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

ESTUDIO PRELIMINAR DEL POTENCIAL ENERGETICO DE RESIDUOS DE CAFÉ

LUIS FERNANDO ZAPATA MEJÍA

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PEDRO NEL ALVARADO TORRES

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

03 de agosto de 2016

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

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es explorar el potencial energético de los residuos obtenidos en los procesos donde se usa el café. Se recogieron aproximadamente 200 kg de pulpa de café en una finca procedente de Jericó Antioquia y 60 kg de borra de café procedente de las cafeterías del ITM sede Fraternidad. Se realizó un riguroso proceso de selección para obtener una muestra significativa de 5 gramos usando la técnica de cuarteo, posteriormente, se analizó mediante un analizador termogravimétrico. El material tuvo un alto contenido de humedad por lo cual se sometió a proceso de secado previo a su análisis. Se obtuvo un alto contenido de material volátil y bajo carbono fijo lo cual indica que los residuos no tienen un alto contenido energético para ser quemados. Sin embargo, estos pueden ser utilizados en otros procesos orgánicos como abonos, fermentación, digestión anaeróbica entre otros.

Palabras clave: Análisis termogravimétrico, pulpa de café, borra de café, poder calorífico, biomasa, humedad, muestras.

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

RECONOCIMIENTOS

En primer lugar quiero darle gracias a Dios por darme las fuerzas para ayudarme a cumplir con tan grande meta en mi vida. También darle las gracias a mi madre y a mis hermanas quienes me dieron su apoyo incondicional durante todo el transcurso de mi carrera y estoy seguro que de no ser por ellas no hubiera logrado tan importante objetivo en mi vida

Quiero agradecer a mis dos compañeros de carrera y de laboratorio JHEFERSON TORRES Y ESTEBAN OSORIO quienes estuvieron junto a mí colaborándome y apoyándome en todo el transcurso de las pruebas que desarrollamos en el laboratorio y que a pesar que no lo presentamos juntos hacen parte de él.

También quiero darle las gracias a mi director de trabajo de grados PEDRO NEL ALVARADO TORRES quien creyó en mí en todo momento y me dio la oportunidad de presentar tan importante trabajo.

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

ACRÓNIMOS

TGA máquina de análisis termogravimétrico

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

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	7
3. METODOLOGÍA.....	10
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	14
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	19
REFERENCIAS	20

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

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se llevan a cabo muchas investigaciones encaminadas a desarrollar alternativas para disminuir la dependencia que se tiene de los recursos no renovables o combustibles fósiles, debido a que su cantidad es finita, existe una alta volatilidad en los precios y en algunos casos son de baja disponibilidad, y son por estas razones que muchas de las investigaciones en curso buscan la generación de conocimiento, desarrollo de tecnologías y alternativas que permitan reemplazar total o parcialmente su uso, debido a los efectos dañinos ocasionados al medio ambiente y la obligación de fundamentar la economía y los patrones de consumo en actividades más sostenibles [1].

En este trabajo buscamos obtener un análisis completo del potencial energético que tiene los residuos del café, a medida que se va tratando en los diferentes procesos a los que puede ser sometido; otro de los objetivos es determinar mediante el TGA la cantidad de materiales volátiles y de carbono que poseen estos residuos de café y determinar si son o no adecuados para ser quemados.

Se describirán todos los pasos, métodos y estrategias que se realizaron para lograr obtener las muestras necesarias, además se darán a conocer detalladamente los resultados que se iban obteniendo a medida que se realizaban todas las pruebas en el laboratorio.

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

2. MARCO TEÓRICO

Uno de los principales avances que ha tenido la humanidad en los últimos tiempos es el de la utilización de los recursos renovables o de segunda generación como combustible para la generación de energía. Debido a que los combustibles fósiles que actualmente generan aproximadamente el 85% de la energía mundial, son en la actualidad uno de los principales contaminantes del medio ambiente y principal culpable del calentamiento global. Se genera la necesidad de recursos que sean favorables sostenibles y amigables con el medio ambiente, es aquí donde entran a cumplir un papel importantes las biomásas debido a sus múltiples aplicaciones como lo son, la generación de energía, como productos químicos y su uso como materiales hacen de este un recurso muy valioso y esencial para el desarrollo y sostenibilidad de los recursos naturales.

Clases de biomásas

Actualmente existen diferentes tipos de biomásas las cuales se caracterizan por estar compuestas de una gran variedad de plantas y compuestos químicos naturales, haciendo que sea un excelente generador de energía como combustible. Existen cuatro géneros de biomásas que se dividen según su fabricación o su procedencia. La biomasa de primera generación es aquella que se produce en árboles o cultivos los cuales también son intervenidos por el hombre para su consumo alimenticio o el de los animales, por lo cual genera un conflicto directo entre su consumo o su utilización como combustible. La biomasa de segunda generación es aquella que proviene de materiales los cuales ya fueron intervenidos por el hombre y se consideran como un residuo inservible para la industria o la agricultura, debido que su existencia no tiene ninguna interferencia con la alimentación humana o animal es considerada una de las más importantes y utilizadas fuentes de energía renovable. La tercera generación de biomasa es aquella que se compone de las algas y musgos que crecen en algunos terrenos húmedos como los alrededores de los ríos o represas, ya que estas son consideradas como desechos no tienen mucho impacto en el medio ambiente. Las biomásas de la cuarta generación son todos esos compuestos orgánicos los cuales se les modifican sus propiedades para que sean más eficientes a la hora de su aprovechamiento como combustible o producto químico industrial.

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

Conversiones de las biomásas

En la actualidad hay cuatro métodos de conversión de la biomasa las cuales tienen diferentes influencias en ellas. La primera de ellas es la mecánica la cual solamente produce una reducción en el tamaño y mantiene su composición orgánica intacta. La segunda conversión es mediante procesos químicos, los cuales generan un cambio en las moléculas mediante sustancias que alteran su composición molecular. Otra de ellas es la conversión bioquímica las cuales se generan a temperaturas muy bajas y son generalmente utilizadas en la fermentación y la digestión anaeróbica, en las fermentaciones se utilizan microorganismos o enzimas que vuelven la biomasa en un producto recuperable a corto plazo. El cuarto método de conversión es el termoquímico en el cual interviene las altas temperaturas como elemento principal. En este método se utiliza toda la biomasa sin ningún tratamiento previo con el fin de utilizar todos los hidrocarburos existentes. Hay que sumar además que el procedimiento termoquímico es más eficiente que el bioquímico debido a que su proceso se realiza en minutos u horas luego de comenzar la conversión, mientras que el bioquímico necesita mucho más tiempo para descomponer y así aprovechar todas las propiedades de la misma.

Análisis mediante el TGA

"El análisis termo gravimétrico" es una técnica en la que la masa de una sustancia se mide como una función de la temperatura, mientras que la sustancia se somete a un programa de temperatura controlada. Múltiples análisis termogravimétricos se han llevado a cabo para determinar cuáles compuestos orgánicos son viables para llegar a procesarlos mediante cualquier método de conversión de los cuales hemos hablado anteriormente. Existen tres etapas principales que hay que tener en cuenta a la hora de revisar los resultados cinéticos de los compuestos mediante la pirolisis, los cuales son la deshidratación, la pirolisis activa y la pirolisis pasiva [2]. Hay que tener en cuenta que no todas las curvas que se programan en TGA son estándares para todas las biomásas, unas pueden reaccionar de una forma diferente con solo un incremento acelerado de la temperatura y cambiar a sí sus propiedades cinéticas, cambiando por completo los resultados obtenidos en otra prueba anterior [3].

El café es uno de los sectores agrícolas más importantes debido a su alto consumo y productividad a nivel mundial [4]. El país colombiano es considerado como uno de los principales cultivadores de café a nivel mundial, por lo que las cantidades de residuos de café son muy altas. En la actualidad se tratan de varias formas los residuos que deja el café, la principal forma de utilizarlos es la mezcla de estos con el compost generado en el sector agrícola con el fin de abonar otros tipos de cultivos, igualmente, son utilizados en su mayoría para la generación de productos químicos

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

para el beneficio humano. También es cierto, que en algunas de las principales empresas comercializadoras de café utilizan estos residuos como combustible para la generación de vapor u otros elementos necesarios para las industrias.

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

3. METODOLOGÍA

3.1 Muestreo y recolección

Pulpa de café

Las muestras utilizadas para nuestra investigación fueron recolectadas mediante personal experimentado que gracias a su largo recorrido en este campo, ayudaron a clasificar las mejores pulpas de una finca en Jericó, Antioquia. Al finalizar la tarea de recolección se obtuvieron aproximadamente 200 kg de pulpa de café después de retirar todos los elementos externos como lo son las raíces, palos, piedras y demás elementos ajenos a la muestra. Esta cantidad se extendió afuera de la finca en varios plásticos en los cuales se procedió a realizar la selección de la pulpa final obteniendo una cantidad de 50 kg. Se eligió este valor, debido a que fue reportado como una cantidad óptima en un estudio realizado con pulpa de café en África [5]. El método seleccionado para la recolección de la muestra fue el de cuarteo; este método fue escogido teniendo en cuenta la gran cantidad de pulpa que se tenía. Se comenzó por vaciar los sacos de pulpa recolectados sobre los plásticos y luego se procedió a revolver manualmente hasta que ya estaban lo suficientemente mezcladas. A continuación, se separó en cuatro partes la pulpa total y se escogieron dos cuartos de la mezcla, logrando así la reducción de lo recolectado a la mitad, se realizó el mismo procedimiento nuevamente y se obtuvo la muestra principal de 50 kg a partir de 200 kg que era nuestro primer objetivo; después se procedió con el empaque y el transporte de la pulpa asegurándonos de su buen estado de conservación hasta llegar al laboratorio.

Borra de café

En el Instituto Tecnológico Metropolitano, sede Fraternidad, se generó una estrategia de recolección de la borra de las cafeteras de zonas de descanso comunes, restaurantes y cafeterías, con bolsas apropiadas para que guardaran estos residuos día por día durante una semana. Después de ser recogida la

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

totalidad de la muestra se procedió a secar el residuo de café, este se hizo exponiéndolo directamente al sol durante dos - tres días y recogiendo en las noches para evitar así que el residuo recupere la humedad.

El método de cuarteo también fue escogido para la recolección de la muestra de borra; este método fue escogido teniendo en cuenta la gran cantidad de borra con la cual se procedía hacer las pruebas. Se comenzó vaciando los sacos de borra recogidos y se procedió a revolver manualmente hasta que ya estaban lo suficientemente mezcladas. A continuación, se separó en cuatro partes de borra total y se escogieron dos cuartos de la mezcla, logrando así la reducción de lo recolectado a la mitad, se realizó el mismo procedimiento nuevamente y se obtuvo la muestra principal de 10 kg a partir de 30kg que era nuestro primer objetivo; después se procedió con el transporte de la borra asegurándonos de su buen estado de conservación hasta llegar al laboratorio.

3.2. Análisis en TGA

Para el análisis de las muestras se utilizó el TGA un equipo muy preciso y confiable el cual nos dará un resultado específico para aproximarse al potencial energético que tienen las muestras (Figura 1). El TGA además de dar un resultado final permite obtener un patrón de actividad que está teniendo los residuos a medida que se expone a diferentes programas de temperaturas como lo son la pérdida de peso y de la humedad. El TGA analiza dos muestras a la vez para hacer una comparación de ambas y así dar datos más precisos; la muestra usada en el TGA es de 12 mg por lo que se debió realizar el método de cuarteo hasta llegar a un peso aproximado.

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



Figura 1. Analizador termogravimétrico

Programa de temperatura TGA

Equilibrio a 30°

Rampa de 20°C/min desde 30 hasta 120°C.

Isoterma a 120° durante 15 minutos

Rampa de 20°C/min desde 30 hasta 800°C.

Isoterma durante 15 minutos

Seleccionar gas numero 2

Isoterma durante 15 minutos

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

En la programación del TGA, antes de comenzar el análisis se debe de programar las rampas de temperatura que queremos que haga la máquina, así que para saber cuál es la humedad de la muestra se equilibra el equipo en 30 °C y luego se hace una rampa que va a 20 °C/min hasta 120 °C todo esto con un gas inicial que en este caso es el nitrógeno.

Pasado el tiempo de la rampa se procede a una regulación isotérmica durante unos 15 minutos para eliminar la humedad donde lo que se procura es que las muestras de cada recipiente queden a la misma temperatura, esto con el fin de que en la rampa de mayor importancia que es donde se analiza las propiedades caloríficas sean lo más estándar posible, recibiendo datos precisos y concisos de la muestra dando a conocer las propiedades caloríficas precisas de ellas. En el siguiente paso se programó una rampa que va de los 20 °C/min a 800 °C pirolizando poco a poco la muestras obteniendo datos de toda su descomposiciones a diferentes grados de temperatura.

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

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la humedad

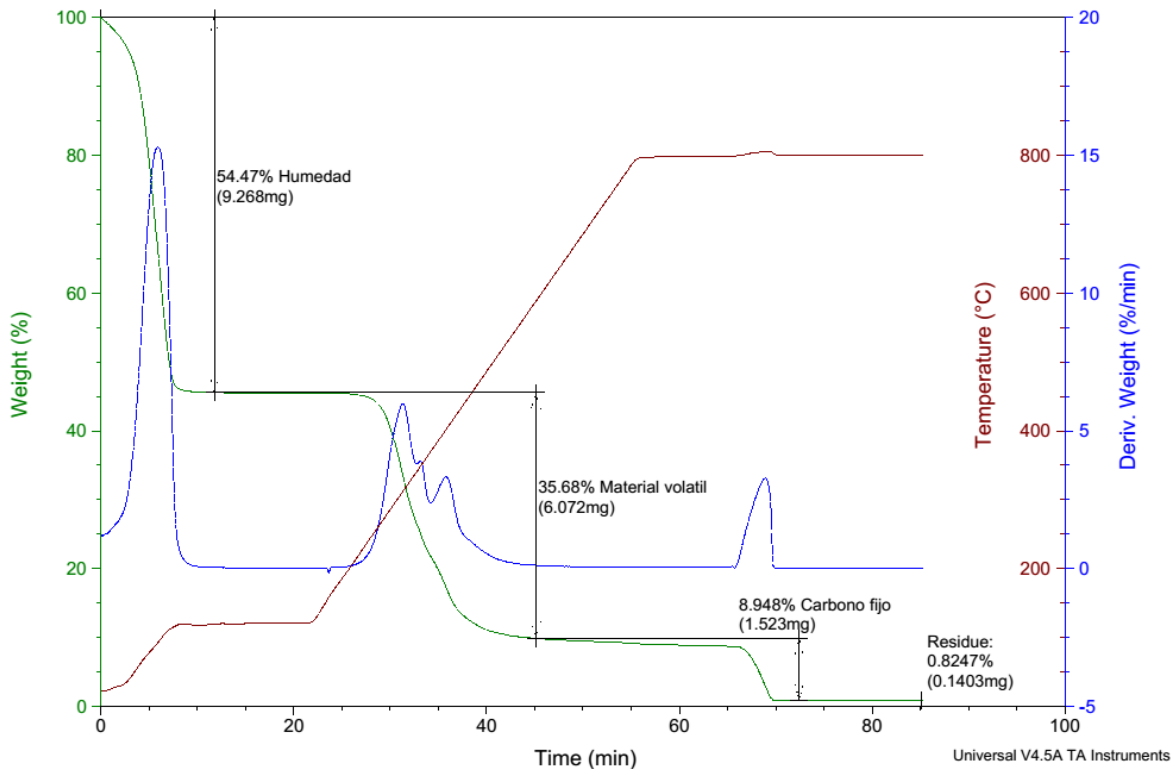


Figura 2. Borra de café sin secar.

En la figura 2, se pueden ver los resultados obtenidos en el TGA al realizarle la prueba termogravimétrica a la borra de café sin secar. Los resultados fueron del 54.47% de humedad que equivale al 9.268mg de la muestra, el 35.68% fue de material volátil equivalente a 6.072mg de la muestra, el 8.948% de carbono fijo que equivale al 1.523mg de la muestra, el residuo que quedó fue de 0.8247% de la muestra que equivale a 0.1403mg.

En la primera etapa se logra determinar que a pesar de que la pulpa de café estuvo expuesta durante unos días al sol la humedad relativa de la pulpa no era cero, esto

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

lo confirma la figura 1, donde se ve la pérdida de peso de la muestra, que aunque es muy insignificante no puede ser despreciada debido a la poca cantidad de pulpa que se utilizó en la máquina que es de miligramos, además la gran cantidad de compuestos volátiles que tiene hace que la muestra se vuelva cada vez menos apta para los fines próximos.

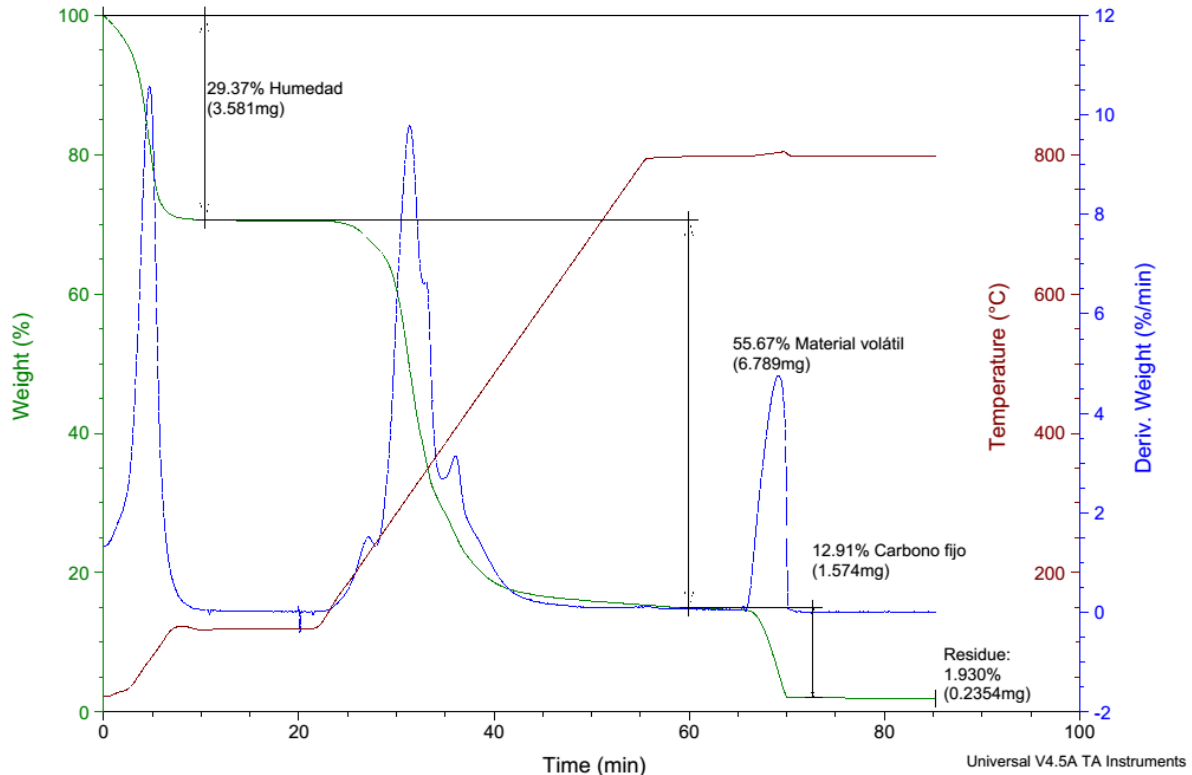


Figura 3. Borra de café sometida a un proceso previo de secado

En la figura 3, se pueden ver los resultados obtenidos en el TGA al realizarle la prueba termogravimétrica a la borra de café sometida a un proceso previo de secado. Los resultados fueron del 29.37% de humedad que equivale al 3.581mg de la muestra, el 55.67% fue de material volátil equivalente a 6.789mg de la muestra, el 12.91% de carbono fijo que equivale al 1.574mg de la muestra, el residuo sobrante fue de 1.930% de la muestra que equivale a 0.2354mg.

Realizando una comparación entre estos dos resultados se puede ver como la borra a la cual se le hizo el proceso de secado presenta mejores porcentajes de carbono

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

fijo con un 12.91% frente a un 8.948%. Lo cual permite concluir que entre menor sea la humedad de la borra de café mayor será su contenido de carbono fijo.

Efecto del tiempo en el análisis

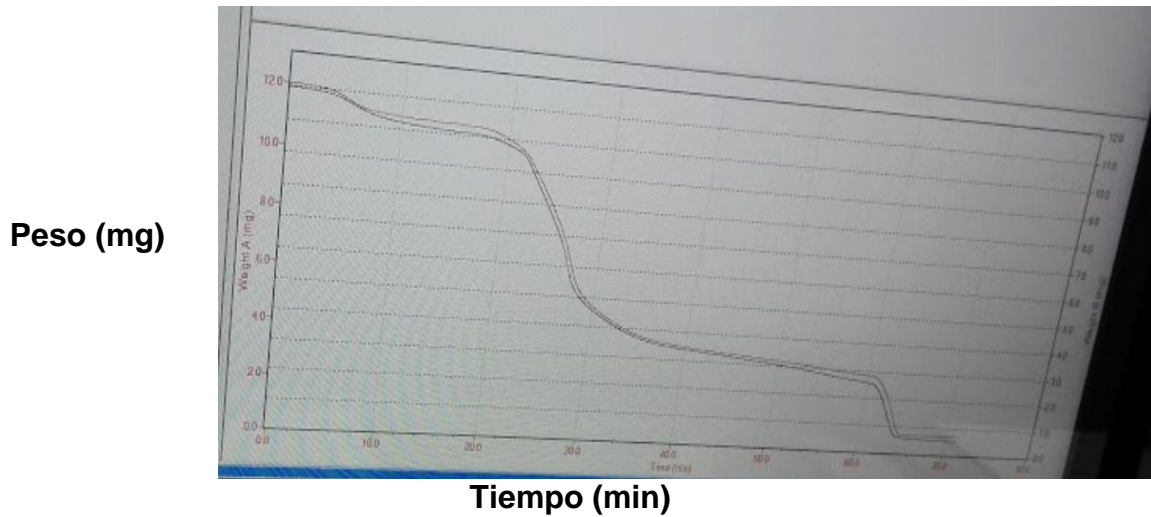


Figura 4. TGA de pulpa de café 1 semana después de recogida la muestra.

En la figura 4, se pueden ver los resultados obtenidos en el TGA al realizarle la prueba termogravimétrica a la pulpa de café después de 1 semana de obtenida la muestra. Los resultados fueron del 7.5% de humedad de la muestra, el 70% fue de material volátil, el 16.7% de carbono fijo, el residuo sobrante fue de 5.8% de la muestra.

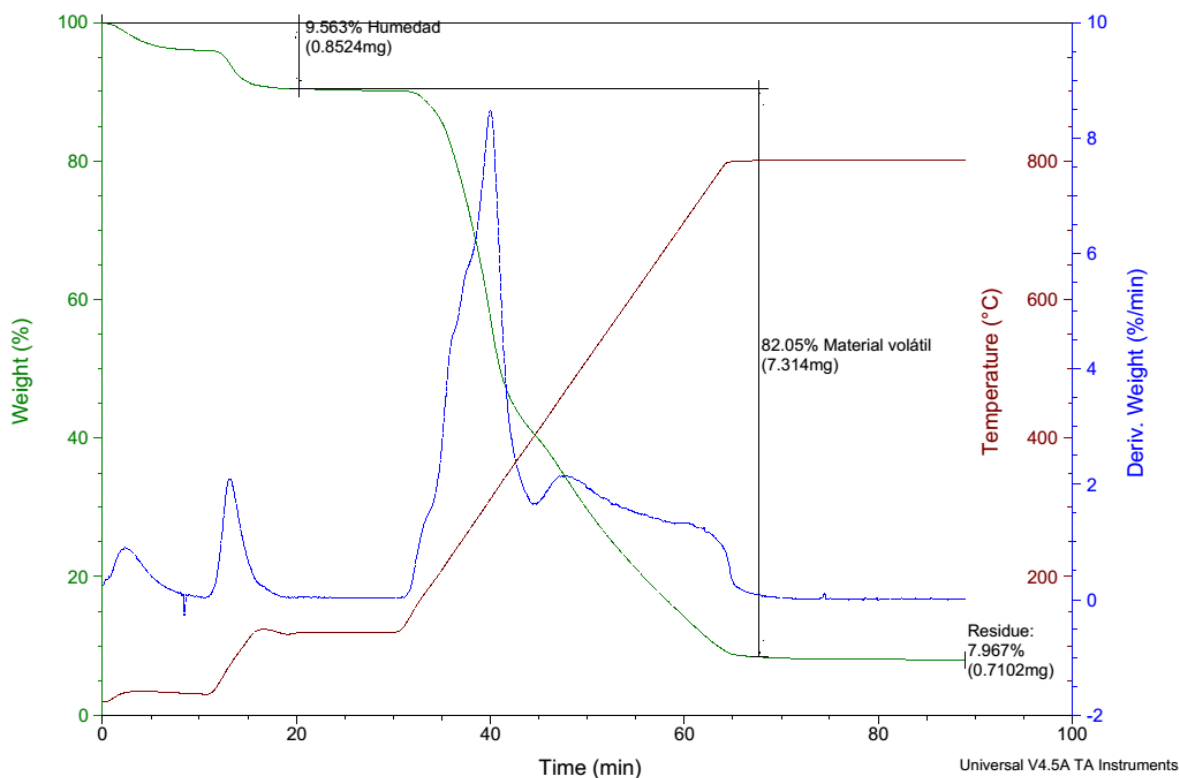


Figura 5. TGA de Pulpa de café después de 3 meses.

En la figura 5, se pueden ver los resultados obtenidos en el TGA al realizarle la prueba termogravimétrica a la pulpa de café después de 3 meses de obtenida la muestra. Los resultados fueron del 9.563% de humedad que equivale al 0.8524mg de la muestra, el 82.05% fue de material volátil equivalente a 7.314mg de la muestra, un 0% de carbono fijo y el residuo sobrante fue de 7.967% de la muestra que equivale a 0.7102mg.

Después de revisados los resultados del análisis de la pulpa de café se puede ver como a medida que pasa el tiempo la pulpa de café tiende a convertir más del 80% de sus componentes en materiales volátiles y en este caso eliminando por completo el carbono fijo de la muestra.

Analizando la figura 5, se ve como a medida que la temperatura aumenta las partículas de la pulpa del café se van descomponiendo sin darse una quema total; esto desafortunadamente quiere decir que la pulpa de café tiene muy poco carbono

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

fijo lo cual es uno de los componentes primordiales para aumentar su potencial energético; por lo contrario se genera mucho humo y contaminación con partículas, lo que sería muy perjudicial ya que lo que se busca es generar un entorno amigable con el medio ambiente.

Pulpa de café vs borra de café.

Después de revisar y analizar todos los resultados que se obtuvieron en el TGA de pulpa y de borra de café, se puede concluir que la borra es el residuo con mejor comportamiento termogravimétrico debido a su alta cantidad de carbono fijo con respecto al de la pulpa, también, se debe tener en cuenta que la humedad juega un papel importante en los resultados de las pruebas. Por lo que se debe procurar tener las muestras lo más secas posibles para mejorar su rendimiento y su calidad a la hora de ser utilizado como combustible.

Al terminar el análisis y abrir el compartimiento donde están las muestras se puede notar como las cenizas de las muestras cambiaron sus colores; la muestra de pulpa que inicialmente era de color café oscuro se decoloró y terminó con una apariencia amarillenta con cenizas blancas; esto da a conocer el efecto que tiene la temperatura en los componentes de la pulpa de café.

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

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Cuando comenzamos con la idea de estudiar la pulpa y borra de café como posibles combustibles naturales, buscando aprovechar al máximo todo lo que nos brinda el proceso del café que va desde su extracto hasta sus residuos; pensamos que podríamos aprovechar estos residuos como fuente de calor y lograr así cerrar el ciclo de aprovechamiento del café, desafortunadamente al ver los resultados que nos arrojó el TGA vemos como casi todo el material que conforma la pulpa y la borra del café es volátil y no brinda el suficiente potencial para ser utilizado como combustible en procesos de combustión debido a su bajo contenido de carbono fijo.
- Para una próxima investigación se podría dejar a un lado la posibilidad de utilizar los residuos de café como un posible combustible. En vez de eso se puede planear utilizarlo como un compuesto orgánico o como fertilizante, o en otros procesos como son pirolisis para la obtención de líquidos y ya después de esto poder utilizar los residuos sobrantes como combustible en algún tipo de caldera.

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

REFERENCIAS

Ondřej Mašek and others, 'A Study on Pyrolytic Gasification of Coffee Grounds and Implications to Allothermal Gasification', *Biomass and Bioenergy*, 32.1 (2008), 78–89
 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.07.007>>.

Wen Tien Tsai and Sii Chew Liu, 'Effect of Temperature on Thermochemical Property and True Density of Torrefied Coffee Residue', *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 102 (2013), 47–52 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2013.04.003>>.

Rawel Singh and others, 'Strategies for Selection of Thermo-Chemical Processes for the Valorisation of Biomass', *Renewable Energy*, 98 (2016), 226–37
 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.023>>.

Ashok Pandey and others, 'Biotechnological Potential of Coffee Pulp and Coffee Husk for Bioprocesses', *Biochemical Engineering Journal*, 6.2 (2000), 153–62
 <[http://dx.doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00084-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00084-X)>.

Yasmine Hamdouche and others, 'Discrimination of Post-Harvest Coffee Processing Methods by Microbial Ecology Analyses', *Food Control*, 65 (2016), 112–20
 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.01.022>>.

