de amoníaco y ácido sulfhídrico. El gas combustible, metano, permite obtener energía para los pequeños, medianos y grandes productores este sistema colapsaría en la época de pico de cosecha. (Suarez Agudelo, 2012)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 3. Residuos obtenidos en el proceso industrial del café (1kg).

Proceso	Residuo obtenido	perdida en gr
Despulpado	pulpa fresca	436
Desmucilaginado	Mucilago	149
secado	agua	171
Trilla	Pergamino Película plateada	42
Torrefacción	Volátiles	22
Preparación de bebida	Borra	104
Pérdida total	residuos	924

Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café:

La pulpa: La pulpa del café es un material de desecho que procede de la industria del café. En las publicaciones citadas se llega a la conclusión de que la pulpa del café puede reemplazar hasta un 20% de los concentrados comerciales en la alimentación del ganado lechero, sin efectos perjudiciales y con un ahorro del 30%. Los resultados generales de los estudios de alimentación realizados con cerdos indicaron que el grano de cereales puede ser sustituido por pulpa deshidratada de café en hasta un 16% de la ración total, sin ningún efecto perjudicial con respecto al aumento de peso o a la conversión del pienso. Eso significa que al final del período establecido, cada cerdo criado ha dejado cerca de 50 kg de grano de cereales disponible para consumo humano u otros usos alternativos. Además de hacerse con cerdos, los experimentos de alimentación con pulpa de café se hicieron con peces, pollos, corderos y conejos. En esos experimentos de alimentación se determinó el aumento diario del peso corporal y se midieron la toma diaria de materia seca y la eficiencia de conversión de la alimentación. En los cerdos alimentados con raciones que contenían hasta un 15% de pulpa de café ensilada con un 5% de melaza se observó un aumento de peso igual o mejor que en los alimentados con concentrados comerciales. El ensilaje de la pulpa de café es una alternativa válida a la de manipular y almacenar las enormes cantidades de pulpa de café que se producen en las fábricas de todo el mundo que procesan el fruto del café. La inclusión de ensilaje de pulpa de café en el régimen alimenticio de algunos animales de granja podría contribuir a reducir los costos de producción de leche y carne, especialmente en los países en desarrollo. (Rathinavelu & Graziosi , 2005)

Cáscara de café como combustible: La cáscara del café es prácticamente pura lignocelulosa y no tiene ningún valor como fertilizante. Se quema habitualmente en hornos toscos para secar el café en pergamino. Si la mayor parte del pergamino

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

se seca parcialmente al sol por motivos de calidad, es aún posible tener un excedente de combustible después de una operación de acabado del secado incluso con los toscos secadores de aire caliente de un paso de hoy en día. Puede quemarse la cáscara en un generador de gas pobre y después accionar un motor sobre ese gas pobre para producir electricidad. Al igual que con el biogás, el calor residual procedente del generador de gas y del motor puede usarse para calentar una corriente de aire limpio, y eso puede todavía usarse para secar aún más café. (Rathinavelu & Graziosi , 2005)

Las llantas.

Las llantas son piezas constitutivas de todos vehículos, conformadas por caucho, fibras textiles y acero. (Cardona Gómez & Sanchez Montoya, 2011). Según la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, las llantas tienen dentro de sus principales funciones:

- Proveer tracción
- Asegurar el frenado seguro del vehículo.
- Cargar el peso total del vehículo
- Absorben los impactos del camino (sobresaltos, huecos, etc.)
- Representan el paso final en la conversión de la energía del combustible en movimiento del vehículo.

Aprovechamiento de llantas y neumáticos

En la corriente de residuos sólidos municipales existen ciertos materiales que aunque presentes en cantidades muy pequeñas, en comparación con el conjunto formado por el material orgánico, papel, vidrio plástico y metal, necesitan una atención especial, debido a los problemas de salud y de impacto ambiental que estos puedan causar. (CEMPRE, 1998)

Dentro de estos materiales se pueden encontrar llantas y neumáticos, baterías y pilas, lámparas fluorescentes y residuos contenidos en envases de materiales de limpieza, entre otros. Específicamente, las llantas tienen impactos ambientales como son contaminación de ríos y lagos, ocupación de grandes espacios en los rellenos sanitarios debido a su forma y composición que no permite que sean fácilmente compactados o amontonamiento en terrenos baldíos favoreciendo la proliferación de insectos e incendios (CEMPRE, 1998). En la Tabla 3 se muestra el volumen de generación de residuos en Colombia, donde se observa que se obtienen un total de 25.079 ton/día de las cuales sólo se aprovechan 615 ton/día;

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

lo anterior sugiere que es una biomasa que tendría un gran potencial técnico de ser utilizada para la generación de energía u otros fines.

Tabla 4. Volumen de generación de residuos en Colombia

TIPO DE DISPOSICIÓN	TON/DIA	%	MUNICIPIOS
Relleno Sanitario	22.204	88,5	653
Botadero a cielo abierto	2.185	8,7	297
Planta de Aprovechamiento	615	2,4	98
Enterramiento	75	0,3	19
A fuentes de agua		<0,1	10
Quema a cielo abierto		<0,1	11
TOTAL	25.079	100	1.088

Las llantas presentan una estructura compleja, y está formado por diversos materiales principalmente de caucho, textiles, pigmentos y antioxidantes y rellenos, que le confieren las características necesarias a su función y seguridad. (Cámara de comercio de Bogotá, 2006)

En cuanto al aprovechamiento de llantas, existen actualmente diferentes alternativas utilizando diferentes procesos de transformación que permitan fabricar productos similares o totalmente diferentes, tomando como materia prima las llantas usadas dentro de los cuales se tiene:

Reutilización:

Existen múltiples ejemplos para la utilización de neumáticos totalmente enteros o sus partes y bandas de rodamiento como lo son en los parques infantiles, como defensa de muelles o embarcaciones y rompeolas, como barreras anti-ruídos, taludes de carreteras, estabilización de zonas anegadas, pistas de carreras, control de la erosión o en la utilización agrícola para retener agua. (Castro, 2007) Así mismo, los neumáticos se pueden reusar utilizando el mismo armazón por lo menos dos veces, raspando la banda de rodamiento vieja y desgastada y sobre la armazón se coloca una banda nueva (recauchutaje múltiple) (CEMPRE, 1998).

Aprovechamiento:

Trituración: Consiste en reducir el tamaño de las llantas con el fin de separar el caucho de los otros elementos como el acero y los textiles. Después de realizado este proceso el caucho obtenido se puede utilizar en la fabricación de nuevos productos y diversas aplicaciones civiles (mezclado con asfalto para vías) e industriales, como lo son canchas de tenis sintéticas, tapetes entre otros (Cámara de Comercio de Bogotá, 2006).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 1. Aprovechamiento de neumáticos como adición al pavimento

La trituración con sistemas **mecánicos** es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y reutilización de los residuos neumáticos, los productos resultante son de alta calidad limpios de toda impureza, lo cual facilita la utilización de estos materiales en los nuevos procesos y aplicaciones; algunos fabricantes de neumáticos indican que el uso de un 10% de GTR (Caucho de ruedas Granulado) como relleno en los neumáticos no altera sus presentaciones y calidad (Castro, 2007).

Existe una segunda tecnología de triturado que es la **Criogénica**; la cual consiste en congelar con nitrógeno líquido llantas enteras, las cuales son golpeadas para obtener el caucho en forma de polvo, con liberación de nitrógeno gaseoso. Esta tecnología requiere instalaciones con alto costo de inversión y mantenimiento y maquinaria altamente especializada, adicionalmente el producto final es una mezcla de caucho y acero (Cámara de Comercio de Bogotá, 2006).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Uso en asfalto modificado

Actualmente uno de los mayores usos que se le está dando a los neumáticos triturados provenientes del procesos mecánicos o criogénicos es su adición al pavimento asfáltico tradicional, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras, se duplica la vida útil de las vías debido a que el caucho le confiere al pavimento mayores propiedades de elasticidad ante las variaciones de temperatura y reducir el ruido producido por los vehículos que transitan por las vías (CEMPRE, 1998).

La incorporación de caucho granulado en el pavimento de las vías se puede realizar de dos maneras diferentes:

Proceso Seco: En el cual el caucho granulado o pulverizado se mezcla con los áridos antes de la adición del asfalto.

Proceso Húmedo: El caucho granulado o pulverizado se añade al asfalto. Esta mezcla realizada se traslada a lugar de la obra para ser mezclada con los áridos.

Termólisis: Sistema en el que se somete a los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en ausencia de oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tiene el efecto de destruir los enlaces químicos. Y de esta forma se obtiene los compuestos originales del neumático, por lo que es el método que consigue la recuperación total de los componentes del neumático. Obteniendo metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, bien sea en la producción de neumáticos u a otras actividades (Castro, 2007).

Aprovechamiento energético: Los residuos de neumáticos una vez preparados, se pueden convertir en energía eléctrica utilizable en la propia planta de reciclaje o conducir a otras instalaciones distribuidoras. Los residuos son introducidos en una caldera donde se realiza la combustión. El calor liberado provoca que el agua existente en la caldera se convierta en vapor de alta temperatura y alta presión que es conducido hasta una turbina. Al expandirse se mueve la turbina y el generador acoplado a ella produce la electricidad, que se tendrá que transformar posteriormente para su uso directo (Castro, 2007).

Por otra parte, el poder calorífico de fragmento de neumático equivale a la del aceite combustible y gira por los 40MJ/Kg (CEMPRE, 1998). El cual es utilizado en el co-procesamiento de neumáticos, básicamente consiste en utilizar en los hornos cementeros el poder calorífico de los neumáticos para producir energía y en la incorporación del acero en el Clinker obtenido. (Cámara de Comercio de Bogotá, 2006). (Olmos Clavijo, 2011)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La poda.

Las poblaciones medianas o grandes cuentan con un número cada vez más importante de superficie verde y/o arbolada; en jardines, parques, calles, avenidas, plazas, etc. se plantan habitualmente arbustos y árboles que, en cada caso, se adaptan a las condiciones del entorno, tanto climatológicas como ornamentales, para cualquiera de estos casos, los servicios de mantenimiento deben contemplar las campañas de poda, con el objetivo de mantener adecuadamente estos espacios. (Ambientum, 2003)

Durante estas campañas se generan una gran cantidad de residuos de poda caracterizados por ocupar un gran volumen con un peso relativamente bajo, compuesto por ramas de diverso calibre, leñosas y verdes, con un gran número de hojas.

Los residuos de poda, debido a su propia naturaleza requieren de una serie de pre tratamientos o transformaciones para ser objeto de un aprovechamiento energético eficiente. Las características intrínsecas y extrínsecas que aparecen en la biomasa forestal son:

- Gran tamaño de las piezas (granulometría).
- Heterogeneidad y poca uniformidad.
- Elevado contenido en humedad.
- Reducida densidad.
- Gran dispersión de los residuos.
- Dificultad de transporte y manipulación.
- Presencia de residuos no aprovechables como arena, piedras, metales, etc.

Los tamaños de las ramas y de los tallos pueden originar algunos problemas en equipos de tratamiento y manejo, tales como el taponamiento en los equipos de trituración y/o pulverización, el transporte y la manipulación puede ser un tema algo complejo, también la fermentación de la biomasa amontonada puede ir perdiendo parte de su poder calorífico, e incrementa la humedad. Estas características son las que dificultan o incluso impiden, a veces, su aprovechamiento como combustibles. Al margen de su poder calorífico, es conveniente que los combustibles biomásicos tengan las siguientes propiedades:

- Homogeneidad y uniformidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Aumento de su densidad natural mediante compactación.
- Humedad relativa baja.
- Limpieza. Deben estar exentos de contaminantes.
- Facilidad de manejo y almacenaje.
- Economía de transporte.

El manejo tradicional de los restos de poda ha sido la quema, lo cual es totalmente rechazable bajo el punto de vista energético debido a las emisiones de contaminantes. Posteriormente, se comenzó a practicar la incorporación al suelo de estos restos una vez triturados y astillados por la correspondiente maquinaria trituradora. Sin embargo, la situación más eficiente consiste en utilizar los restos de poda para la producción de electricidad o como uso térmico en calderas.

Aplicaciones

La tecnología más desarrollada para la generación de electricidad a partir de residuos de poda está basada en instalaciones de combustión en pequeños sistemas de gasificación acoplados a motogeneradores. Las plantas de combustión directa se basan en sistemas convencionales como lo es el ciclo Rankine, empleado por el sector térmico y que son utilizados en las actuales plantas comerciales de biomasa. Estos ciclos se desarrollan en una caldera donde se genera vapor que alimenta a una turbina acoplada a su vez por un alternador. El calor residual de la turbina puede utilizarse para redes de calefacción centralizada o en industrias próximas a la central en un ciclo de cogeneración. Este tipo de tecnología puede ser utilizada para el aprovechamiento energético de un grupo de biocombustibles muy amplio. Los combustibles empleados pueden ser podas y ramajes entre otros, siempre con unas condiciones de humedad adecuadas para que sea posible su combustión en caldera. (Agencia Extremeña de la Energía, 2013)

Anteriormente, se describieron diversas biomásas con potencial energético. En la ciudad de Medellín hay pocos estudios donde se elaboren protocolos para su recolección y análisis. Por consiguiente se plantean los siguientes objetivos de investigación:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL:

Recolectar y caracterizar diferentes tipos de biomásas de tipo residual para explorar su potencial energético.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Realizar protocolos de recolección de muestras de biomasa.
2. Realizar análisis térmicos de las biomásas residuales y comparar sus propiedades.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Materiales.

- Para realizar la recolección de residuos sólidos urbanos y posteriormente hacer su respectiva caracterización y estudio de los mismos, se requieren los siguientes elementos.

- ✓ Costales
- ✓ Pala
- ✓ Plásticos grandes
- ✓ Regleta
- ✓ Bolsas para el almacenamiento
- ✓ Botas si lo es necesario
- ✓ Pulverizador
- ✓ Recipiente cerámico
- ✓ Gramera digital

Implementos de seguridad

- ✓ Guantes
 - ✓ Tapabocas
 - ✓ Gafas
 - ✓ Bata de laboratorio
- Tipos de Residuos sólidos a estudiar.
 - ✓ Residuos de llantas
 - ✓ Residuos forestales identificados en algún sector
 - ✓ Residuos cultivos herbarios y leñosos
 - ✓ Carbón
 - ✓ Borra o residuos de café
 - ✓ Pulpa de café

Nota: los protocolos de recolección de muestras se describen en la sección de resultados.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Análisis

- Descripción del TGA:

La técnica de Análisis Termogravimétrico, (del acrónimo inglés TGA, Thermal Gravimetric Analysis), mide la cantidad y rapidez del cambio en peso de una muestra en función de la temperatura y/o del tiempo en una atmósfera controlada. De manera general, permite realizar medidas para determinar la composición de los materiales y predecir su estabilidad a temperaturas de hasta 1 500 °C. Esta técnica puede, por tanto, caracterizar materiales que presentan pérdida o ganancia de peso debido a la descomposición, oxidación o deshidratación.

Análisis por TGA:

- ✓ Estabilidad térmica de materiales.
- ✓ Composición de un sistema multicomponente.
- ✓ Estudio de vida media de diversos productos.
- ✓ Estudio de descomposición cinética.
- ✓ Efecto de atmósferas reactivas y/o corrosivas en distintos materiales (estabilidad frente a oxidación, etc).
- ✓ Contenido de humedad y/o volátiles.
- ✓ Estudios de adsorción/desorción

El programa de temperatura utilizado en el análisis termogravimétrico se describe en la siguiente tabla:

Tabla 5. Programa de temperatura en el analizador termogravimétrico

Pasos	Descripción de segmento
1	Equilibre a 30°C
2	Rampa de 20°C/min a 120°C
3	Isoterma por 10 min
4	Rampa de 20°C/min a 900°C
5	Isoterma por 5 min
6	selección de gas 2
7	Isoterma por 20 min

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pulpa de café

Se recogieron residuos de pulpa en una finca ubicada en Jericó Antioquia.



Figura 2. Almacenamiento de muestra

Para realizar el muestreo, se tomaron varios sacos de pulpa de café que suman un total de 200 kg aproximadamente de los cuales saldrá la muestra a caracterizar. Después de vaciar su contenido sobre una superficie plana, limpia cubierta con un plástico, se procedió a homogenizar el total de la muestra para realizar el cuarteo.

Homogenización de la muestra total.

Con el fin de transportar la menor cantidad de muestra representativa posible; se decidió realizar el cuarteo en Sitio hasta obtener una muestra de 500g, luego de dicho procedimiento se le realiza un nuevo cuarteo en el laboratorio de termodinámica, para así sacar la muestra final que aproximadamente fueron 10 gramos los cuales se pulverizaron y posterior mente se analizaron en el TGA. A continuación se describe dicho proceso.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Primer cuarteo.

Selección aleatoria de partes a homogenizar

Figura 3. Cuarteo de pulpa de café

Se cuartean los 500g resultantes del cuarteo en sitio y se escogen las partes D y B de manera aleatoria para reducirla así a unos 250g aproximadamente.

Se homogenizan las partes D y B para hacer un nuevo cuarteo.



Nueva pila D+B.

Comienzo de segundo cuarteo.

Figura 4. Cuarteo 2 a pulpa de café

Después de realizar 4 cuarteos sucesivos por medio del procedimiento mencionado anteriormente, se obtuvo una muestra de 15g la cual se vuelve a cuartear para así seleccionar $\frac{1}{4}$ de dicha muestra, la cual se vierte en una batea de porcelana para ser pulverizada.



Cuarteo final

selección aleatorio de $\frac{1}{4}$ de muestra

tamaño Muestra a pulverizar

Figura 5. Cuarteo final

Luego de tener el tamaño de muestra indicado en la batea de porcelana, se procede con la pulverización y toma de muestra para ponerla en estudio en el TGA, como se muestra en las siguientes imágenes.



Figura 6. Pulverización de muestra

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Luego de tener la muestra pulverizada se pesa y se toma una cantidad de 0.020175 gramos los cuales son sometidos a estudio con el TGA. Se toman dos muestras, una con la muestra totalmente el polvo y la otra se deja con partículas más grandes.



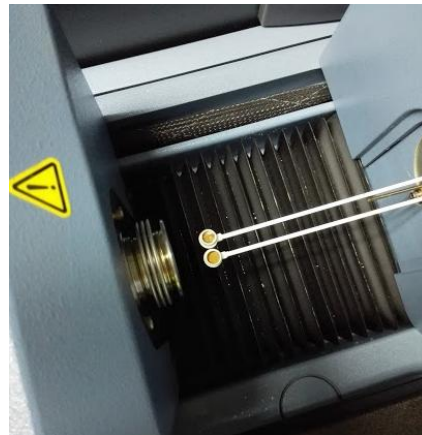
Toma de muestra



Peso total de muestra a estudiar.



Muestra Final



Muestras listas para iniciar el Análisis.

Figura 7. Pesado e introducción de la muestra en el equipo

Resultado del análisis termo gravimétrico

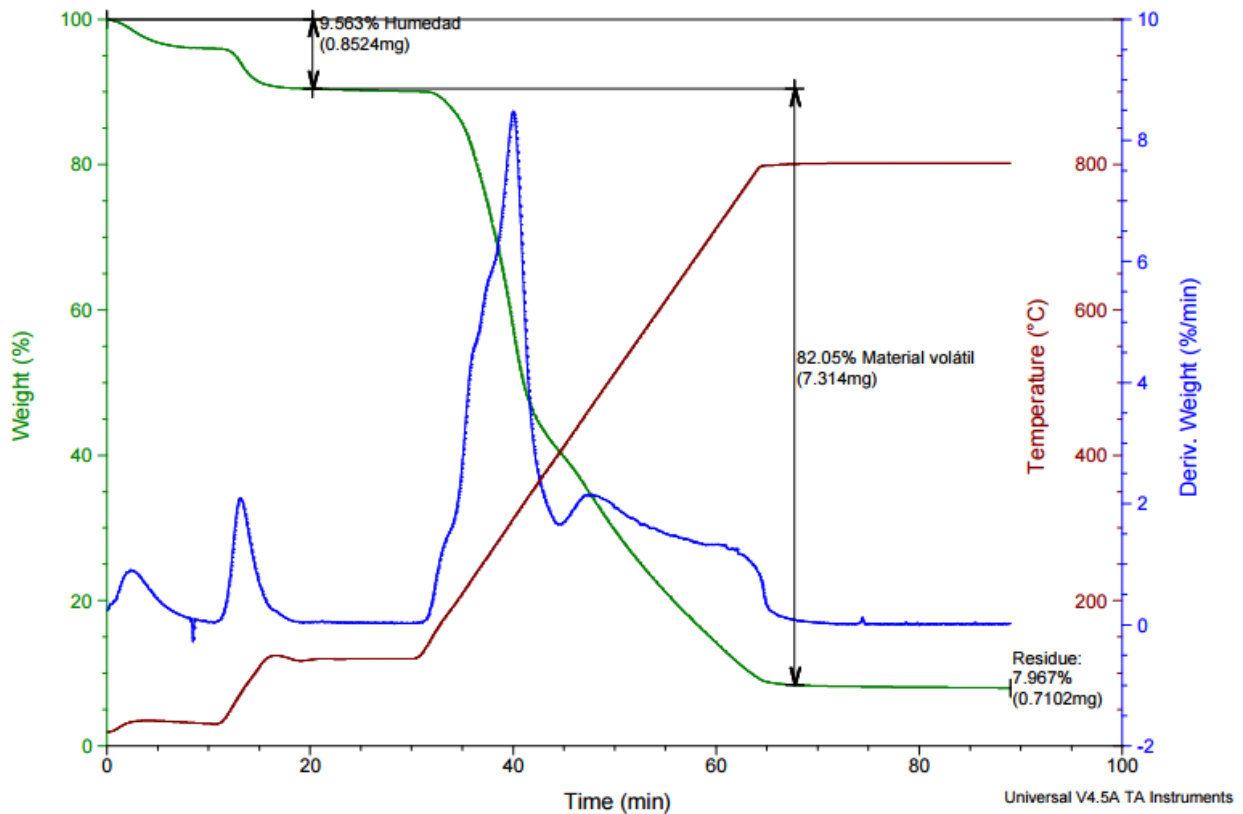


Figura 8. Resultado obtenido mediante el TGA para el residuo de pulpa de café.

La pulpa de café presenta un contenido de humedad de 9.53%, un contenido de material volátil de 82.05% y no presenta carbono fijo lo que puede indicar que este se descompuso en material volátil. Finalmente presenta un residuo de 7.97%.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Residuo de café

Los residuos de café se recogen de las grecas de las cafeteras y adicionalmente en 3 cafeterías de la institución universitaria ITM sede fraternidad, parque I; durante los 5 días hábiles de la semana. Se recogieron aproximadamente 60 kg de residuo de café húmedo, éste tamaño de muestra se vacía sobre una superficie plana, limpia cubierta con un plástico, se pone a secar al sol durante tres días en campo abierto entre unas temperaturas aproximadas de 24°C a 30°C, como se muestra a continuación.



Figura 9. Tamaño de muestra inicial 60 kg

Proceso de secado.



Comienzo de secado



temperatura medida durante el secado

Figura 10. Proceso de secado

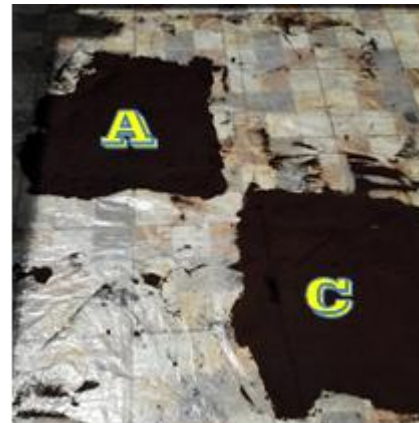


Figura 11. Residuo de Café seco

Con el fin de transportar la menor cantidad de muestra representativa posible al laboratorio donde se analiza, se cuarteo en Sitio hasta obtener un tamaño de muestra de 2kg, como se muestra a continuación.



Primer cuarteo



Partes seleccionadas aleatoriamente

Figura 12. Proceso de cuarteo

Se homogenizan las partes A y C, para proceder a cuartear nuevamente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

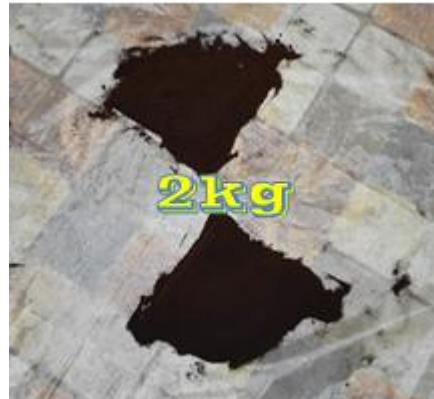


Figura 13. Nueva pila A+C

Después de realizar 4 cuarteos sucesivos por medio del procedimiento mencionado anteriormente, se obtuvo una muestra de 2kg la cual se almacena en una bolsa plástica limpia, esta muestra es expuesta nuevamente al sol para obtener un mejor secado.



Cuarteo final



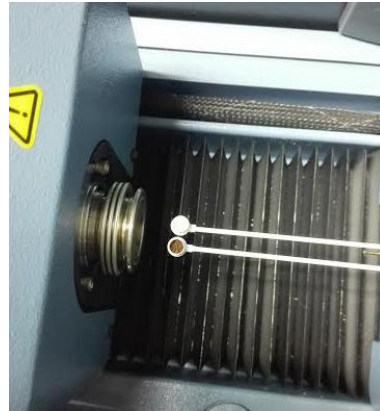
Tamaño de muestra obtenido

Figura 14. Cuarteo final

De este tamaño de muestra se saca aleatoriamente una cantidad aproximada de 200g la cual es sometida a una temperatura de 80°C en una mufla durante tres horas, este proceso se realiza antes de sacar la muestra final para el analizar en el TGA.



Tamaño de muestra sometido a 80°C



Muestra lista para iniciar análisis

Figura 15. Introducción de la muestra al equipo termogravimétrico.

Resultado del equipo TGA

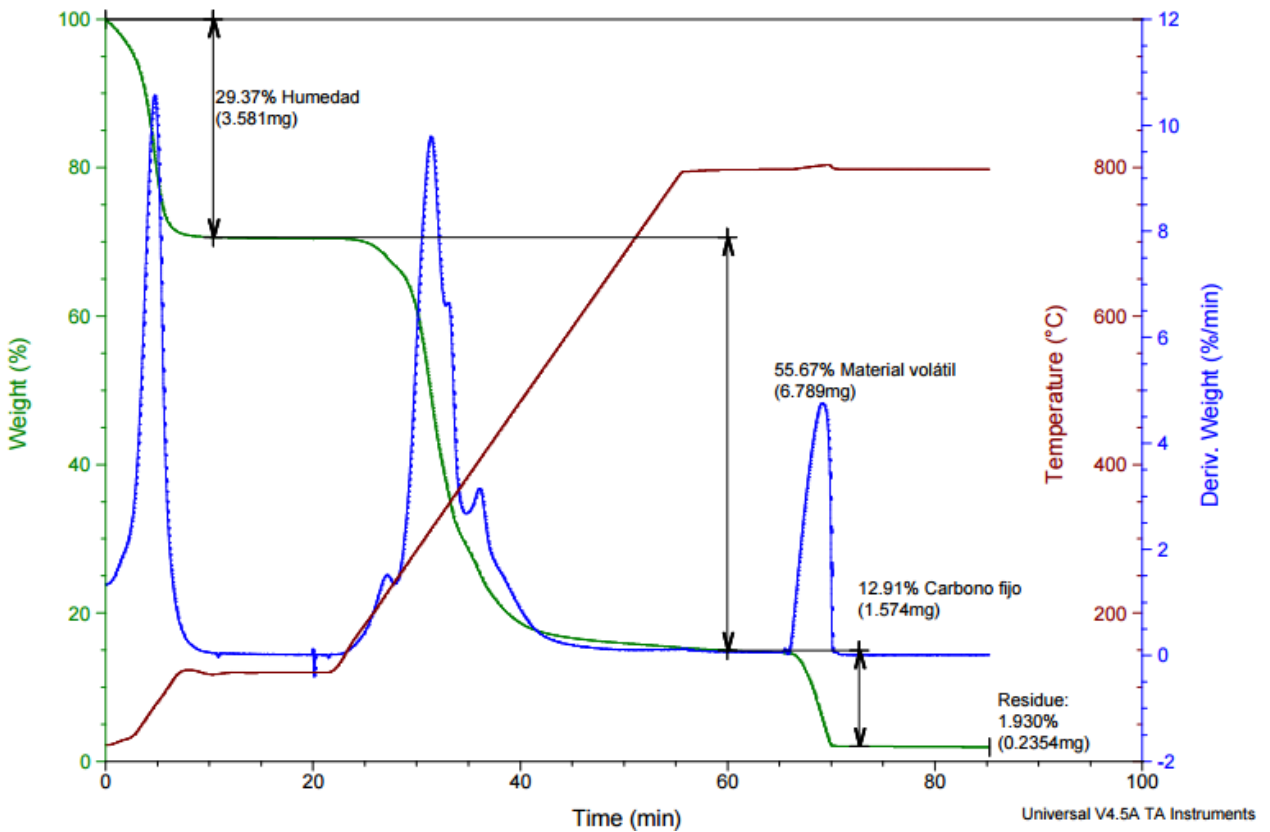


Figura 16. Resultado obtenido mediante el TGA para el residuo de café seco.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A pesar de someter la muestra a procesos de secado la borra de café presenta un contenido de humedad de 29.37%, lo cual indica que la misma se puede rehidratar con facilidad. El contenido de material volátil de 55.67% y de carbono fijo de 12.91%. Finalmente presenta un bajo porcentaje de residuos igual a 1.93%

Residuo de poda

Luego de realizarse la jornada de poda o de mantenimiento en zonas verdes, como lo es habitual en la institución Universitaria ITM sede Fraternidad y parque I, Se recogieron aproximadamente 11 bolsas llenas con residuos de poda húmeda que entre todas sumaban alrededor de 50 kg.



Figura 17. Recolección de muestra en ITM sede Fraternidad

Éste tamaño de muestra se vacía sobre una superficie plana, limpia cubierta con un plástico, se pone a secar al sol durante quince días en campo abierto entre unas temperaturas aproximadas de 22°C a 28°C, como se muestra a continuación.



Figura 18. Proceso de secado de residuo de poda

Para obtener un mejor secado, se procede a realizar un primer cuarteo para así minimizar el tamaño de la muestra inicial.



Inicio de cuarteo

se desechan B y D



Se Homogenizan A y C

Tamaño de muestra a secar

Figura 19. Proceso de cuarteo de residuo de poda

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con el fin de transportar la menor cantidad de muestra representativa posible al laboratorio donde se analiza, se cuarteo en Sitio hasta obtener un tamaño de muestra de 2kg y se pulveriza para sacar tres tarros de muestras con muestras de diferentes tamos como se muestra a continuación.



Muestra lista para ser pulverizada



inicio de pulverización



Figura 20. Tamaño de Muestra que se llevara al laboratorio.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Luego de tener la muestra pulverizadas, se tamizan en el laboratorio en mayas de 710 Micras, 510 Micras, 212Micras, 106 Micras, 75Micras y 53 Micras, como se muestras a continuación:



Mallas de 712, 510 y 212 Micras



Inicio de tamizado

Las partículas de 212 Micras, se pulverizan aún más para ser pasadas por las de 106, 75 y 53 Micras



Pulverización de partículas de 212 Miras



Mallas de 106, 75 y 53 Micras

Figura 21. Tamizajes y pulverización de la muestra a tamaño de partículas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Resultado de tamizar por mallas 106 y 75 Micras

El rango de tamaño de partícula en analizar es entre 212 y 106 micrómetros.

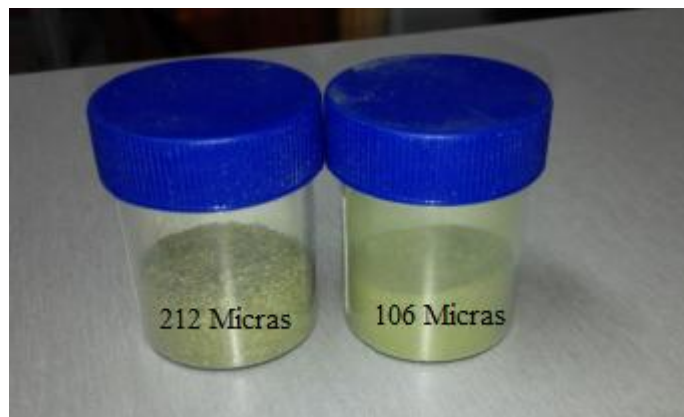


Figura 22. Muestras finales para analizar

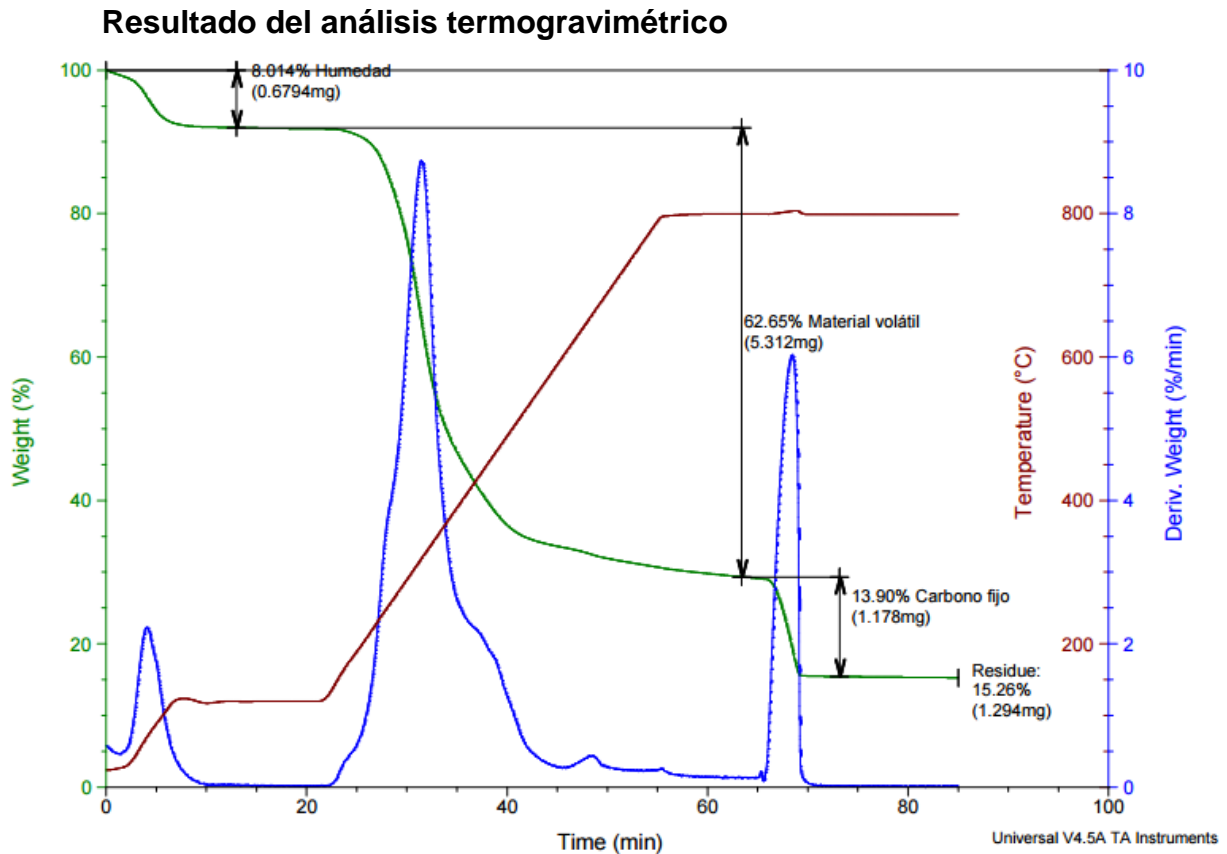


Figura 23. Resultado obtenido mediante el TGA para el residuo de poda.

La muestra presenta un contenido de humedad de 8.0%, material volátil de 62.65% y de carbono fijo de 13.90%. Finalmente, la muestra obtuvo un porcentaje alto de residuos lo cual penaliza su utilización como combustible para obtener energía.

Residuo de llanta

Se recoge aleatoriamente 1 llanta en un monta llantas.



Figura 24. Agrupación de llantas en un lugar de desecho.

Ésta llanta es picada en trozos pequeños para ser pulverizada, Como se muestra a continuación.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 25. Procesos de obtención de la muestra.

Teniendo los trozos de llanta se procede con la pulverización



Figura 26. Llanta pulverizada

Este Tamaño de Muestra que se lleva al laboratorio y se tamiza en mayas de 710 Micras, 510 Micras, 212Micras y 106 Micras, como se muestras a continuación:



Mallas de 712, 510 y 212 Micras



Inicio de tamizado

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las partículas de 212 Micras, se pulverizan aún más para ser pasadas por las de 106 Micras.



Figura 27. Pulverización de partículas a tamaño menor de 212 Micras



Figura 28. Resultado de tamizar por mallas 212 y 106 Micras

Este tamaño de partícula será el que se analizara.

Resultado del análisis termogravimétrico.

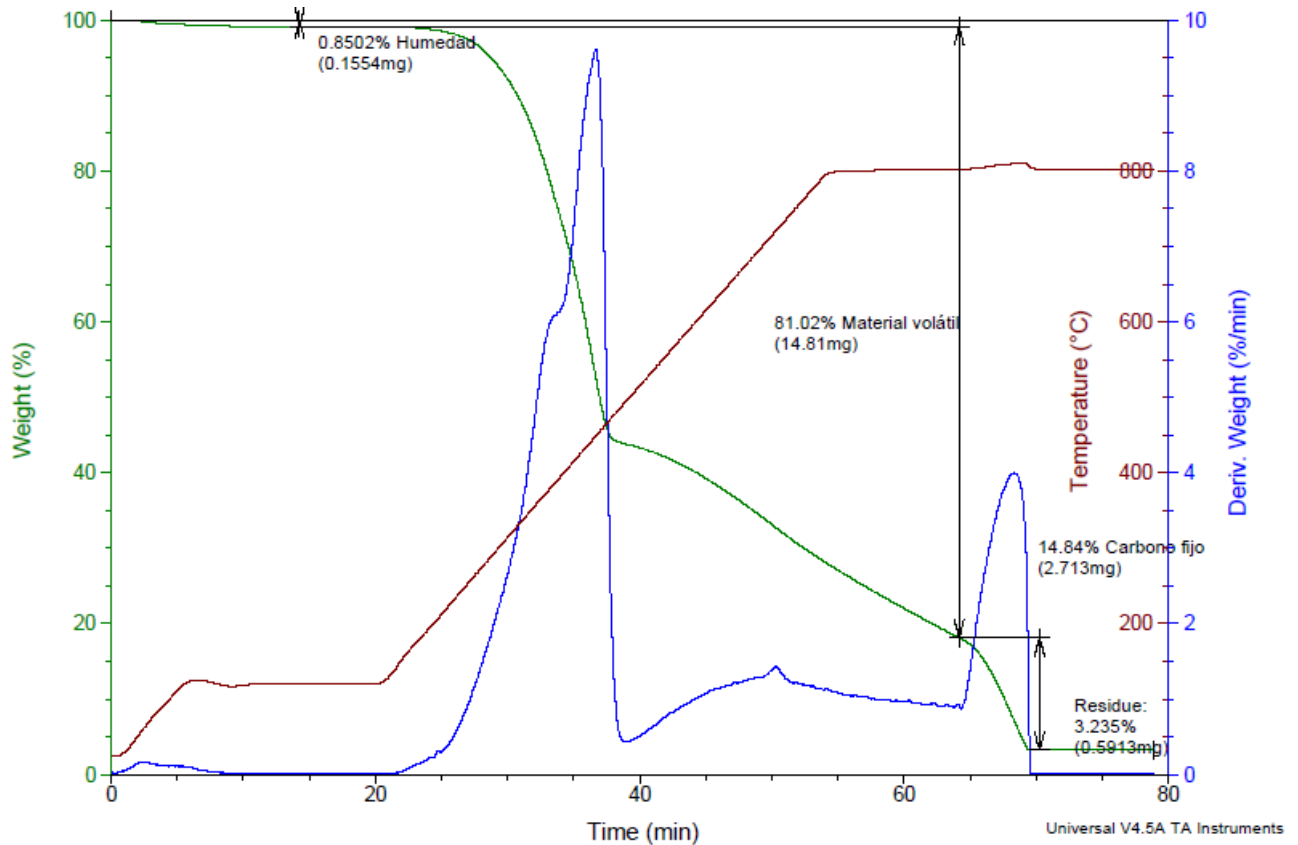


Figura 29. Resultado obtenido mediante el TGA para el residuo de llanta.

Los residuos de llantas presentan poca humedad debido a que es un material compactado. Tienen un alto contenido de material volátil (81.02%) y relativamente poco carbono fijo (14.84%). Finalmente, presenta un bajo contenido de residuos; esto como resultado positivo debido a que los metales de la llanta fueron retirados antes del análisis.

Se Anexa el resultado del análisis a el carbón para la comparación.

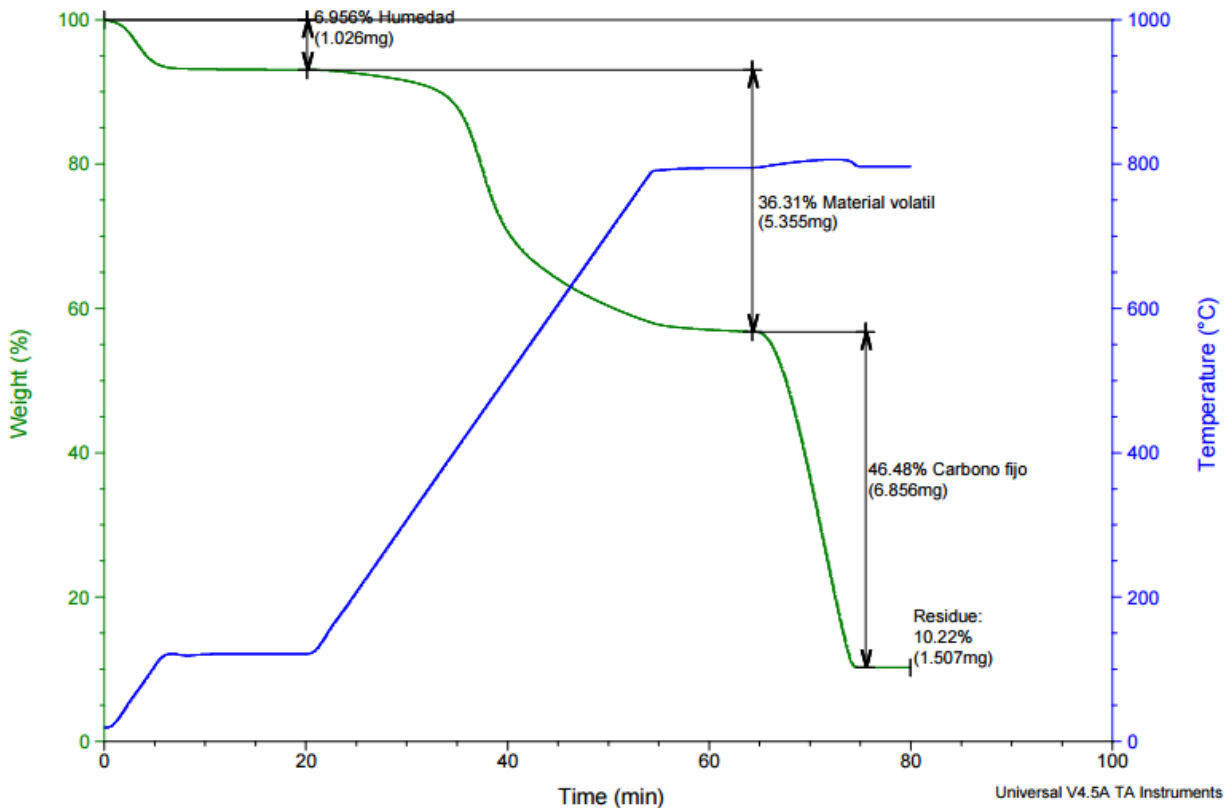


Figura 30. Resultado obtenido mediante el TGA para el carbón.

Este Resultado de carbón se utiliza para comparar los resultados de las muestras Analizadas.

Discusión

La pulpa de café. Nos encontramos con el inconveniente del transporte y la recolección inicial ya que se encontraba muy distante a la ciudad de Medellín los cultivos de café, el secado de esta pulpa es muy demorado ya que contiene una gran porcentaje de humedad y es un proceso de larga duración. La pérdida de propiedades en un muy poco tiempo es una de las desventajas de la utilización de la pulpa.

La poda Es un residuo difícil de secar por su alto nivel de humedad, recoge muchos insectos en el proceso recolección, la pulverización de este residuo presento varias dificultades debido a que no se contaban con las herramientas adecuadas y se fundieron varios motores y otros equipos mecánicos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El residuo de café Se contaron con varias ventajas las cuales fueron, ayuda del personal de las tiendas del ITM Para recolectar los residuos de café diariamente durante el transcurso de una semana, la otra ventaja fue que el residuo ya venía en partículas más pequeñas y la pulverización fue más fácil, las desventajas de este fueron el alto contenido de humedad y la presencia de hongos al transcurrir varias semanas de su recolección. Esto indica que este residuo debe ser procesado rápidamente después de su almacenamiento.

La llanta se encontraron varios inconvenientes con este residuo ya que es un material con muy alto nivel de dureza para su pulverización, no se encontraron casi elementos mecánicos para este y el diámetro interno se encontraba cubierto varias capas de alambre acerado el cual fue muy complicado su destrucción, para la obtención del resultado de alto potencial energético se hicieron varias pruebas calorimétricas con diferentes partículas de esta llanta.

Tabla 6. Resultados de muestras Analizadas.

Residuos	% Humedad	% Material volátil (mv)	% carbono fijo (Cf)	% Ceniza
Llanta	0.8502	81.02	14.84	3.235
Borra de café 1	29.37	55.67	12.99	1.930
Poda	8.014	62.65	13.90	15.26
Pulpa	9.563	82.05	0	7.967
Carbón	6.965	36.31	46.48	10.22
Borra de café 2	54.47	35.68	8.948	0.8247

Basados en los resultados de la Tabla 6 el carbón el cual es un combustible fósil ampliamente usado presenta el mayor contenido de carbono fijo. Esto hace que sea un buen material para ser usado en procesos de combustión. La borra la poda y la pulpa presentan un gran contenido de humedad, presentando un mayor contenido la borra. Lo anterior penaliza su uso para ser usados en procesos de combustión. En general todas las biomásas residuales presentan un alto contenido de material volátil lo que indica un buen “potencial preliminar” para ser usados en procesos de obtención de combustibles líquidos o químicos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- El residuo sólido que nos arrojó más carbono fijo en las pruebas realizadas es la llanta aunque en comparación con el carbón es un porcentaje menor pero son los que podrían brindar más potencial energético que es lo que se buscaba obtener en esta investigación
- En cambio los residuos que nos generan un gran porcentaje de material volátil como los son: la pulpa, la borra de café y la poda, servirían para otros procesos como lo puede ser la pirolisis o licuefacción para la obtención de combustibles líquidos o químicos.
- El residuo de café y la borra de café, son algunos residuos que conservan mucho porcentaje de humedad y se demoran mucho para secar completamente. Al analizar los resultados del TGA se observa que no son productos que generan tanto carbono fijo que es lo que buscamos en esta investigación.
- Los residuos que no conservan tanta humedad son los residuos que más carbono fijo nos brindan y por lo tanto son los residuos con una alta eficiencia para nuestro proyecto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

Cardona Gómez, L., & Sanchez Montoya, L. M. (2011). *Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos*. Medellín: Universidad de Medellín.

Agencia Extremeña de la Energía. (2013). *Los residuos agrícolas de poda*. Ronda de San Francisco: Formate bio.

Ambientum. (2003). Suelos y residuos. *Revista Ambientum*, 1.

Barradas Rebolledo, A. (2009). *Gestión integral de residuos Sólidos Municipales, Estado del Arte*. Veracruz, Mexico.

Cámara de comercio de Bogotá. (2006). *Guía para el manejo de llantas Usadas*. Bogotá: Kimpres Ltda.

Castro, G. (2007). *Reutilización, Reciclado y Disposición final de Neumáticos*. Buenos Aires, Argentina: Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A.

CEMPRE. (1998). *Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Uruguay: CEMPRE.

Jaramillo Henao, G., & Zapata Márquez, L. M. (2008). *APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN COLOMBIA*. Medellín, Antioquia.

Ministerio de Medio Ambiente de Colombia. (1999). *Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Colombia*. Bogotá: Textos Completos.

Ministerio de Medio Ambiente y de Desarrollo Económico. (2002). *Manual para el manejo Integral de Residuos en el Valle de Aburrá*. Medellín, Antioquia.

Olmos Clavijo, A. (2011). *Recuperación y reutilización de residuos sólidos*. Bogotá, Colombia: UNAD.

Rathinavelu, R., & Graziosi, G. (2005). *Posibles usos alternativos de los residuos*. Italia: Organización Internacional del Café.

Steinvorth Álvarez, A. (2014). Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales mediante el uso de tratamientos térmicos de avanzada. *CEGESTI, Éxito Empresarial*, 1-3.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Suarez Agudelo, J. M. (2012). *APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DEL BENEFICIO DEL CAFÉ, EN EL MUNICIPIO DE BETANIA ANTIOQUIA: USOS Y APLICACIONES*. Caldas, Antioquia: Corporacion Universitaria Lasallista.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR Pedro Nel Alvarado T.

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____