

**ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOOIL Y BIOCARBON A PARTIR DE
PIROLISIS INTERMEDIA DE CASCARA DE MAÍZ, CASCARA DE YUCA Y
HOJAS DE CEBOLLA**

**JUAN SEBASTIÁN BARRERA DOMÍNGUEZ
LUIS CARLOS VARGAS JOYA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

**ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOOIL Y BIOCARBON A PARTIR DE
PIROLISIS INTERMEDIA DE CASCARA DE MAÍZ, CASCARA DE YUCA Y
HOJAS DE CEBOLLA**

**JUAN SEBASTIÁN BARRERA DOMÍNGUEZ
LUIS CARLOS VARGAS JOYA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
ingeniero químico**

Director:

**Luis Mariano Idarraga Bernal
Ingeniero químico, Msc.**

Codirector:

**Iván Rodrigo Rojas Reyes
Ingeniero químico.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A Dios, por ayudarme a terminar una etapa más de nuestras vidas, por estar conmigo en cada momento y darme la fuerza y disciplina para alcanzar mis metas.

A mi familia, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo incondicional en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento de mis capacidades.

A mis amigos, por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida brindándome alegrías, asesorías y buenos consejos.

Por último, a María Alejandra Díaz Chacón, por su apoyo, cariño, paciencia y ayuda constante, durante el desarrollo de esta investigación.

Juan Sebastián Barrera Domínguez

DEDICATORIA.

A Dios por ser la luz en mi vida y guiarme siempre en el camino.

A mi padres, hermanos, abuelos, tíos y primos.

A toda persona que en su momento me brindaron una sincera amistad.

A Mayra Katherine mi Novia, mi amiga, por su apoyo en momentos difíciles

Luis Carlos Vargas Joya

AGRADECIMIENTOS

Al Profesor **LUIS MARIANO IDARRAGA BERNAL**, director del proyecto, por su ayuda, enseñanza, asesoría y dedicación durante el desarrollo del mismo.

Al Doctor **DIONISIO LAVERDE CATAÑO**, director de escuela de Ingeniería Química, por la atención, apoyo brindados y permitirnos usar las instalaciones y el talento humano de la escuela durante la ejecución de la investigación.

A la **UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**, por la formación profesional y personal brindada.

Al Ingeniero Químico **IVAN RODRIGO ROJAS REYES**, codirector del proyecto, por su enseñanza, asesoría y dedicación durante el desarrollo del proyecto.

A la doctora **MARTA JULIANA BARAJAS MENESES**, por su ayuda oportuna en el análisis y caracterización de las muestras obtenidas durante el desarrollo de las pruebas experimentales.

Al Ingeniero Químico **GUILLERMO ACERO**, responsable de los laboratorios de especialización de la Escuela de Ingeniería Química por su orientación y apoyo.

A **EDUARDO CARREÑO y WILSON CARREÑO**, técnicos del laboratorio de procesos de la Escuela de Ingeniería Química por su asesoría y disposición.

Al Ingeniero Químico **ANGEL GABRIEL BELTRAN BARRERA**, por su asesoría durante el desarrollo del proyecto.

Al Doctor **DARIO YESID PEÑA BALLESTEROS**, director de escuela de Ingeniería Metalúrgica, por la atención, apoyo brindados y permitimos usar las instalaciones del laboratorio de pirometalúrgica y el talento humano del mismo la durante el desarrollo del proyecto.

A **AMBROSIO CARRILLO CARRILLO**, técnico del laboratorio de pirometalúrgica de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica por su asesoría y disposición.

A nuestros profesores, quienes durante el transcurso de nuestra carrera se esforzaron por brindarnos una educación íntegra y responsable, gracias por su paciencia y enseñanza.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.3.1 Objetivo General	20
1.3.2. Objetivos Específicos.....	21
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	21
1.5 MARCO CONCEPTUAL	23
1.5.1 Contenido lignocelulósico de las biomosas.....	23
1.5.2 Características de la pirolisis	24
1.5.3 Características del reactor.	26
2. METODOLOGÍA	28
2.1 FASE A: FORMULACIÓN Y PLANTEAMIENTO	28
2.2 FASE B: PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	28
2.2.1 Cierre del balance de masa.	29
2.2.2 Verificación de la reproducibilidad del sistema.	29
2.3 FASE C: ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS	30
2.3.1 caracterización del biocarbon.	30
2.3.2. Caracterización del biooil.	31
2.4. Fase D: Resultados, Conclusiones Y Recomendaciones.	31
3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA	32

3.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES	32
3.2.1 Cierre del balance de masa.	32
3.2.2 Verificación de la reproducibilidad del sistema.	33
3.3 CARACTERIZACION DE LOS PRODUCTOS DEL PROCESO DE PIROLISIS	36
3.3.1 Caracterización del biocarbon.....	36
3.3.2. Caracterización del biooil.	38
4. CONCLUSIONES	41
5. RECOMENDACIONES.....	42
BIBLIOGRAFIA.....	43

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cantidad de residuos generados por cada plaza de mercado en el área metropolitana	19
Tabla 2. Tipo de tratamiento térmico según condiciones de operación	24
Tabla 3. Análisis próximo y densidad de las biomásas después del pre tratamiento.....	32
Tabla 4. Balance de masa de las pruebas desarrolladas	33
Tabla 5. Tratamiento estadístico e intervalos de confianza del 80% de las pruebas realizadas.....	36
Tabla 6. Análisis último y densidad del biocarbon.	36
Tabla 7. Análisis elemental y porcentaje de cenizas de algunos biocarbones a partir de diferentes biomásas.....	37
Tabla 8. Poder calorífico del biocarbon.....	37
Tabla 9. Densidad, ph y poder calorífico del biooil.....	38
Tabla 10. Composición química del biooil.....	39
Tabla 11. Composición química del biooil.....	40

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de pirolisis según las condiciones de operación	23
Figura 2. Metodología desarrollada	28

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Grafica 1. Distribución de temperaturas para la resistencia y el interior del horno (centro del reactor).....	27
Grafica 2. Variación de los rendimientos de los productos de pirolisis a partir de cascaras de maíz.....	34
Grafica 3. Variación de los rendimientos de los productos de pirolisis a partir de cascara de yuca.....	34
Grafica 4. Variación de los rendimientos de los productos de pirolisis a partir de hojas de Cebolla	35

ANEXO

	Pág.
Anexo A Pre-tratamiento De La Biomasa	49
Anexo B Manual Técnico del Reactor de Pirolisis.....	52
Anexo C Análisis TGA	63
Anexo D Análisis TGA de los Biocarbones	66
Anexo E Espectros Cromatograficos	69

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOOIL Y BIOCARBON A PARTIR DE PIROLISIS INTERMEDIA DE CASCARA DE MAÍZ, CASCARA DE YUCA Y HOJAS DE CEBOLLA*

AUTORES: Juan Sebastián Barrera Domínguez y Luis Carlos Vargas Joya**

PALABRAS CLAVES: Pirolisis, Biooil, Biocarbon, Poder calorífico, Maíz, Cebolla, Yuca, Espectrometría.

CONTENIDO:

La ciudad de Bucaramanga enfrenta una emergencia sanitaria que básicamente consiste en la ausencia de un lugar para disponer de los residuos sólidos urbanos. La distribución de productos agrícolas en plazas de mercado, es una de las actividades comerciales que más genera este tipo de residuos. Por lo anterior, en la presente investigación se planteó como objetivo principal la implementación del proceso de pirolisis convencional a una temperatura de 470°C, a presión atmosférica y durante un periodo de una hora, a cascara de maíz, cascara de yuca, y hojas de cebolla. Con el fin de analizar, caracterizar y evaluar el poder calorífico de 2 de los productos de la pirolisis el biocarbon y el biooil. El diseño de experimentos empleado fue la realización de pruebas de las biomasa por triplicado, esto para determinar si existe una reproducibilidad del sistema en el que se realizó la transformación termoquímica, mediante un intervalo de confianza del 80 % con el estadístico z. como resultados de la investigación se tuvo que las densidades del biocarbon oscilaban entre valores de 0,165 g/ml y 0,2 g/ml, igualmente también presentó un poder calorífico muy aceptable con valores cercanos a los del carbón mineral. Por otro lado el biooil reportó densidades cercanas a 1 g/ml y un carácter ácido del mismo con valores de pH entre 2,3 y 2,8. Finalmente de acuerdo con el análisis realizado por cromatografía GC/MS se apreció un alto contenido de compuestos aromáticos en este producto.

* Trabajo De Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Director Msc. Luis Mariano Idarraga Bernal

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF PRODUCTION OF BIOOIL AND BIOCARBON FROM THE PYROLYSIS INTERMEDIATE OF CORN SHELL, SHELL YUCCA AND ONION'S LEAVES:^{*}

AUTHORS: Juan Sebastián Barrera Domínguez y Luis Carlos Vargas Joya ^{**}

KEY WORDS: Pyrolysis, Biooil, Biocarbon, Heat Power, Corn, Onion, Yucca, Spectrometry.

CONTENT:

The city of Bucaramanga is facing a sanitary emergency that basically consists in the lacking of an adequate place to the final disposal for urban solid residuals. The distribution of agriculture products in marketplaces is one of the commercial activities that generates the most of this kind of residuals. Therefore, in this research was proponed, as the major objective, the implementation of conventional pyrolysis process at a temperature of 470°C, at atmospheric pressure during a period of an hour, corn shell, yucca shell and onion leaves. To analyze, characterize and evaluate the heat power of two of the products of the pyrolysis, the biocarbon and the biooil. The experimental design used was the practice of tests to the biomass by triplicate, this determinates the existence of the system reproducibility, where was made a thermochemical transformation through a Z test with a confidence interval of 80%. As result of the research was got that the densities of the biocarbon oscilated between values of 0,165 g/ml and 0,2 g/ml, It was also concluded that it has very acceptable heat power with values close to the mineral carbon. On the other hand the biooil had densities near to 1 g/ml and an acid nature with values of pH between 2,3 and 2,8. Finally, based on the test made by GC/MS chromatography It was measured a high content of aromatic compounds in this product.

* Work Degree

** Faculty of Chemical-Physics. Chemical Engineering, Director Msc. Luis Mariano Idarraga Bernal

INTRODUCCIÓN

La sobreproducción de residuos sólidos ocasionada principalmente por la creciente población mundial, los cambios climáticos y la contaminación producida por las actividades diarias del hombre ha tenido un impacto ambiental de manera negativa máxime por su inadecuado manejo.

Como factor detonante de dicha problemática ambiental se tiene que la mayoría de los residuos sólidos o RSU tienen como finalidad los rellenos sanitarios, los cuales presentan varias problemáticas, entre otras, la contaminación de aguas, el envenenamiento de suelos, la producción de lixiviados, la emanación de gases de efecto invernadero, la proliferación de vectores (cucarachas, roedores, gallinazos, etc.), y la ocupación de grandes extensiones de tierra.

Actualmente la gestión de residuos sólidos urbanos es un tema de vital importancia, debido a la elevada carga que presentan los rellenos sanitarios como consecuencia de los modelos de vida contemporáneos, por lo que se ha gestionado la búsqueda de tecnologías que contemplan el aprovechamiento de los RSU y de nuevos estilos de vida que contribuyen a la minimización en su producción.

Por lo tanto, esta investigación está dirigida al planteamiento de una alternativa potencialmente favorable, que aprovecha los residuos sólidos usándolos como materia prima para producir productos de valor agregado. En este sentido, en el desarrollo del trabajo se ahondara en el estudio de la tecnología denominada pirolisis, la cual es catalogada como un tratamiento térmico que presenta variaciones en sus condiciones de operación y por lo tanto repercuten en la calidad y cantidad de sus productos (Álvarez, 2014) .

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El área metropolitana de Bucaramanga presenta una emergencia sanitaria realmente grave, la cual ha despertado las alertas de los entes gubernamentales de la ciudad, especialmente de la Alcaldía de Bucaramanga quien el 30 de septiembre de 2013 emitió el Decreto No. 190, en el que declaró la ausencia de un sitio para disponer de manera adecuada los residuos sólidos.

Algunas actividades comerciales, como la distribución y venta de productos agrícolas en plazas de mercado producen volúmenes de residuos que contribuyen al problema sanitario que presenta actualmente Bucaramanga. Según (sabalza Ramos & Villamizar Navas, 2009) la ciudad cuenta con 7 plazas de mercado las cuales producen cierta cantidad de residuos, como se aprecia en la tabla 1. Estos RSU ocasionan problemas ambientales y afectan la salud de la comunidad que reside en sectores cercanos a las plazas de mercado.

Tabla 1. Cantidad de residuos generados por cada plaza de mercado en el área metropolitana

Ciudad	Entidad encargada	Mercado	promedio mensual en toneladas
Área Metropolitana de Bucaramanga	Empresa de Aseo de Bucaramanga (EMAB)	Central	221,1
		Centroabastos SA	303,62
		Concordia	69,55
		Floridablanca	101,26
		Girón	55
		Guarín	31,46
		Satélite	35,73

Fuente: (sabalza Ramos & Villamizar Navas, 2009)

En efecto, entre los problemas en los que se ve inmersa la comunidad se encuentran, entre otros, los malos olores, la mala imagen del sector, la proliferación de moscas, cucarachas, gallinazos y la afectación en la salud de los habitantes. Así mismo, se puede enunciar algunos de los impactos ambientales generados por estos residuos de la siguiente manera:

1. La contaminación de fuentes hídricas tanto superficiales como subterráneas;
2. La producción de lixiviados;
3. El envenenamiento de suelo; y
4. La emisión de gases de efecto invernadero, como el metano y el ácido sulfhídrico.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Podría la aplicación del proceso de pirolisis en los residuos sólidos orgánicos, específicamente los producidos en las plazas de mercado, mitigar el problema sanitario que presenta el área metropolitana de Bucaramanga, y además producir a partir del mismo, productos de valor agregado?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- Aplicar el proceso de pirolisis a tres biomásas diferentes: cáscara de yuca, cascara de maíz y hojas de cebolla larga, y analizar dos productos del proceso de pirolisis intermedia a 470°C: biocarbon y biooil. Realizando su respectiva caracterización y evaluando el poder calorífico de los mismos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Obtener biocarbon a partir de tres biomásas diferentes usando el proceso de pirolisis convencional.
- Analizar y caracterizar el biooil obtenido mediante el proceso de pirolisis convencional.
- evaluar el poder calorífico del biooil y del biocarbon, para determinar cuál de los tres aceites y carbones obtenidos tienen mayor importancia como combustible.
- Proponer un producto de valor agregado a partir de los resultados de la investigación.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Según Cardona Alzate, Carlos Ariel ; Sánchez Toro, Oscar Julián; Ramírez Arango, Julián Andrés; Alzate Ramírez, Luis Eduardo (2004) en Colombia se producen 27.300 toneladas de residuos sólidos al año, de los cuales el 65% son residuos orgánicos y el 35% inorgánicos. Además, solo el 40% de los sólidos recibe un manejo adecuado, de resto, el 50% tiene un manejo inadecuado y el 10% restante es recuperado mediante reciclaje.

Al respecto, la ciudad de Bucaramanga, capital del departamento de Santander, cuenta con una población de 509.918 habitantes y según un estudio realizado por la Alcaldía de Bucaramanga en el 2013 se generaron 900 toneladas diarias de residuos sólidos (Bucaramanga, 2013).

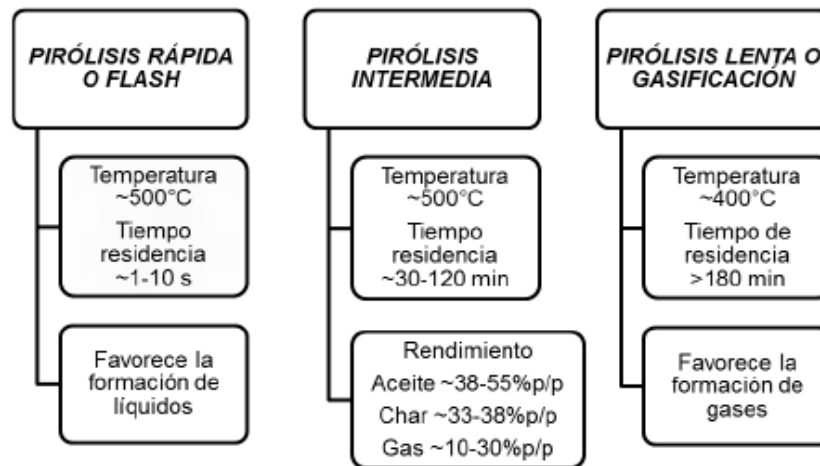
En este sentido, algunas actividades comerciales contribuyen en gran medida a la crisis sanitaria que enfrenta la ciudad, como la distribución y comercialización de productos agrícolas en plazas de mercado. Si se realiza una comparación a groso modo entre la cantidad de residuos sólidos producidos por la ciudad y la

producida en las plazas de mercado, resulta aproximadamente un 3,03% del total de los residuos producidos diariamente por los Bumangueses (sabalza Ramos & Villamizar Navas, 2009).

Como posible solución al problema anteriormente descrito existen varias opciones, entre ellas, la incineración, la cual se ha utilizado con el fin de evitar la acumulación de residuos en los rellenos sanitarios. Este método usa los RSU como combustible para generar vapor de agua y aprovechar la energía de la combustión con una turbina. No obstante, presenta varias limitaciones entre las que se pueden destacar: los altos costos de la tecnología implementada, la necesidad de mano de obra especializada, la producción de compuestos nocivos para la salud y la afectación al medio ambiente como: producción y emanación de furanos, volatilización de metales pesados, dioxinas, etc.

Otra alternativa es el sometimiento de algunos residuos sólidos orgánicos vegetales al proceso de pirolisis, proceso que se estudiara a largo de la investigación en 3 RSU específicos tales como: cascara de maíz, cascara de yuca y hojas de cebolla. Ahora bien, la pirolisis se puede definir como la descomposición térmica de un material orgánico en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. De este modo a partir de ella se puede obtener diferentes productos secundarios útiles en función de la tecnología, y del tratamiento que se les brinde a los mismos (ELIAS, 2005).

Figura 1. Tipos de pirólisis según las condiciones de operación



Fuente: (Teng, Lin, & Hsu, 2000)

1.5 MARCO CONCEPTUAL

1.5.1 Contenido lignocelulósico de las biomásas. Los desechos de las actividades agrícolas, tales como, las cascara, tusas, hojas, tallos, etc. Están constituidos mayoritariamente por 3 compuestos: lignina, celulosa y hemicelulosa (Xie, Yu, Duan, Li, & Wang, 2013). La cantidad de lignina puede oscilar entre el 10% y 40 por ciento (%) en base seca (Yang, Yan, Chen, Zheng , Lee, & Lia, 2006). Para ser más específicos en el caso de los materiales lignocelulósicos provenientes del maíz (tallos, hojas, cascara y tusas) tienen en promedio un 36 por ciento (%) de contenido de celulosa, un 23 por ciento (%) de hemicelulosa y un 17 por ciento de contenido de lignina (Quintero Ramírez, 2009).

Así mismo, los tallos y cascara de yuca presentan características estructurales y químicas similares, es decir, tienen un 13,2 por ciento de lignina, 39,83 por ciento de celulosa y un 13 por ciento de hemicelulosa (Niño López, Acosta Cárdenas, & Gelves Zambrano, 2013).

1.5.2 Características de la pirolisis. La pirolisis se encuentra definida como la descomposición térmica de un material orgánico, como madera, cascara de alimentos, polímeros, etc. Esta descomposición térmica se debe realizar en presencia mínima o nula de oxígeno. En efecto, variar condiciones de operación como: la tasa de calentamiento, la temperatura y el tiempo de residencia del material en el reactor, afecta, de manera directa la proporción de algunos productos de este proceso, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2. Tipo de tratamiento térmico según condiciones de operación

Tecnología	Tiempo	Tasa de Calentamiento	T [°C]	Producto Mayoritario
Carbonización	Horas - Días	Muy Pequeña	400	Sólido
Convencional	5 - 30 min	Pequeña	600	Gas y Líquido
Rápida	0 - 5 s	Intermedia	650	Gas y Líquido
Flash	< 1 s	Alta	< 650	Gas y Líquido
Ultrarrápida	< 0.5 s	Muy Alta	1000	Gas y Líquido

Fuente: (Horta & Silva, 2003)

Durante el proceso de pirolisis se llevan a cabo varias reacciones químicas en paralelo y en cadena. Por ejemplo de la pirolisis de madera, que en su gran mayoría está compuesta por celulosa, se desarrolla fundamentalmente de dos fases:

- En la primera fase a temperaturas hasta de 300 °C, se llevan a cabo reacciones de deshidratación y de reducción del grado de polimerización por ruptura de enlaces en las macromoléculas, dando lugar a la formación de radicales libres y grupos funcionales como: carbonilo, carboxilo e hidroperóxido (ELIAS, 2005).
- En la segunda fase a temperaturas que superan los 300 °C, se dan reacciones de despolimerización por transglicosilación, deshidratación, fisión, desproporcionamiento y repolimerización, obteniendo sustancias

como levoglucosano, furanos, oligosacáridos, y demás compuestos aromáticos. Por encima de los 400 °C la pérdida de masa del residuo (biocarbon) se da principalmente por la pérdida de sustituyentes alifáticos, acompañada de deshidrogenación con posterior reagrupamiento de los restos no volátiles (ELIAS, 2005).

En el caso de realizar el proceso de pirolisis con un material de alto contenido de lignina, se producirían del mismo modo reacciones de despolimerización por ruptura de enlaces, deshidratación y descarbonilación, pérdida de sustituyentes alifáticos, reagrupamiento de radicales libre y restos de craqueo. Ahora bien, por su composición química los alquitranes obtenidos, son en su gran mayoría de naturaleza fenólica. Por consiguiente los productos volátiles del proceso de pirolisis de materiales con gran contenido de lignina, presentan reacciones de polimerización, craqueo y descomposición secundaria (ELIAS, 2005).

El hecho que estos compuestos volátiles se vean afectados en mayor o menor proporción, se debe a la temperatura y el tiempo de residencia de los mismos en la sección de calentamiento (horno). Por consiguiente en el caso de la pirolisis intermedia que opera, valga la redundancia, a temperaturas intermedias y tiempos de residencia relativamente altos, se logra obtener rendimientos más altos de sólidos y líquidos durante el proceso y esto se debe a que la desvolatilización no es muy fuerte y además se posibilita la recombinación parcial de productos formados.

Los sistemas en los que se realizan procesos de pirolisis se pueden clasificar dependiendo de la forma en la que se le proporciona calor al proceso y estos son:

1. **Sistema alotérmico:** La transmisión de calor se da principalmente por conducción y radiación de las paredes. Por lo tanto el calentamiento es

indirecto. En este tipo de sistemas la pirolisis se realiza en ausencia de aire, generalmente ingresando al reactor un medio inerte como nitrógeno.

Entre las ventajas de este sistema se puede enunciar las siguientes: a) Al estar herméticamente sellado el sistema tanto en la zona de reacción como en la zona de las válvulas de salida de los volátiles acelera las reacciones de termoreducción; b) Evita la salida de olores y contaminantes durante el proceso; c) Permite la corrección in situ de la producción de ácidos en los gases producidos en el proceso; y d) Logra que los componentes inorgánicos como los metales pesados no se puedan volatilizar (ELIAS, 2005).

- 2. Sistema autotérmico:** La energía necesaria para que se ejecute el proceso proviene de una combustión parcial de la carga alimentada al reactor, esto se logra dejando en el reactor una cantidad mínima de aire en la zona de reacción. Por consiguiente el calentamiento que se le proporciona al proceso es directo.

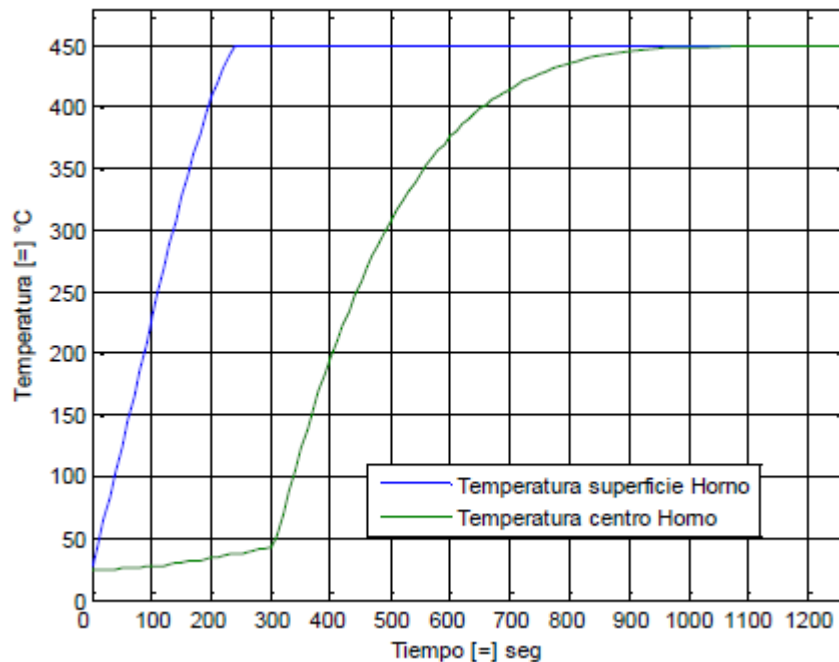
Las ventajas que ofrece este tipo de sistemas son: a) Aumenta la temperatura al interior del reactor provocando un mayor rendimiento en la producción de gas; b) Se aumenta la eficiencia térmica del reactor; y c) Proporciona un montaje más simple (ELIAS, 2005).

1.5.3 Características del reactor. El cuerpo del reactor es un tubo de acero A304 Sch40 de una longitud de 50 cm y un diámetro interno de 3,68 cm, este a su vez es calentado por horno tubular eléctrico que cuenta con una resistencia eléctrica de 25 cm de longitud y un diámetro de 4,826 cm que envuelve el cuerpo del reactor aportando 1800 w de potencia usando un voltaje de 110 v. la transferencia de calor al cuerpo del reactor se da por conducción y de manera uniforme a lo largo de las paredes del reactor.

Las resistencias eléctricas que aporta el calor necesario para que ocurra la reacción de pirolisis, están aisladas con el fin de evitar pérdidas con el ambiente usando malla Kaowool de un espesor de 5 cm y una conductividad térmica de 0,9 W/m*K como recubrimiento primario, que a su vez se encuentra recubierta con una capa de cerámica refractaria que brinda un mayor aislamiento térmico y que es envuelta por una lámina de acero A304L de 0,03 cm de espesor, 20 cm de diámetro y 36 cm de longitud.

El control de la temperatura del reactor se realiza empleando una termocupla tipo K, de rango de -200 °C a 1372 °C que actúa como sensor; que a su vez está conectada a un indicador-controlador electrónico EBHQ 58008 con el cual se fija el punto de control durante se realiza el proceso. La velocidad promedio de calentamiento del dispositivo es de 23 °C/min como se muestra en la siguiente figura (Beltran Barrera & Rojas Reyes, 2014).

Grafica 1. Distribución de temperaturas para la resistencia y el interior del horno (centro del reactor)

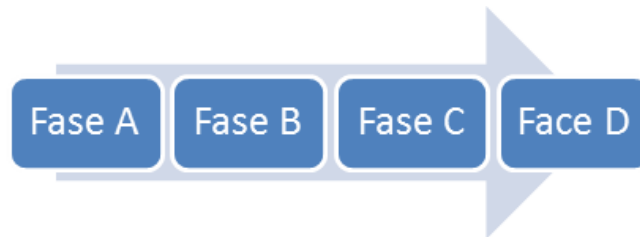


Fuente: (Beltran Barrera & Rojas Reyes, 2014)

2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo con éxito este estudio se dividió todo el proceso en cuatro fases como se indica a continuación en la figura:

Figura 2. Metodología desarrollada



2.1 FASE A: FORMULACIÓN Y PLANTEAMIENTO

En vista de la necesidad que tiene la ciudad de Bucaramanga al presentar una emergencia sanitaria, se realizó una revisión bibliográfica teniendo como objetivo el manejo de residuos sólidos. En este sentido, se percibió que el proceso de pirolisis es mencionado en varias referencias como una alternativa para disponer de los residuos. Lo anterior conllevó a plantear y formular el problema que esta investigación busca remediar. Por consiguiente se decidió aplicar el proceso de pirolisis a tres biomásas vegetales, los cuales son residuos de plazas de mercado, caracterizando los productos de este proceso y evaluando si alguno de estos productos (Biooil y biocarbon) pueden ser una buena fuente energética.

2.2 FASE B: PRUEBAS EXPERIMENTALES

Para realizar con éxito esta etapa las biomásas seleccionadas para ser sometidas a este proceso (cascara de maíz, cascara de yuca y hojas de cebolla

larga) deben pasar primero por un pre-tratamiento (ver Anexo A) antes de ser alimentadas al reactor y poderse realizar el proceso de pirolisis.

Al tener la biomasa ya tratada se procedió a realizar la limpieza y carga del reactor como se indica en el manual del reactor (ver anexo B) y se fijaron las condiciones de operación las cuales son: una temperatura de 470°C, presión atmosférica y durante un periodo de una hora. Se realizaron tres pruebas por biomasa, cargando el reactor con valores entre los 48,5 g y 50,5 g de biomasa.

2.2.1 Cierre del balance de masa. El cierre del balance de materia se realizó mediante un cálculo que supone que la masa que no se encuentra como biocarbon o como biooil fue gasificada, consistente en realizar una resta de la masa neta de la biomasa que se alimentó al reactor con los valores netos respectivos de biocarbon y biooil obtenidos durante el proceso de pirolisis. Este cálculo se hace necesario ya que el sistema no cuenta con un dispositivo para cuantificar la cantidad de gas que sale del reactor.

Biogás producido = Biomasa alimentada - (Biocarbon producido + Biooil producido)

Para proceder a la siguiente fase, es pertinente señalar que la misma se hizo necesaria para comprobar que las pruebas realizadas durante esta etapa tuvieran una desviación estándar aceptable y se encontraran dentro del intervalo de confianza estimado.

2.2.2 Verificación de la reproducibilidad del sistema. Para verificar que las pruebas realizadas a las condiciones ya descritas seguían una cierta tendencia o reproducibilidad se realizó un tratamiento estadístico con los datos obtenidos en esta fase de la investigación, verificando que el sistema presentara una desviación estándar aceptable y estableciendo un intervalo de confianza según

las pruebas realizadas. Para realizar este cálculo se usaron las siguientes ecuaciones (Beltran Barrera & Rojas Reyes, 2014):

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

$$\bar{y} - z_{\alpha/2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{y} + z_{\alpha/2} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

2.3 FASE C: ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS

2.3.1 caracterización del biocarbon. Se realizó un análisis próximo del biocarbon TGA usando una balanza termogravimétrica AT 2050 de la marca TA instrumentens empleando la norma ASTM D7582.

Este análisis reportó datos de porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas y porcentaje de volátiles, los cuales permitieron corroborar que el proceso de pirolisis se llevó a cabo con éxito.

Así mismo se hicieron pruebas de poder calorífico usando una bomba calorimétrica o bomba de oxígeno de marca Bicasa en el laboratorio de pirometalurgia de la Universidad Industrial de Santander (UIS), cuantificando el poder calorífico de 2 muestras de cada una de las biomásas, usando 10 cm de alambre fusible Ni-Cr y aplicándole a la muestra oxígeno a 30 atmosferas, para asegurar la combustión completa.

Por último, se midió la densidad del biocarbon utilizando una probeta de 20 ml en la cual se pesó la muestra de la misma para proceder para proceder su inmersión en agua destilada, registrando el volumen desplazado por la muestra.

2.3.2. Caracterización del biooil. El líquido obtenido del reactor está conformado por 2 fases inmiscibles, uno es agua y el otro, el biooil. Esto con el fin de separar la fracción de biooil de la de agua, por lo que se sometieron las muestras al proceso de decantación.

Ahora bien, para determinar las sustancias presentes en el biooil se diluyó una fracción del mismo de 0,5 ml aproximadamente en 10 ml de una sustancia polar aprótico (diclorometano), polar prótico (metanol) y de una no polar (hexano).

Las muestras diluidas de biooil fueron analizadas por cromatografía GC/MS (columna HP-5MS), siguiendo el siguiente método: temperatura del horno 50°C por 2 min, rampa de 5°C/min hasta 290°C durante 2 min (tiempo total 52 min), 30 inyector 270°C, flujo gas transportador helio: 0,8747 ml/min, modo Split 100:2 y detector a 270°C. (Beltran Barrera & Rojas Reyes, 2014).

De igual manera al biooil se le Realizaron pruebas de poder calorífico usando las mismas condiciones descritas en la caracterización del biocarbon. Se determinó la densidad de los aceites usando un picnómetro de 2 ml el cual se calibro con agua destilada y se realizó el respectivo cálculo.

Por último, se midió el PH de cada una de las muestras que se recolectaron del proceso de pirolisis con cinta de papel indicadora con una escala de 0,5.

2.4. FASE D: RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Esta fase constituye una de las etapas más significativas para la investigación, debido a que en ella se tuvo como objetivo realizar el análisis de todos los cálculos y resultados obtenidos para dar como fin las conclusiones y las recomendaciones, las cuales expresan además del resultado de la investigación, la utilidad y viabilidad de la misma resaltando algunas falencias y aportando algunos criterios para próximas investigaciones.

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA

Como último paso del tratamiento de la biomasa se realizó un análisis TGA para saber la cantidad de cenizas, humedad, volátiles y carbón fijo que tiene la biomasa al ser alimentada al reactor. Obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 3. Análisis próximo y densidad de las biomosas después del pre tratamiento.

Tipo biomasa	de	Peso [mg]	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas	Densidad [g/ml]
Cáscara maíz	de	13,95	10,33	87,26	0,24	2,19	0,27
Cáscara yuca	de	18,89	4,40	90,96	0,14	4,49	0,67
hojas cebolla	de	10,52	5,12	89,12	0,02	5,73	0,33

Como se puede apreciar el pre-tratamiento realizado a la biomasa antes de ser alimentada al reactor, fue el adecuado, ya que se logró determinar el porcentaje de humedad requerido para poderse desarrollar con éxito el proceso de pirólisis. Dicho valor de humedad fue menor o igual al 10% en peso (ELIAS, 2005). Además, se puede apreciar que el porcentaje de volátiles presentes en cada una de las biomosas fue alto y coincidió con los valores reportados por (Calderón & Torres Albarracín, 2012) y (Beltran Barrera & Rojas Reyes, 2014).

3.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.2.1 Cierre del balance de masa. Los resultados del cierre del balance de masa se muestran en la tabla 4, esta operación se ejecutó con ayuda del balance global de materia determinando los siguientes valores

Tabla 4. Balance de masa de las pruebas desarrolladas

Balance de masa			
Cascara de mazorca			
Prueba	Biocarbon [g]	Biooil [g]	Biogas [g]
1	19,29	14,73	15,26
2	19,89	13,87	15,82
3	18,4	14,25	17,1
Cascara de yuca			
Prueba	Biocarbon [g]	Biooil [g]	Biogas [g]
1	18,37	10,89	20,79
2	18,5	12,04	19,01
3	17,86	11,46	19,83
Hojas de cebolla			
Prueba	Biocarbon [g]	Biooil [g]	Biogas [g]
1	19,83	8,24	21,88
2	20,39	8,3	20,07
3	18,58	9,67	21,3

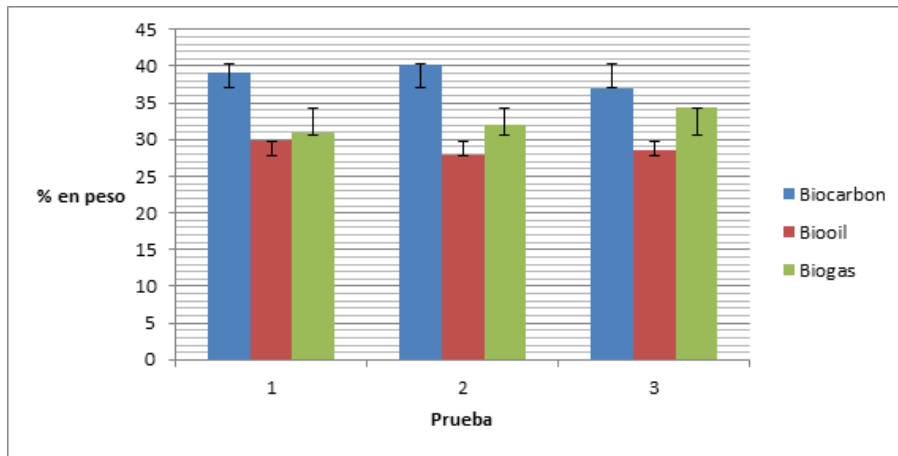
Ahora bien, al realizar el cierre del balance de masa y observar los valores obtenidos, se puede apreciar que estos rendimientos son muy similares a los conseguidos por las pruebas desarrolladas por los autores Beltran Barrera y Rojas Reyes (2014), las cuales se realizaron en condiciones de operación muy similares y usando el mismo sistema.

Además, cabe resaltar que el producto del cual se obtuvo en menor proporción, fue el biooil, este resultado se puede atribuir a la naturaleza del sistema, ya que el proceso es un híbrido entre un proceso alotérmico y autotérmico. El último se da, debido a que el diseño del equipo permite que en la zona de reacción haya una cantidad pequeña de aire, aspecto que contribuye en mayor medida a la formación de gas, ocurriendo una combustión parcial del material que aumenta la efectividad térmica del reactor y acelerando el ascenso de la temperatura durante el proceso (ELIAS, 2005).

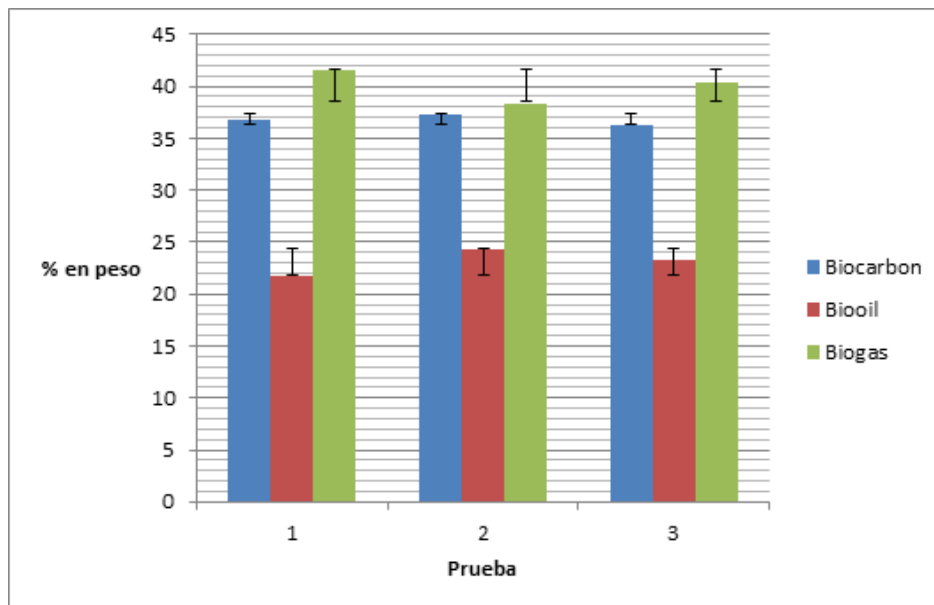
3.2.2 Verificación de la reproducibilidad del sistema. Se realizaron 3 pruebas por cada biomasa seleccionada para la investigación, cada uno de estos 9 ensayos que se ejecutaron en total, fueron realizados bajo las mismas

condiciones de operación las cuales eran: temperatura: 470 °C, presión: atmosférica: 0,895 atm en Bucaramanga y una cantidad de biomasa alimentada promedio de 49,51 g. A continuación se presentan los gráficos de los rendimientos máxicos y de porcentaje en peso con su respectiva desviación estándar de cada una de las biomazas y su respectiva prueba.

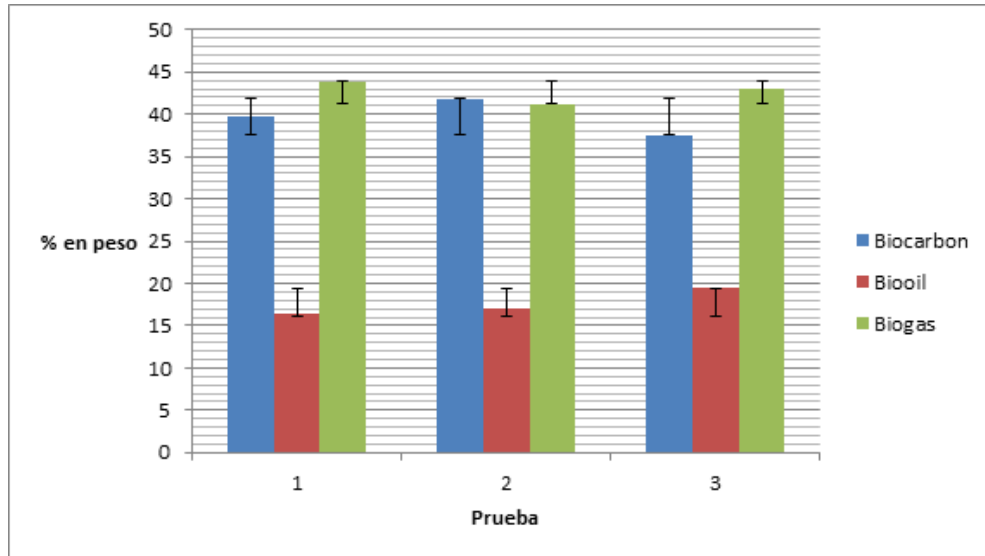
Grafica 2. Variación de los rendimientos de los productos de pirolisis a partir de cascaras de maíz.



Grafica 3. Variación de los rendimientos de los productos de pirolisis a partir de cascara de yuca



Grafica 4. Variación de los rendimientos de los productos de pirolisis a partir de hojas de Cebolla



Con los valores obtenidos del balance de masa se calculó la desviación estándar de cada uno de los productos y también el valor promedio de cada producto. Esto con el fin de observar si hay alguna prueba que pudo presentar algún dato atípico debido a alguna posible variable que perturbo el proceso de manera considerable.

Además se calculó un intervalo de confianza del 80 por ciento para cada uno de los productos que se lograron recolectar por biomasa. Los cuales se muestran en la siguiente tabla junto con la desviación estándar y el promedio de la variable a evaluar que en este caso son los rendimientos máxicos y porcentuales del proceso de pirolisis.

Tabla 5. Tratamiento estadístico e intervalos de confianza del 80% de las pruebas realizadas.

Cascara de maíz				
Producto	Ȳ [%p]	σ [%p]	Int. inferior [%p]	Int. superior [%p]
Biocarbon	38,75	1,60	38,00	39,49
Biooil	28,84	0,97	28,38	29,29
Biogas	32,41	1,76	31,59	33,23
Cascara de yuca				
Producto	Ȳ [%p]	σ [%p]	Int. inferior [%p]	Int. superior [%p]
Biocarbon	36,79	0,50	36,56	37,03
Biooil	23,12	1,28	22,53	23,72
Biogas	40,08	1,60	39,34	40,83
Hojas de cebolla				
Producto	Ȳ [%p]	σ [%p]	Int. inferior [%p]	Int. superior [%p]
Biocarbon	39,67	2,16	38,67	40,67
Biooil	17,68	1,61	16,93	18,43
Biogas	42,65	1,35	42,02	43,28

Como se puede apreciar en la tabla 5 los valores promedio del porcentaje en peso de cada uno de los productos estuvo dentro del intervalo de confianza lo que en confirma que el sistema si tiene una reproducibilidad.

3.3 CARACTERIZACION DE LOS PRODUCTOS DEL PROCESO DE PIROLISIS

3.3.1 Caracterización del biocarbon. Se realizó un análisis TGA a las muestras de biocarbon que se obtuvieron de aplicar el proceso de pirolisis a cada una de las biomásas obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 6. Análisis último y densidad del biocarbon.

Tipo biomasa	de	Peso [mg]	% Humedad	% Volátiles	% Carbón fijo	% Cenizas	Densidad [g/ml]
Cáscara	de	6,34	3,72	87,71	0,58	7,99	0,16
Cáscara	de	3,85	4,09	81,55	3,73	10,62	0,20
hojas	de	6,15	6,63	70,03	0,22	23,12	0,18
cebolla							

Los datos de la tabla 6 confirman que el proceso de pirolisis se cumplió de forma satisfactoria ya que el porcentaje de cenizas es bajo y la cantidad de volátiles presente en las muestras son altos al compararlos con los datos de porcentaje de cenizas de la tabla 7 datos que también refleja que tanto como las condiciones de operación como el reactor usado fueron altamente eficientes y son similares a los obtenidos por (Beltran Barrera & Rojas Reyes, 2014) y (Calderón & Torres Albarracín, 2012).

Tabla 7. Análisis elemental y porcentaje de cenizas de algunos biocarbones a partir de diferentes biomásas

Tipo de Biocarbón	Temperatura	Composición elemental (% p/p)*				Cenizas
	[°C]	C	H	O	N	(% p/p)
Mezcla de álamo y sauce	450	63.58	2.35	20.16	1.17	12.74
	500	63.84	2.21	19.04	1.11	13.8
	550	62.83	1.97	19.27	1.01	14.92
Maíz	450	58.82	2.15	14.17	1.88	22.98
	500	54.97	2.05	13.75	1.95	27.28
	550	44.19	1.56	22.73	1.79	29.73
Prado	450	59.38	2.44	16.67	1.78	19.73
	500	57.93	2.21	17.34	1.72	20.8
	550	55.24	1.83	17.63	1.66	23.64

Fuente: (Břendová, Tlustoš, Száková, & Habar, 2012)

Por otro lado los resultados obtenidos de las pruebas de poder calorífico que se realizaron por duplicado y son los siguientes:

Tabla 8. Poder calorífico del biocarbon.

Producto	Biomasa	Poder calorífico promedio [KJ/Kg]
Biocarbon	Cascara de maíz	30.758,61
Biocarbon	cascara de yuca	26.971,68
Biocarbon	cascara de cebolla	29.161,29

Al comparar los resultados obtenidos con el poder calorífico del carbón mineral como por ejemplo: el que es extraído del cerrejón que presenta un poder calorífico entre 29.767,68 KJ/Kg y 30.000,24 KJ/Kg (Ajiaco Castro, 2011) valores que son muy cercanos a los obtenidos por los biocarbones producto del proceso de pirolisis.

3.3.2. Caracterización del biooil. Las propiedades fisicoquímicas de los aceites obtenidos a partir de las tres biomásas seleccionadas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Densidad, ph y poder calorífico del biooil.

Tipo de biooil	Densidad [g/ml]	Ph	Poder calorífico promedio [KJ/Kg]
casaca de maiz	1,012	2,50	3.385,79
casaca de yuca	1,013	2,83	4.039,18
hojas de cebolla	1,011	2,33	3.771,85

Los valores de densidad y poder calorífico varían respecto a los valores reportados por Alvarez Gil (2012) y Calderón & Torres Albarracín (2012) tienen variaciones bastante interesantes y puede deberse a altos contenidos de humedad en los aceites, ya que en el caso de las densidades los valores reportados por los autores varía entre 1,1 g/ml y 1,2 g/ml.

Del mismo modo, en cuanto al poder calorífico respecta en la literatura se apreciaron valores que oscilaban entre 8798,48 KJ/Kg (Calderón & Torres Albarracín, 2012) y 21746,25 (Alvarez Gil, 2012). En contraste, al comparar los valores obtenidos con los del biodiesel la diferencia es realmente grande ya que este posee un poder calorífico de 45599,99 kJ/kg (Gutiérrez Gómez, 2006).

Así mismo, los resultados de pH que se pueden apreciar si se acercan a los reportados por Alvarez Gil (2012) y Calderón & Torres Albarracín (2012) ya

que los dos autores reportan datos entre 2,7 y 3 lo que confirma el carácter ácido del biooil.

Por último, del análisis cromatográfico realizado al biooil, se muestran en la siguiente tabla los compuestos más representativos presentes en los aceites. En su gran mayoría son compuestos aromáticos esto se debe a la despolimerización causada por el proceso de pirólisis de la lignina, celulosa y hemicelulosa las cuales son las sustancias que conforman en su gran mayoría a las biosamas.

Tabla 10. Composición química del biooil

Compuesto	Cáscara De Maíz	Cáscara De Yuca	Cáscara De Cebolla
Ciclobutano			X
Ciclobutano, Etenilo		X	
Ciclohexano		X	
Ciclohexeno	X		
Fenol	XXX	XX	X
Fenol, 4-Etil	Xx		
Fenol, 2-Metil		Xx	X
Fenol, 3-Metil		X	
Fenol, 4-Metil	Xx	X	X
Fenol, 2-Metoxi	Xx	Xx	X
Fenol, 2,6-Dimetoxi	Xx	X	X
Fenantreno	X		
Metano, Dicloro			X
Metano, Tricloro			X
Piridina		X	X
Piridina, 2-Metil		X	
Etanona, 1-(2-Furanil)		X	
Etilciclopentenolona		X	

Solvente	Convención
Diclorometano	X
Hexano	X
Metanol	X

Tabla 11. Composición química del biooil

Compuesto	Cáscara De Maíz	Cáscara De Yuca	Cáscara De Cebolla
Eicosano	X		
Eicosano, 10-Metil	X		
Tetracosano	X		
Pentano, 2-Metil	X	X	X
Nonano		X	
Nonadecano	X		
Benceno, 1,4-Dimetoxi	X	X	
Bencenoetanol, 2-Metoxi	X		
2-Propanona		X	
2-Propanona, 1-(Acetiloxi)	XX	X	
2-Ciclopenten-1-Ona	X		
2-Ciclopenten-1-Ona,2-Metil		XX	X
2-Ciclopenten-1-Ona, 2,3 Dimetil		XX	X
2-Ciclopenten-1-Ona,3-Metil	X	XX	X
2-Ciclopenten-1-Ona, 3-Etil-2-Hidroxi		X	
2-Ciclopenten-1-Ona, 2-Hidroxi-3-Metil	XX	XX	
2-Metoxifenol	X		
2-Furanmetanol	XX	X	XX
2-Furancarboxaldehido	XX		
2-Furancarboxaldehido, 5-Metil	X		
Guaiacol, 4-Etil	X		X
1h-Pirazol, 3,5-Dimetil	X		
N-Benzoilo-3-(Hidroximetil)Piperidina	X		
1-Hidroxi-2-Metoxi-4-Metilbenceno			X
Metil 2-Metoxicarbonil-3-Metil-3-Butenoato	X		

Solvente	Convención
Diclorometano	X
Hexano	X
Metanol	X

Se visualiza una gran cantidad de fenoles, grupos carboxilos y carbonilos unidos ciclos 4 a 6 carbonos y furanos, esto debido a la naturaleza del sistema y de la materia prima alimentada al proceso estos compuestos coinciden con los reportados por (Beltran Barrera & Rojas Reyes, 2014) y (Calderón & Torres Albarracín, 2012). Los espectros cromatográficos se encuentran en el anexo E.

4. CONCLUSIONES

Las condiciones de operación escogidas cumplieron con los requerimientos del objetivo principal planteado en el trabajo de investigación, el cual era llevar a cabo el proceso de pirolisis garantizando su reproducibilidad, y analizar dos productos del mismo (biocarbon y biooil). El biocarbon emitió un poder calorífico similar al del carbón mineral. por lo que se ve viable el uso de briquetas de biocarbon como combustible, sustituyendo así al carbón de origen fósil. Asimismo, fue de gran importancia que el rendimiento proporcionado por el biocarbon, producido a partir de cáscara de maíz, siendo este el más alto.

Por otra parte, el biooil, este presentó un poder calorífico sumamente bajo respecto al diesel de origen fósil, descartando su uso como recurso energético. No obstante, se encontró una alta presencia de compuesto derivados del fenol, los cuales podrían ser extraídos y usados como materia prima para obtener productos de valor agregado.

Finalmente, se considera que la industrialización del proceso de pirolisis podría ser una posible solución al problema de manejo de residuos sólidos, obteniendo productos de valor agregado como las briquetas de biocarbon o la extracción de compuestos de biooil mitigando la acumulación y los daños ambientales generados por los mismos.

5. RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo de la investigación se presentaron varias limitaciones las cuales afectaron de manera directa la investigación, las cuales serán presentadas a continuación con su respectiva recomendación.

- El tiempo de análisis de las muestras: Este factor es determinante y comprende el tiempo transcurrido entre la prueba en el reactor y el análisis en el laboratorio de los tres productos de la pirolisis; Ya que algunos productos, como el biooil puede presentar reacciones de oxidación y de reagrupamiento debido al gran tiempo que se mantuvo dentro del recipiente en el que se encuentra almacenado afectando el análisis cromatografico. Como recomendación se propone asegurarse que las muestras serán en el menor tiempo posible después de la prueba en el reactor.
- Los costos del proyecto: teniendo en cuenta que los recursos económicos para el desarrollo de mismo serán aportados por los investigadores. Se recomienda un apoyo económico por parte de la universidad para algunas pruebas que no se pudieron realizar en este trabajo como análisis elemental y humedad del biooil.
- Instrumentación del reactor: El reactor está diseñado para operar a una temperatura máxima de 700°C y posee una termocupla que mide la temperatura de las resistencias eléctricas que aportan el calor en la zona de reacción. Se sugiere adaptar otra termocupla que indique la temperatura de la zona de reacción para de este modo saber la temperatura real del proceso de pirolisis dada la naturaleza del sistema.

BIBLIOGRAFIA

AJIACO CASTRO Fredy Stid. *Evaluación del comportamiento térmico de carbones del Cerrejón, carbones coquizantes y sus mezclas en la producción de coque metalúrgico*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Bogotá, Colombia. 2011. P 34-107 [en línea] [citado 10 de abril de 2015] disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3958/1/197486.2011.pdf>

ALVAREZ GIL, Pedro. José. *Optimización Del Proceso De Producción De Biooil A Partir De Bagazo De Caña De Azucar Por Pirolisis Intermedia*. Bucaramanga. Universidad Industrial De Santander, Facultad De Ingeniería Físico –Química, Escuela De Ingeniería Química Bucaramanga 2012 [en línea] [citado 11 de abril de 2015] disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/146744.pdf>

ÁLVAREZ, A. S. *Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales mediante el uso de tratamientos térmicos de avanzada*. 2014. [en línea] [citado 15 de abril de 2015] disponible en: http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_253_240314_es.pdf

BELTRAN BARRERA, A. G., & ROJAS REYES, I. R. *Diseño y montaje de un reactor a escala laboratorio para el tratamiento de biomasa vegetal residual procedente de plazas de mercado de Bucaramanga*. Universidad Industrial De Santander, Facultad De Ingenierías Físicoquímicas, Escuela De Ingeniería Química. Bucaramanga, 2014. . [en línea] [citado 15 de marzo de 2015] disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/151734.pdf>

BŘENDOVÁ, K., TLUSTOŠ, P., SZÁKOVÁ, J., & HABAR, J. Biochar Properties From Different Materials Of Plant Origin. *European Chemical Bulletin*. Vol 11.. 2012. [en línea] [citado 10 de marzo de 2015] disponible en: <http://www.eurchembull.com/index.php/ECB/article/view/116>

ALCALDIA DE BUCARAMANGA, A. d. *Bucaramanga capital sostenible*. Boletín de Prensa 609. 27 de Mayo de 2013. [en línea] [citado Febrero 10 de 2015] disponible en: http://www.bucaramanga.gov.co/prensa/Boletines/Boletin_web/2013/05/270513-690.html

CALDERÓN, M. F., & TORRES ALBARRACÍN, A. L. *Diseño y puesta en marcha del montaje de una planta piloto a escala laboratorio para producción de bio-oil a partir de biomasa mediante pirólisis*. Universidad Industrial De Santander, Facultad De Ingenierías Físicoquímicas, Escuela De Ingeniería Química. Bucaramanga. 2012. [en línea] [citado 15 de marzo de 2015] disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6852/2/144093.pdf>

CARDONA ALZATE, Carlos Ariel ; SÁNCHEZ TORO, Oscar Julián; RAMÍREZ ARANGO, Julián Andrés; ALZATE RAMÍREZ, Luis Eduardo. Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 2004. [en línea] [citado 11 de marzo de 2015] disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/529>

DÍAZ, S. J. *Análisis de la producción de aceite y char por pirólisis intermedia del caucho proveniente de llantas usadas*. Universidad Industrial De Santander, Facultad De Ingenierías Físicoquímicas, Escuela De Ingeniería Química. Bucaramanga. 2013 p 15-20

DUÑABEITIA, R. B. *Aprovechamiento termoquímico de la biomasa*. Grupo de Procesos Termoquímicos, Instituto de Investigación en Ingeniería en Aragón (I3A) Universidad De Zaragoza. 2009. [en línea] [citado 11 de marzo de 2015] disponible en: http://benasque.org/2009fronterasenergia/talks_contr/072Aprovechamiento_Biomasa.pdf

ELIAS, X. *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. p. 700-1240. 2005.

FERNÁNDEZ, L. E. *Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá, D.C., Colombia. p.54 .2011

GÓMEZ, A., KLOSE, W., RINCÓN, S., & WIEST, W. Transformación termoquímica de la biomasa residual del proceso de extracción del aceite de palma: tecnologías y perspectivas. *Palmas*. 2004. [en línea] [citado 11 de marzo de 2015] disponible en: <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Ftemporal-fedepalma-ojs.biteca.com%2Findex.php%2Fpalmas%2Farticle%2Fdownload%2F1104%2F1104&ei=wHRvVaToAfDfsASji4GoDw&usg=AFQjCNG1twhFyXwEsZFHZ2QktExdPLmQqg&sig2=djtwfvUoekvAPSBuyBalgQ&bvm=bv.94911696,d.cWc>

GONZÁLEZ, D. L.. *Valoración de Biomasa de origen vegetal mediante procesos térmicos y termoquímicos*. Universidad De Castilla-La Mancha, Facultad De Ciencias Y Tecnologías Químicas, Departamento De Ingeniería Química Ciudad Real. 2013. [en línea] [citado 16 de marzo de 2015] disponible en: <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/3393/TESIS%20L%C3%B3pez%20Gonz%C3%A1lez.pdf?sequence=1>

GUTIÉRREZ GÓMEZ, F. *Estudio preliminar para la optimización y análisis económico para la producción de biodiesel en la planta piloto del ITESM a partir de aceite vegetal usado*. Monterrey México. 2006. [en línea] [citado 12 de marzo de 2015] disponible en: https://books.google.com.co/books/about/Estudio_preliminar_para_la_optimizaci%C3%B3n.html?id=S9PwNwAACAAJ&redir_esc=y

HORTA, L., & SILVA, L. *Dendroenergía, Fundamentos e aplicações*. Rio de Janeiro: Editora Interciencia. P. 40-220, 2003

INGUANZO, O. M. (2004). *Valoración energética y medioambiental de lodos de EDARs mediante pirólisis*. Universidad De Oviedo. Departamento De Ingeniería Química Y Tecnología. Del Medio Ambiente [en línea] [citado 12 de marzo de 2015] disponible en: http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fdigital.csic.es%2Fbitstream%2F10261%2F4526%2F1%2FTesis%2520Montse.pdf&ei=XnhvVaOXM8XfsASltYPABw&usg=AFQjCNEVhwACY9VlimVntOT189cFAhgKSQ&sig2=NvwEQBRyXu0u8e_9qRedzQ&bvm=bv.94911696,d.cWc

MONTOYA GÓMEZ, N. J. *Análisis de la Viabilidad de Obtención de Bioetanol a partir de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU)*. p.64-81. Universidad Castilla de La Mancha Ciudad Real. [en línea] [citado 12 de marzo de 2015] disponible en: <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fjournal.ean.edu.co%2Findex.php%2FRevista%2Farticle%2Fdownload%2F816%2F787&ei=qHpVZy5BejLsATlo4HwCg&usg=AFQjCNHQpuk66Q545sZJHegAgC9nwt2tDA&sig2=nF7XnBSjkHB26xXybHaXNg&bvm=bv.94911696,d.cWc>

MORALES, L. A. *Análisis de los parámetros y Selección de hornos para la combustión de biomasa*. Guayaquil. 2009. [en línea] [citado 12 de marzo de 2015] disponible en: <http://es.scribd.com/doc/126861563/Tesis-Biomasa-Pa#scribd>

NIÑO LÓPEZ, L., ACOSTA CÁRDENAS, A., & GELVES ZAMBRANO, R. Evaluación de pretratamientos químicos para la hidrólisis enzimática de residuos lignocelulósicos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N. °69 pp. 317-326, Diciembre, 2013

ORJUELA CASTRO, J. A., RAMÍREZ ROMERO, C. X., & LINARES TORRES, K. V. . Procesos productivos para la obtención de agro combustibles. *Studiositas*. 2010

PINEDO, A. U. *Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual*. 2013

QUINTERO RAMÍREZ, R. Segundo Seminario de Divulgación Ventajas y Desventajas de las Energías Alternativas: El Caso de los Biocombustibles. México, D. F. p.59. 2009

SABALZA RAMOS, O., & VILLAMIZAR NAVAS, O. A. *Evaluación del potencial energético de los residuos sólidos provenientes de plazas de mercado y diseño conceptual de una planta de digestión anaerobia para su aprovechamiento industrial en Colombia*. Universidad Industrial De Santander, Facultad Físicoquímicas. Bucaramanga. 2009. . [en línea] [citado 12 de marzo de 2015] disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6440/2/129397.pdf>

TENG, H., LIN, Y.-C., & HSU, L.-Y. Production of Activated Carbons from Pyrolysis of Waste Tires Impregnated with Potassium Hydroxide. *Journal of the Air & Waste Management Association*. p 125. 2000

XIE, H., YU, Q., DUAN, W., LI, X., & WANG, K. Pyrolysis characteristics and kinetics of lignin derived from three agricultural wastes. *Renewable Sustainable Energy*. p 147. 2013

YANG, H., YAN, R., CHEN, H., ZHENG , C., LEE, D. H., & LIA, D. T. . In-Depth Investigation of Biomass Pyrolysis Based on Three Major Components: Hemicellulose, Cellulose and Lignin. *Energy Fuels*. p 450-500. 2006

ANEXOS

Anexo A Pre-tratamiento De La Biomasa

Para poder realizar con éxito el proceso de pirolisis la biomasa que es alimentada al reactor debe cumplir con ciertos requisitos tales como:

1. Debe tener una humedad menor o igual al 10%.
2. Debe tener un tamaño similar al de las virutas de aserrín con el fin de que no generen frentes térmicos muy altos en el reactor.

Ahora bien, el primer paso de este proceso es la reducción del tamaño de la biomasa, ya que originalmente esta se encuentra en tamaños significativamente grandes, por lo que se procedió a picar las biomazas en rectángulos de aproximadamente medio centímetro de ancho y entre 2 y 3 centímetros de largo.



El segundo paso fue pesar y posteriormente acomodar la biomasa en bandejas de acero esmaltadas para ser ingresadas a la mufla.



Estando acomodada la biomasa en las bandejas se procedió a fijar las condiciones de la mufla, es decir a 104°C recirculación de aire y durante un tiempo de 12 horas.



Transcurridas las 6 horas se revolvió la biomasa contenida en las bandejas para asegurar un secado uniforme y lógicamente se siguió con el secado.

Como paso final para comprobar que la biomasa estuviere seca hasta el punto deseado se maceraron muestras al azar de cada biomasa para ser sometidas a un análisis TGA.



Al tener los datos del análisis TGA y corroborar que se obtuvo la humedad deseada se empacó la biomasa en bolsas tipo ziplo herméticas en porciones de 50 gramos netos aproximadamente.



Anexo B Manual Técnico del Reactor de Pirolisis

MANUAL TECNICO DEL REACTOR DE PIROLISIS

- PRBR MARK II -

ANGEL GABRIEL BELTRAN BARRERA

IVAN RODRIGO ROJAS REYES

Verificado

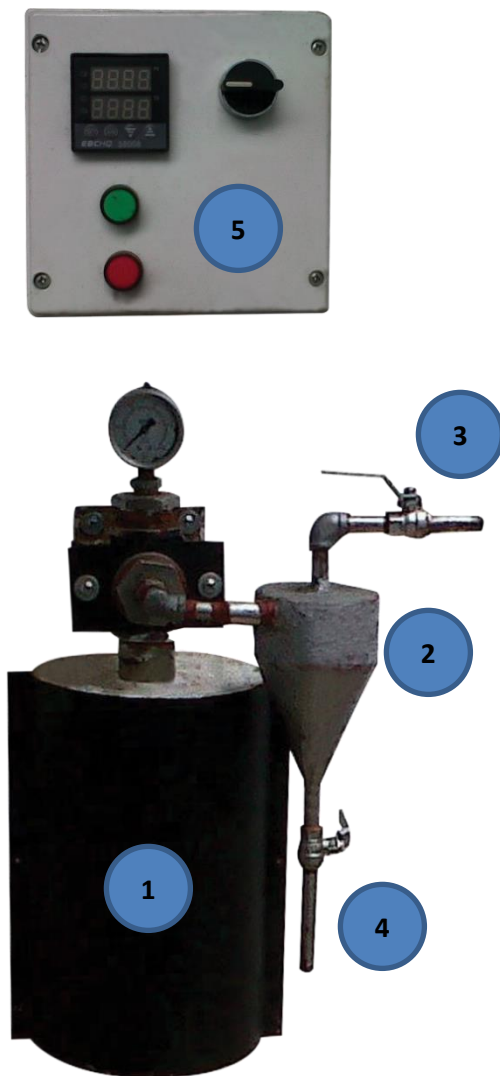
LUIS MARIANO IDARRAGA BERNAL

Ingeniero Químico, Msc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA, 2014**

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema está conformado por cuatro (4) zonas, una zona de calentamiento en la cual se lleva a cabo la reacción de pirólisis, una zona de enfriamiento y condensación, una zona de salida de gases y una zona de recolección de líquidos pirolíticos. Se explicará a continuación en detalle cada una de las zonas que conforman el equipo y el funcionamiento de cada una de ellas.



1. Zona de calentamiento y reacción.
2. Zona de enfriamiento y condensación.
3. Salida de gases.
4. Salida de líquidos pirolíticos.
5. Sistema de control de temperatura.

1.1. ZONA DE CALENTAMIENTO Y REACCIÓN

En esta zona se lleva a cabo la reacción de pirólisis de la biomasa vegetal residual, a una temperatura de 450°C. Una resistencia tubular eléctrica de 1800W es la encargada de proporcionar calor al sistema, su diseño garantiza una transferencia de calor conductiva uniforme a lo largo de las paredes del reactor, la velocidad media de calentamiento es de 23 °C/min. El control de temperatura del reactor se realiza por medio de una termocupla tipo K (rango de temperatura de -200 °C a +1372 °C) conectada a un indicador-controlador electrónico EBCHQ 58008, en este se fija el set point de temperatura del sistema de 450°C. Como medio aislante se utiliza malla Kaowool con un espesor de 5 cm y conductividad térmica de 0.9 W/m·K, una capa externa de cerámica refractaria envuelve el Kaowool dando un mayor aislamiento térmico y una carcasa elaborada con un cilindro de 20 cm de diámetro y 36 cm de longitud, acero A304L con 0.03 cm de espesor conforma la carcasa externa de la zona de calentamiento. El cuerpo del reactor fue elaborado con un tubo de acero A304L Sch40 con una longitud de 50 cm y diámetro interno de 3.68 cm. Una vez terminado el proceso de pirolisis y posterior enfriamiento del reactor, 4 horas aproximadamente se procede a su descarga para la recuperación del biochar.

1.2. ZONA DE ENFRIAMIENTO Y CONDENSACIÓN

En esta etapa del proceso se busca disminuir la temperatura efluentes gaseosos obtenidos durante el proceso de pirolisis desde 450°C hasta una temperatura ambiente, con el fin de separar la fracción gaseosa de la de condensables. Esta zona cuenta con un ciclón y 65 cm de tubería de acero, el tiempo de residencia en el ciclón y tuberías garantiza un intercambio continuo

de calor con el ambiente, esto permite la condensación de los líquidos pirolíticos los cuales son recuperados en la parte inferior del ciclón.

1.3. ZONA DE SALIDA DE GASES

La fracción gaseosa es retirada durante el proceso, sin necesidad de esperar a que haya reaccionado toda la biomasa y sin que esto influya en el proceso. Una válvula y un tapón hermético permiten la recuperación del Biogás mediante jeringas para su posterior acumulación en tubos de ensayo al vacío, las muestras son almacenadas a temperaturas inferiores a los 4°C con el fin de realizar un análisis y caracterización posteriores; esto también permite verificar que no haya presencia de condensables en el biogás obtenido.

1.4. ZONA DE RECOLECCIÓN DE LIQUIDOS PIROLÍTICOS

Una vez terminado el proceso de pirolisis y posterior enfriamiento del reactor, 4 horas aproximadamente, se procede a la recuperación de los líquidos pirolíticos en la parte inferior del ciclón, una válvula de bola permite la salida de los líquidos hacia los recipientes de almacenamiento.

2. PROTOCOLOS DE CARGA, ARRANQUE Y PARADA DEL SISTEMA

2.1. PROTOCOLO DE CARGA

El reactor se alimenta con aproximadamente 50 g de cascara de maíz, yuca y cebolla larga, con un porcentaje de humedad inferior al 15%, ocupando por completo el área de calentamiento provista por el horno eléctrico (25 cm), 50 g es el equivalente a 2/3 de la máxima capacidad de operación permitida por el reactor (75 g). Se deben retirar la tapa superior para realizar la carga del reactor.

Una vez introducida la biomasa se procede al cierre hermético del reactor, para esto se utiliza silicona formador de sellos para motores con resistencia a altas temperaturas, una vez se aplica un cordón de silicona alrededor de la rosca, se colocan las tapas en su lugar y se procede a ajustarlas, el formador de sellos se endurece a altas temperaturas por lo cual no es necesario esperar para proceder con el calentamiento del reactor.





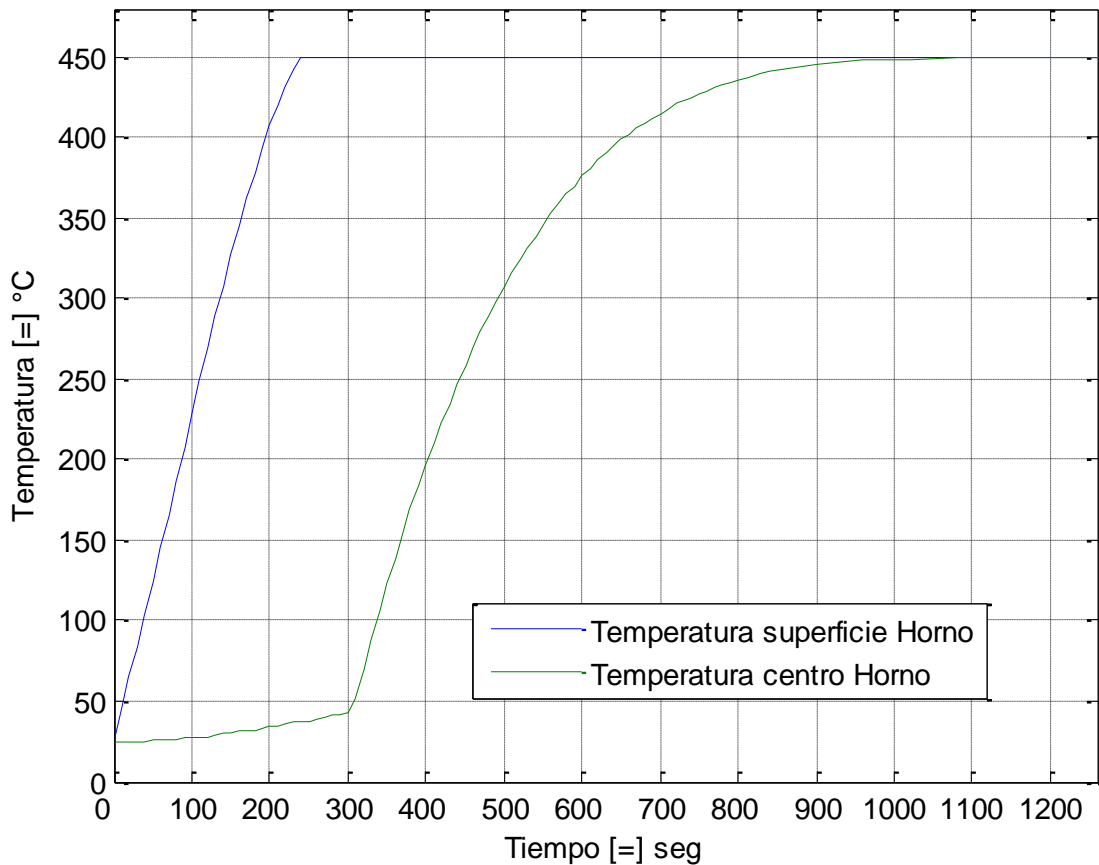
2.2. PROTOCOLO DE ARRANQUE

Inmediatamente después de realizado el cierre hermético del reactor se procede a abrir la válvula de salida de gases en la parte superior del sistema, a 1/3 de su apertura máxima, posteriormente se verifica que la válvula de salida de líquidos en el fondo del ciclón se encuentre cerrada. Tras finalizar el ajuste de las válvulas se procede al encendido del sistema de calentamiento, se fija el set point de 450°C en el sistema de control (o cualquier otro valor al que se desee realizar la pirolisis, teniendo en cuenta una temperatura máxima comprobada permitida por la resistencia de 600°C).

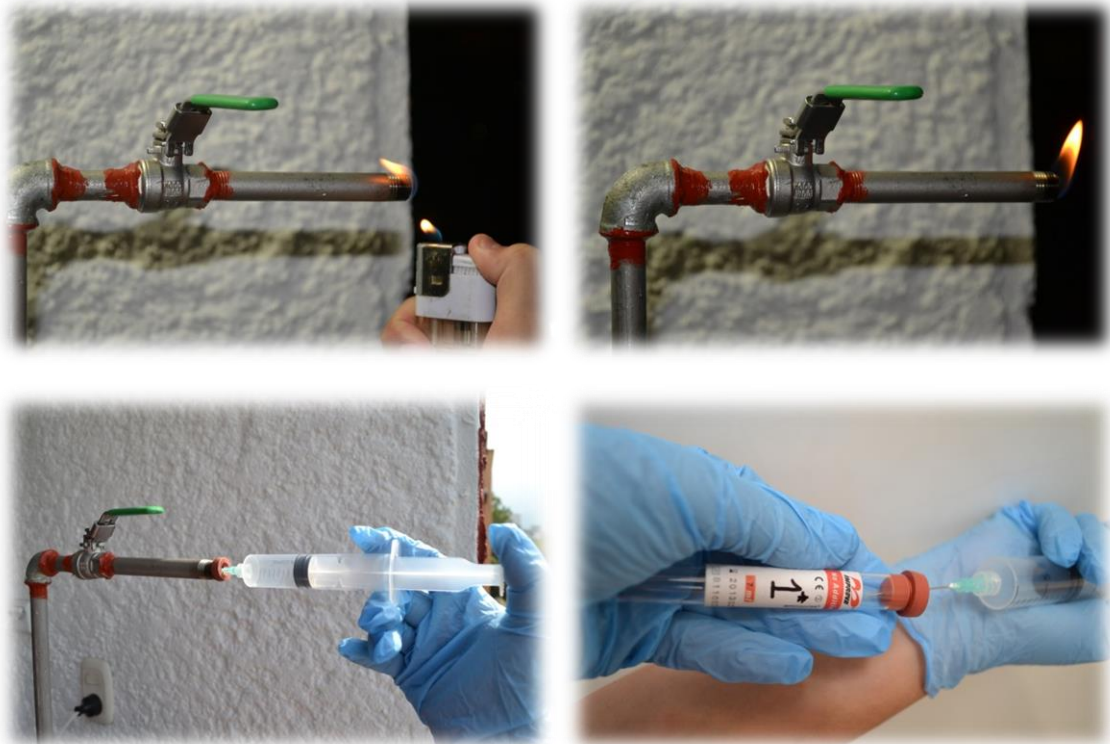


Se procede a la toma de datos registrados en el sensor de temperatura cada 10 segundos durante 5 minutos (tiempo de aproximado de estabilización del set point), esto permite verificar la velocidad de calentamiento de la chaqueta

utilizando para ello la gráfica de distribución de temperaturas para la resistencia y el interior del horno.



Transcurridos 10 minutos se puede iniciar con las pruebas cualitativas para verificar la presencia de gases combustibles en la parte superior de salida de gases del reactor, este procedimiento se realiza por medio de un mechera como medio de ignición del gas producido. El gas combustible puede ser recuperado colocando un tapón en la zona de salida y recolectándolo con ayuda de una jeringa, el embolo se desplazara debido a la presión del gas, una vez llenada la jeringa se procede al envasado inmediato en tubos de ensayo al vacío y a su posterior almacenamiento a 4°C.



NOTA: *Bajo ninguna circunstancia se debe mantener cerrada la válvula de salida de gases por tiempos superiores a 30 segundos, esto causa un aumento de la presión del sistema lo cual no solo disminuye el rendimiento de la reacción, puede levantar los sellos de seguridad lo que conlleva a una fuga y un necesario reemplazo de los sellos.*

2.3. PROTOCOLO DE PARADA

Una vez transcurrido el tiempo de residencia de la prueba de pirólisis (1 hora aproximadamente para 50g de biomasa), se debe apagar y dejar enfriar el horno para realizar la descarga del reactor (2 a 3 horas aproximadamente a condiciones normales de 25°C y presión atmosférica). Cuando se llegue a temperatura inferior a los 50°C se procede a recuperar la fracción de líquidos pirolíticos en la parte inferior del reactor y al abrir la tapa inferior para proceder a

la descarga del reactor, recuperar el biochar producido y el alquitrán depositado en esta tapa.



Una vez vacío el reactor se debe hacer una limpieza correcta del mismo para ello se lava con Thinner u otro solvente disponible para este fin.

3. PRUEBA DE FUGAS

La prueba de fugas en el sistema permite garantizar la eficiencia del mismo y evitar pérdidas de gas en las tuberías, es necesario realizar una prueba de fugas en todo el sistema periódicamente con el fin de verificar el estado del mismo. Para ello se utiliza una solución de agua y jabón, la cual se aplica en todas las uniones del sistema, podrá observarse la formación de burbujas de jabón en donde se presenten escapes de gas. Se realiza un cierre completo del reactor siguiendo los protocolos mencionados anteriormente, una vez completamente cerrado se procede a la apertura de la válvula de salida de gases y posteriormente inyectar aire a presión hasta observar un aumento en la presión entre 3 y 5 psi (la resistencia máxima de los sellos formados por la silicona es de 20 psi), se mantiene esta presión al sistema por cerca de 20 minutos, se aplica continuamente la solución de agua y jabón con ayuda de un Spray en las diferentes uniones que se presentan a lo largo del montaje y se verifica que no haya formación de burbujas.

En las zonas donde haya formación de burbujas se deberá realizar una completa limpieza con Thinner (u otro solvente disponible para tal fin) y se procederá a aplicar un nuevo sello de silicona, se deberá esperar un secado completo del sello (24 horas aproximadamente) para realizar nuevamente la prueba de fugas.

4. SEGURIDAD EN EL PROCESO

Para el desarrollo de las prácticas en el reactor de pirolisis PRBR MARK II, es necesario tener presentes todas las condiciones de seguridad para evitar accidentes (tapabocas, guantes de nitrilo, bata). Los gases que se liberan

pueden ser tóxicos por inhalación, por lo cual no se deben realizar pruebas en espacios cerrados, exceptuando cuando se utilice una campana extractora.

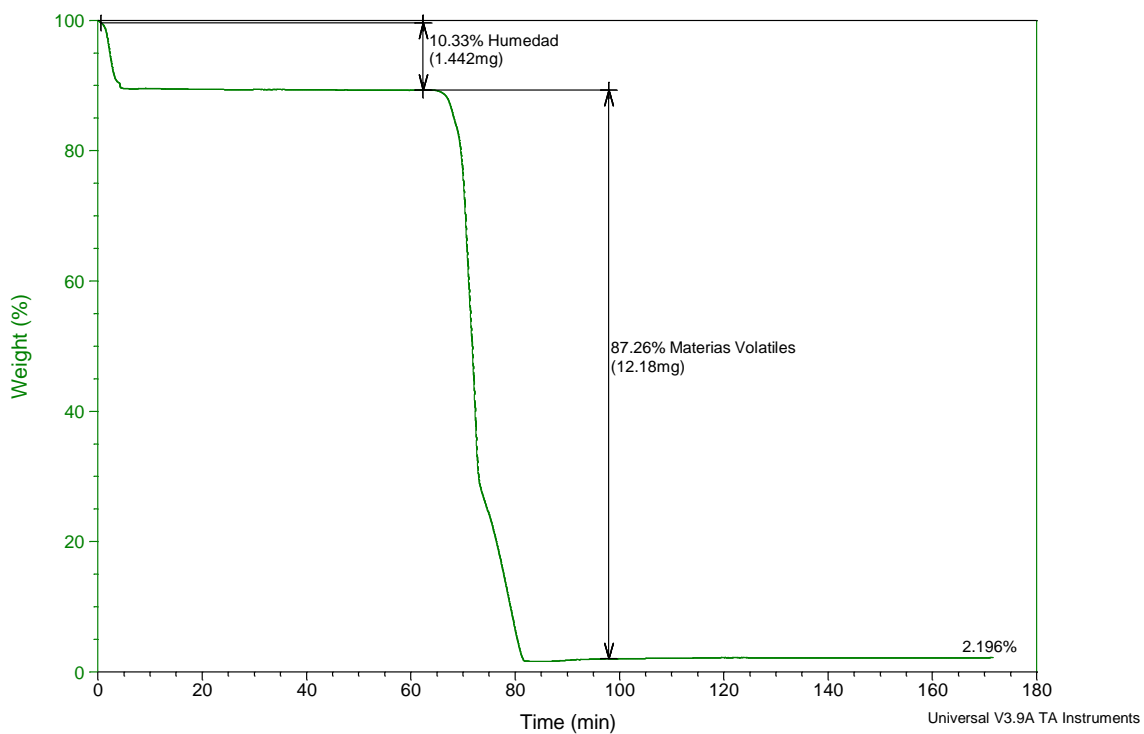
Anexo C Análisis TGA

CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	<i>Análisis Próximo:</i> Análisis termo-gravimétrico(TGA) Equipo: TA Instruments TGA 2050
Material	Cascara de Mazorca

Sample: Analisis Proximo Mazorca
Size: 13.9570 mg
Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: G:\Analisis Proximo Mazorca.001
Operator: G.A.M.
Run Date: 30-Nov-06 00:29
Instrument: 2050 TGA V5.1A

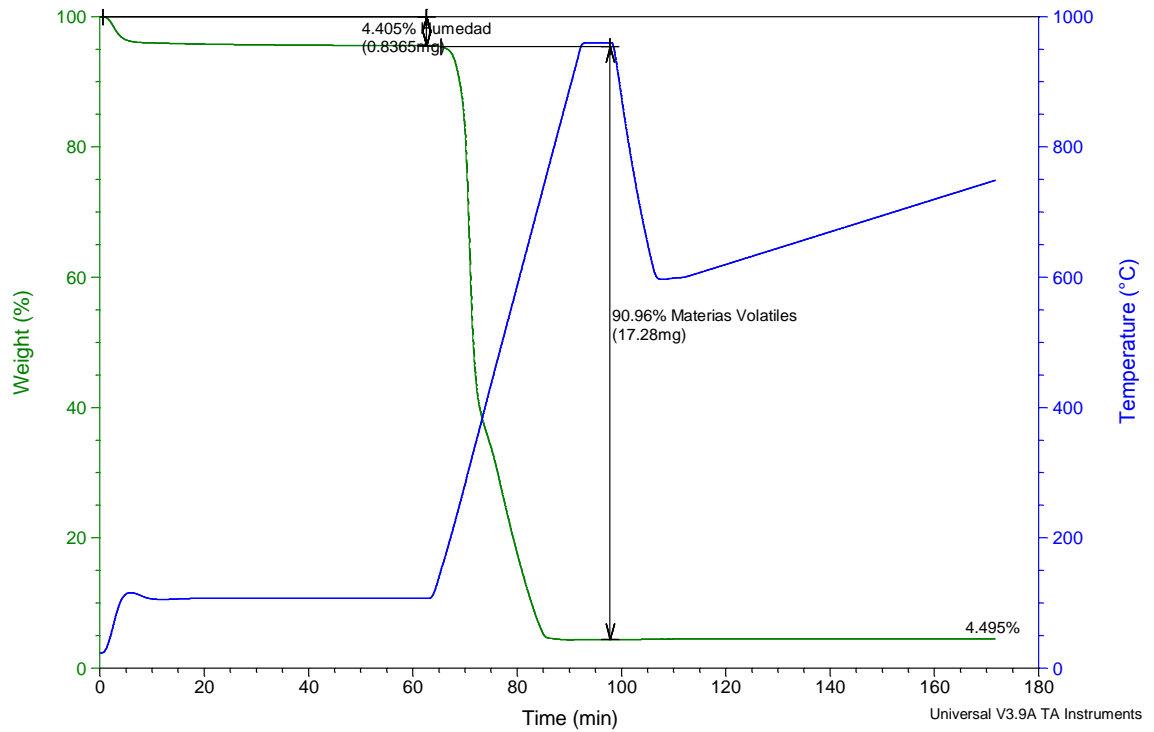


CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	<i>Análisis Próximo:</i> Análisis termo-gravimétrico(TGA) Equipo: TA Instruments TGA 2050
Material	Cascara de yuca

Sample: Analisis Proximo Yuca
Size: 18.9920 mg
Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: G:\Analisis Proximo Yuca.001
Operator: G.A.M.
Run Date: 30-Nov-06 06:36
Instrument: 2050 TGA V5.1A

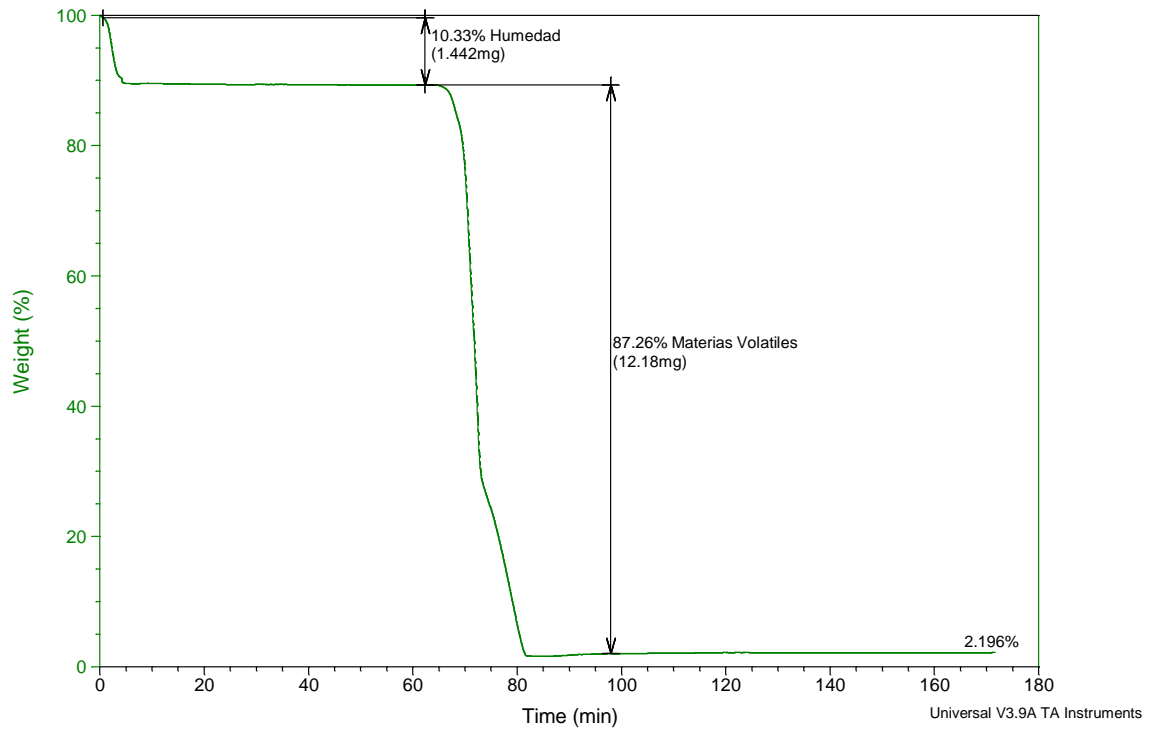


CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	Análisis Próximo: Análisis termo-gravimétrico(TGA) Equipo: TA Instruments TGA 2050
Material	Hojas de Cebolla

Sample: Analisis Proximo Mazorca
Size: 13.9570 mg
Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: G:\Analisis Proximo Mazorca.001
Operator: G.A.M.
Run Date: 30-Nov-06 00:29
Instrument: 2050 TGA V5.1A



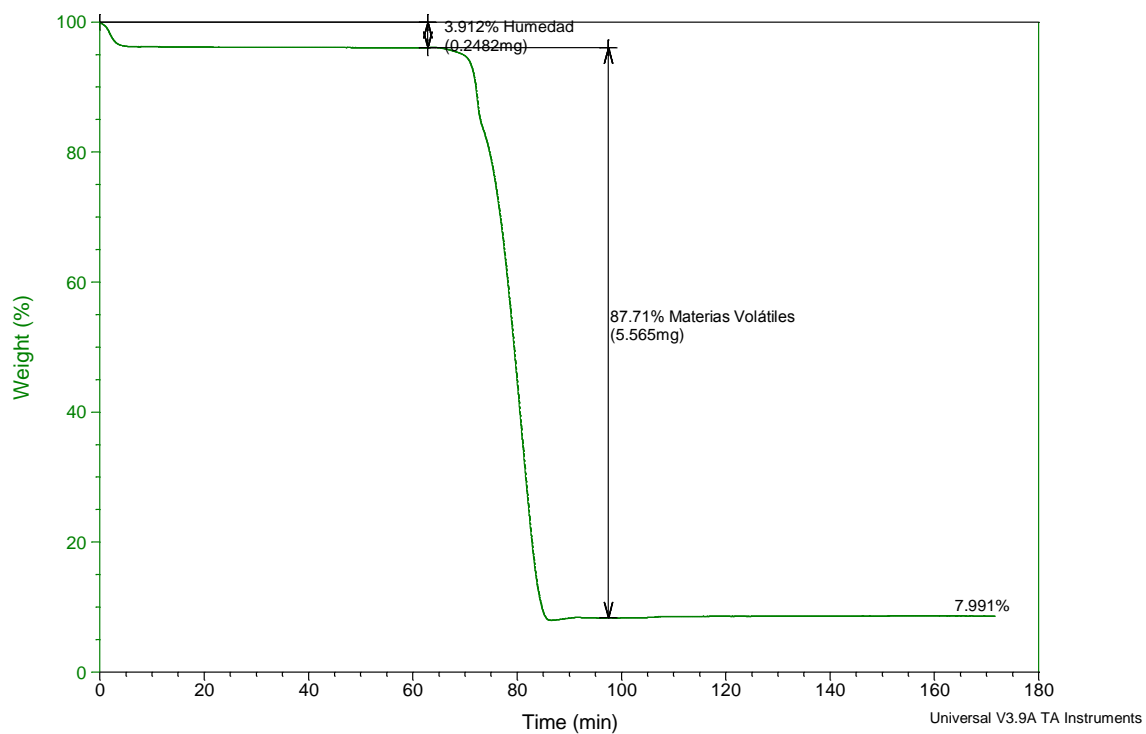
Anexo D Análisis TGA de los Biocarbones

CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	Análisis Próximo: Análisis termo-gravimétrico(TGA) Equipo: TA Instruments TGA 2050
Material	Biocarbon cascara de Maíz

Sample: Mazorca biochart
Size: 6.3450 mg
Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: F:\Mazorca biochart.001
Operator: G.A.M.
Run Date: 30-Nov-06 06:03
Instrument: 2050 TGA V5.1A

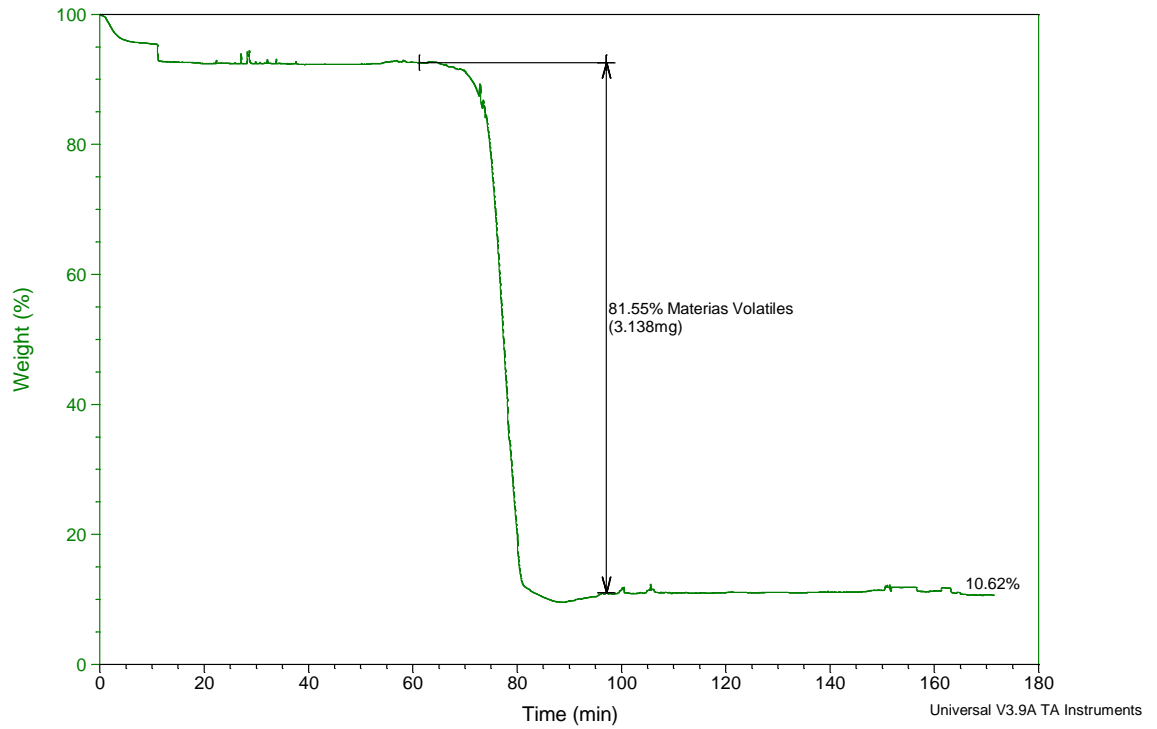


CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	Análisis Próximo: Análisis termo-gravimétrico(TGA) Equipo: TA Instruments TGA 2050
Material	Biocarbon cascara de yuca

Sample: Yuca biochart
Size: 3.8480 mg
Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: F:\Yuca biochart.001
Operator: G.A.M.
Run Date: 30-Nov-06 00:19
Instrument: 2050 TGA V5.1A

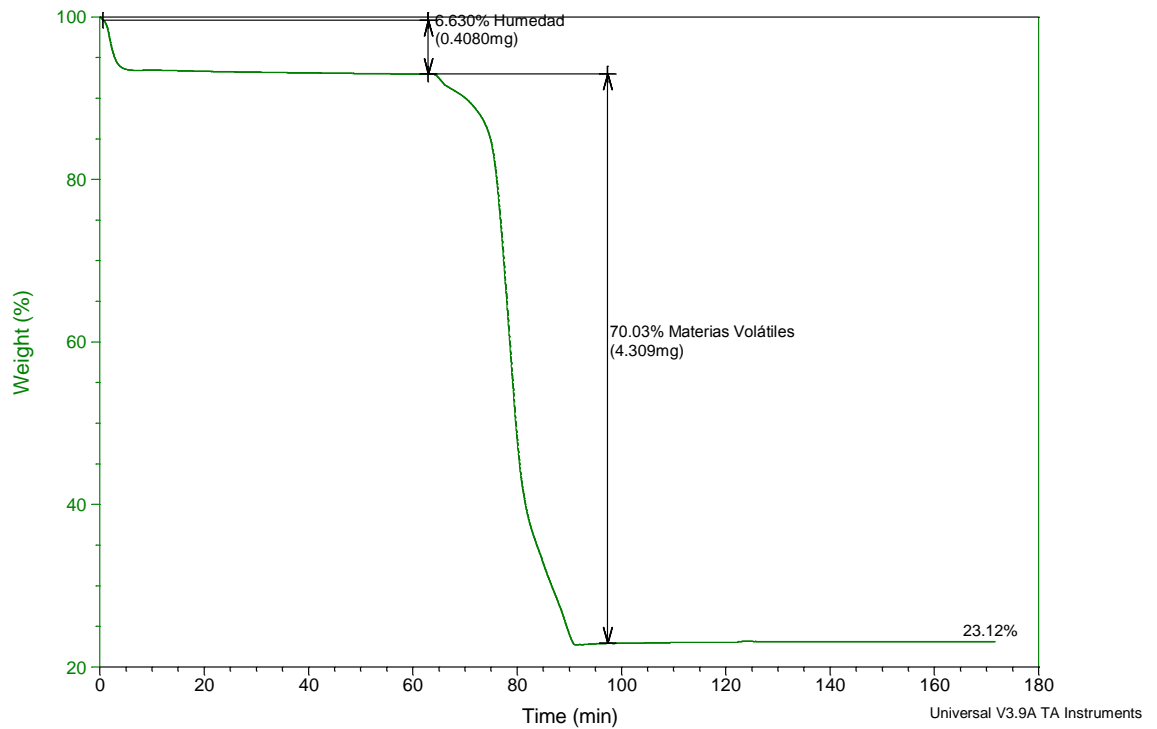


CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	<i>Análisis Próximo:</i> Análisis termo-gravimétrico(TGA) Equipo: TA Instruments TGA 2050
Material	Biocarbon hojas de cebolla

Sample: Cebolla Biochar
Size: 6.1540 mg
Method: Gilles 2Cmin

TGA

File: F:\Cebolla Biochar.001
Operator: G.A.M.
Run Date: 30-Nov-06 06:02
Instrument: 2050 TGA V5.1A



Anexo E Espectros Cromatograficos

CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	Análisis cromatografico: cromatografía GC/MS (columnaHP-5MS) Equipo:
Material	Biooil cascara de maíz diluido en diclorometano

Data Path : C:\msdchem\CORRIDAS\SEBASTIAN BARRERA\

Data File : MAZORCA-CH2CL2.D

Acq On : 12 Feb 2015 11:30

Operator : martha barajas

Sample : MAZORCA-CH2-CL2

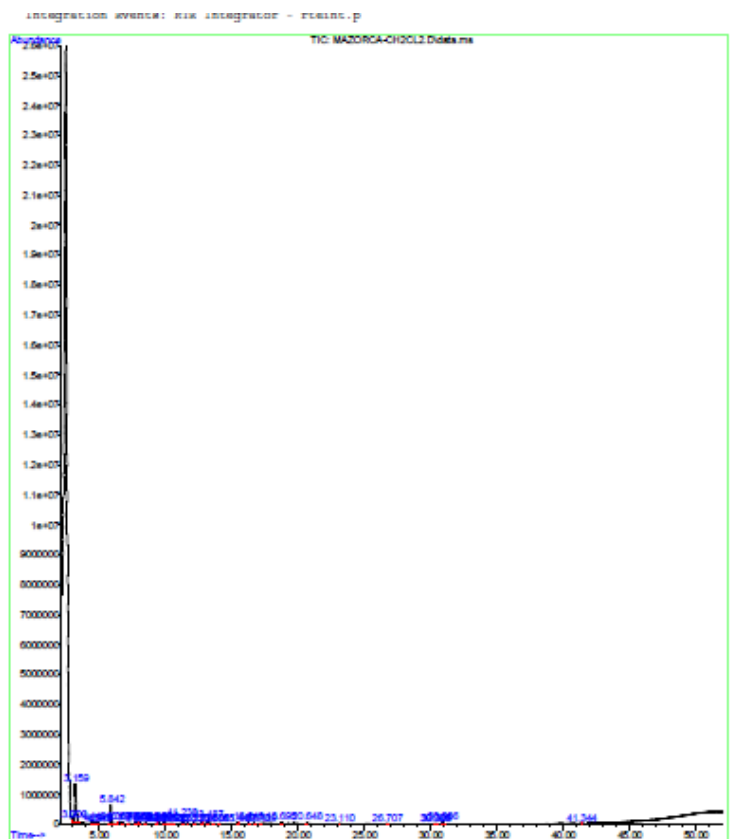
Misc :

ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: D:\DATABASE\W8.I Minimum Quality: 70

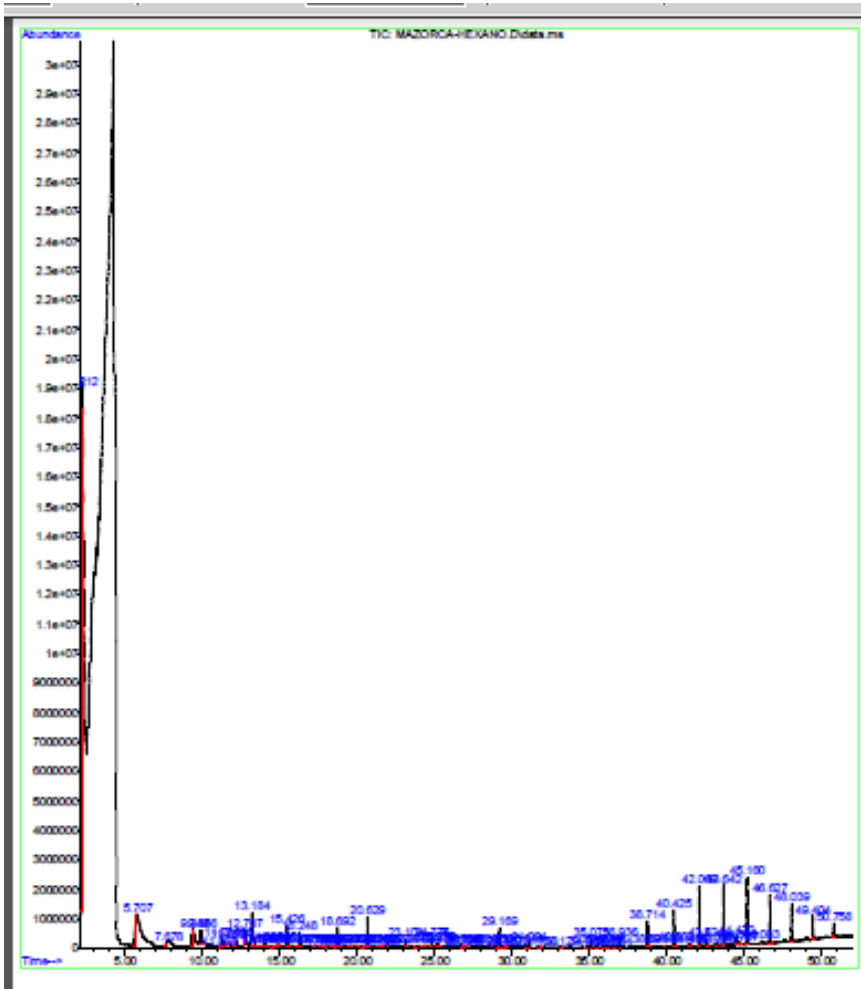
Unknown Spectrum: Apex

Integration Events: RTE Integrator - rteint.p



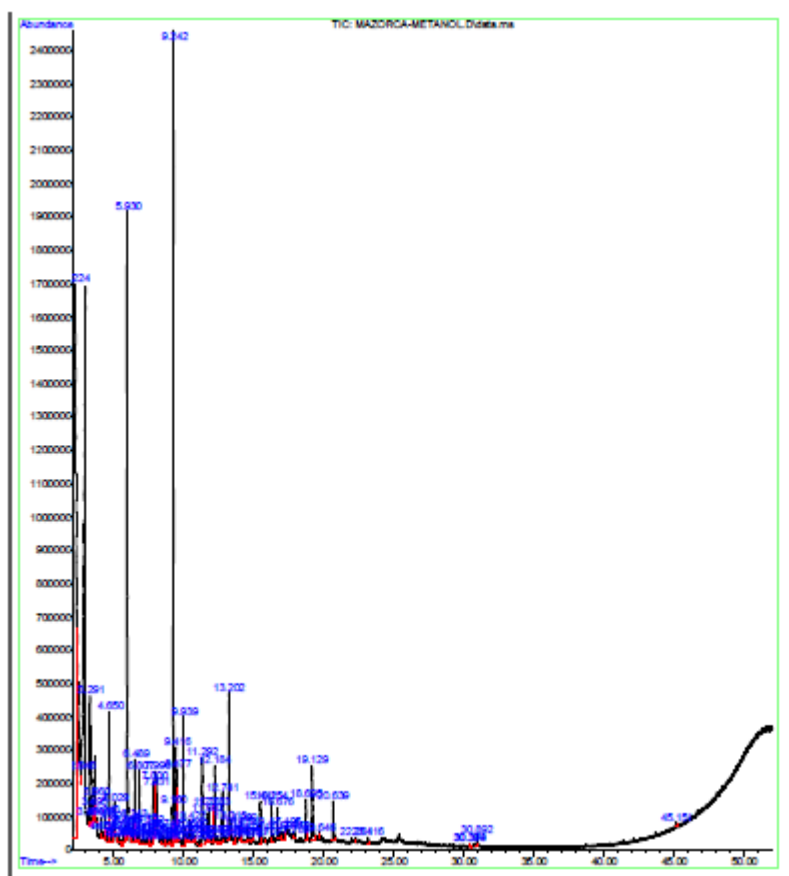
CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	Análisis cromatografico: cromatografía GC/MS (columnaHP-5MS) Equipo:
Material	Biooil cascara de maíz diluido en hexano

Data Path : C:\msdchem\CORRIDAS\SEBASTIAN BARRERA\
 Data File : MAZORCA-HEXANO.D
 Acq On : 24 Feb 2015 14:20
 Operator : martha barajas
 Sample : MAZORCA-HEXANO
 Misc :
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1
 Search Libraries: D:\DATABASE\W8.I Minimum Quality: 70
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: RTE Integrator - rteint.p



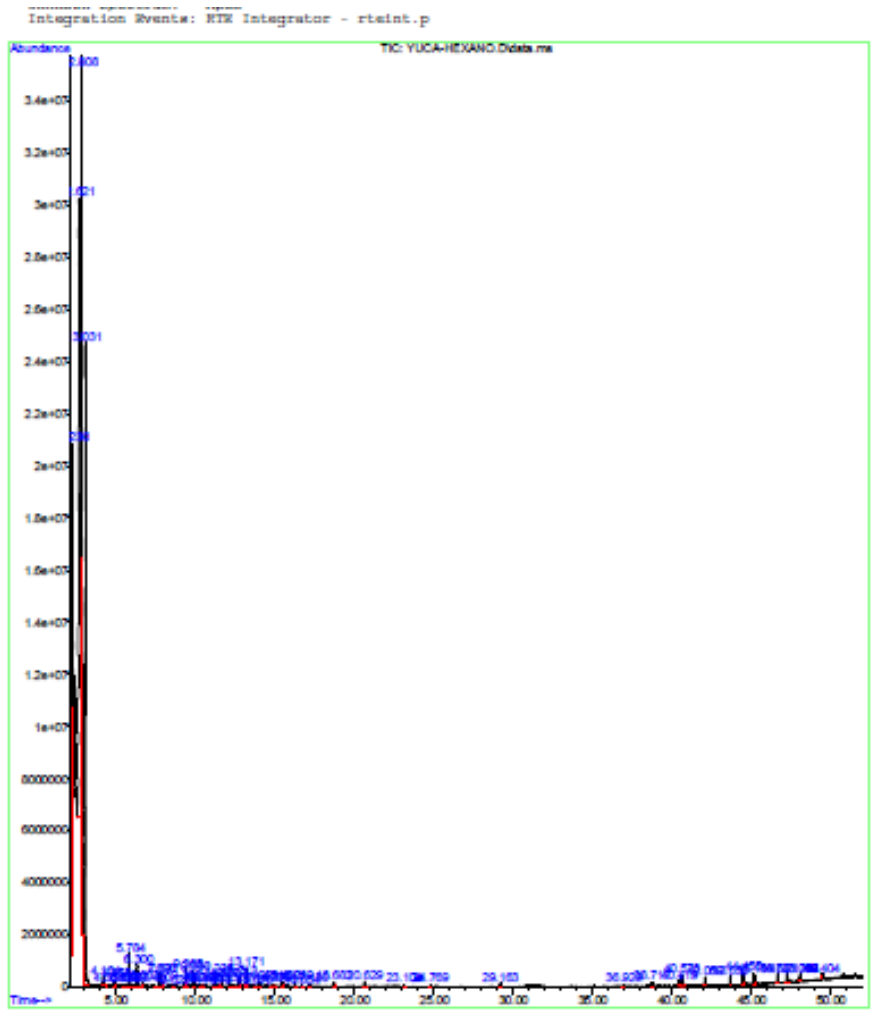
CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	Análisis cromatografico: cromatografía GC/MS (columnaHP-5MS) Equipo:
Material	Biooil cascara de maíz diluido en metanol

Data Path : C:\msdchem\CORRIDAS\SEBASTIAN BARRERA\
 Data File : MAZORCA-METANOL.D
 Acq On : 17 Feb 2015 8:33
 Operator : martha barajas
 Sample : MAZORCA-METANOL
 Misc :
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1
 Search Libraries: D:\DATABASEW8.I Minimum Quality: 70
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: RTE Integrator - rteint.p



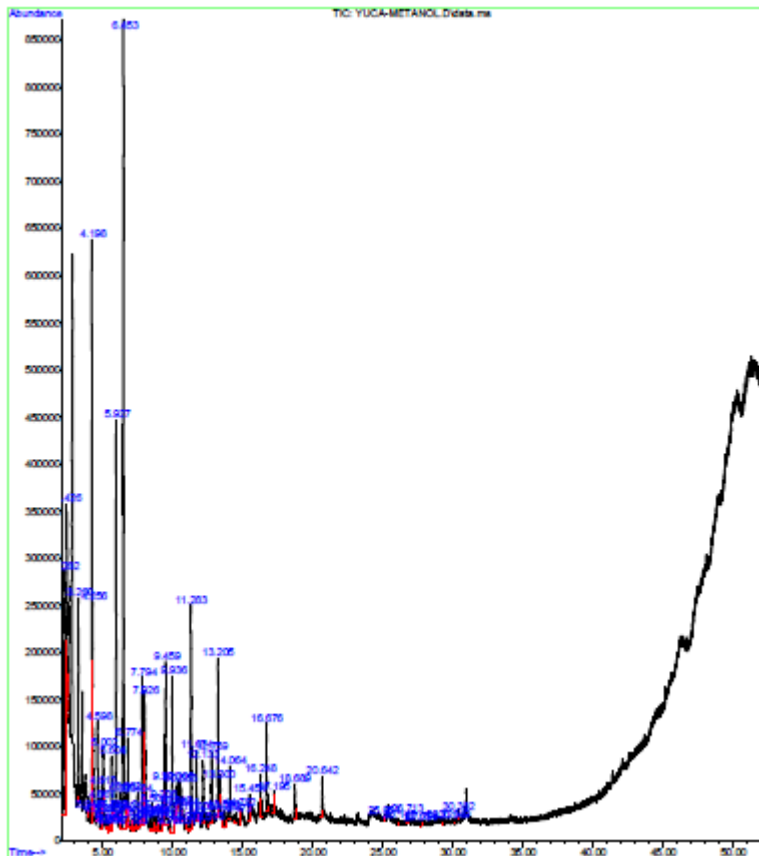
CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	Análisis cromatografico: cromatografía GC/MS (columnaHP-5MS) Equipo:
Material	Biooil cascara de yuca diluido en hexano

Data Path : C:\msdchem\CORRIDAS\SEBASTIAN BARRERA\
 Data File : YUCA-HEXANO.D
 Acq On : 26 Feb 2015 12:00
 Operator : martha barajas
 Sample : YUCA-HEXANO
 Misc :
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1
 Search Libraries: D:\DATABASE\W8.I Minimum Quality: 70
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: RTE Integrator - rteint.p



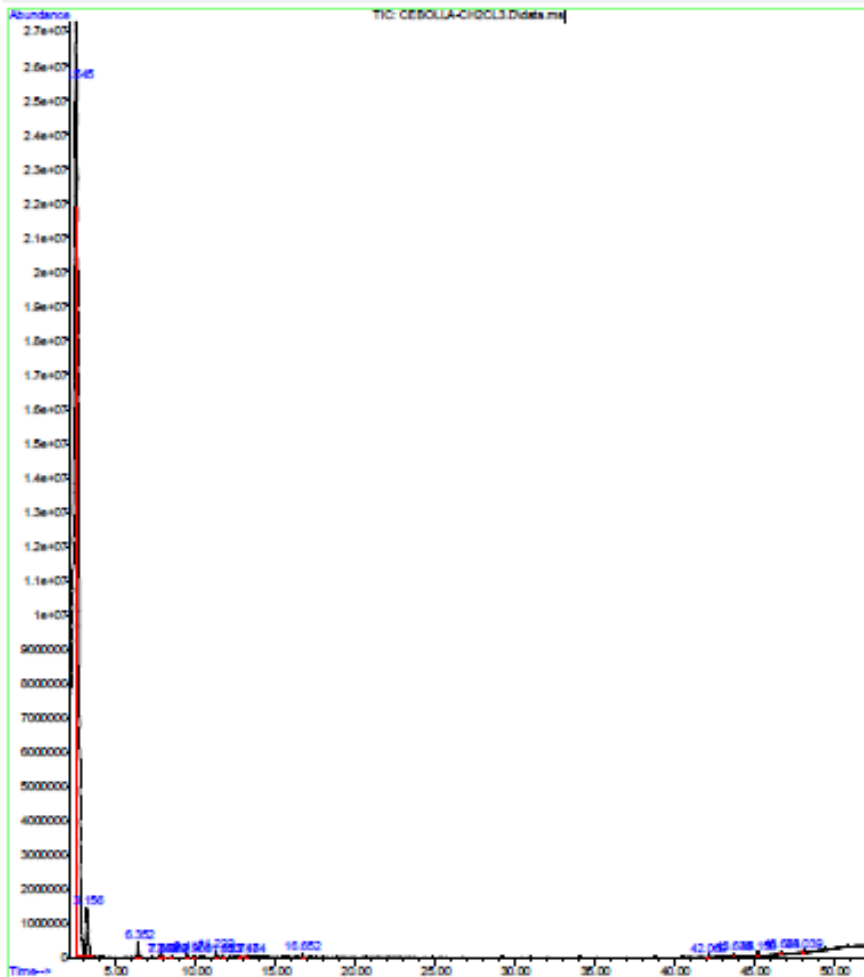
CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	Análisis cromatografico: cromatografía GC/MS (columnaHP-5MS) Equipo:
Material	Biooil cascara de yuca diluido en metanol

Data Path : C:\msdchem\CORRIDAS\SEBASTIAN BARRERA\
 Data File : YUCA-METANOL.D
 Acq On : 12 Feb 2015 9:02
 Operator : martha barajas
 Sample : YUCA-METANOL
 Misc :
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1
 Search Libraries: D:\DATABASE\W8.I Minimum Quality: 70
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: RTE Integrator - rteint.p



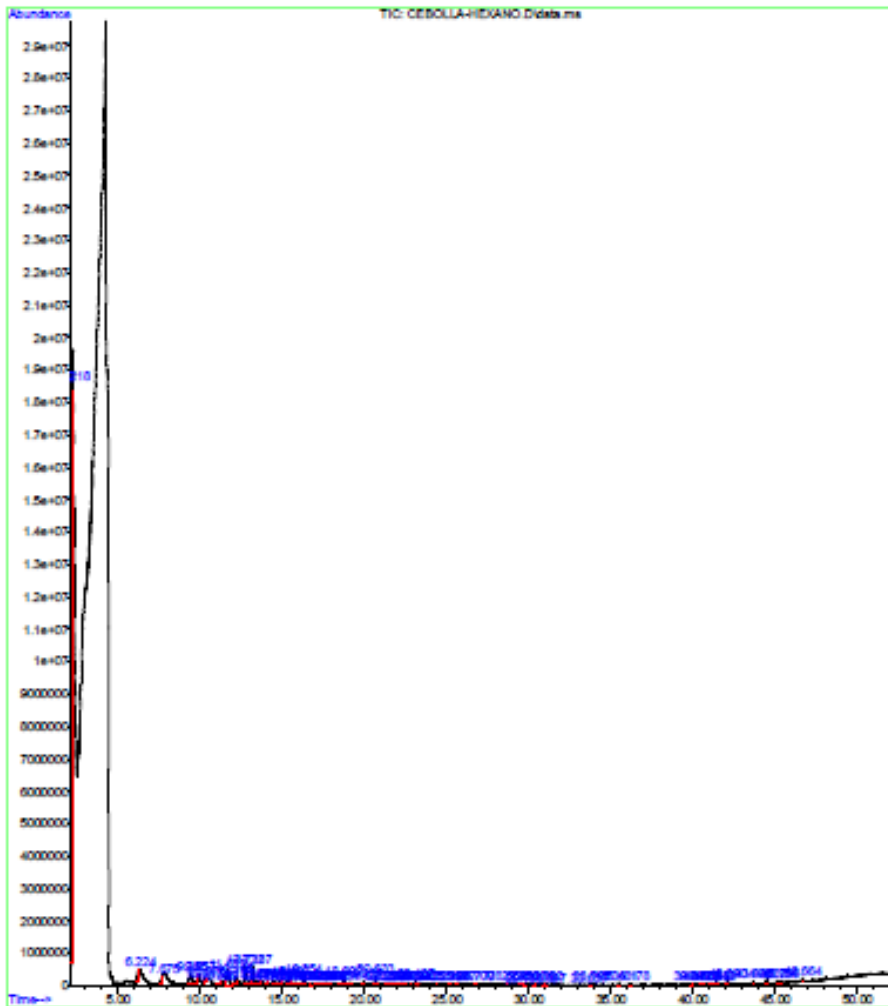
CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	Análisis cromatografico: cromatografía GC/MS (columnaHP-5MS) Equipo:
Material	Biooil hojas de cebolla diluido en diclorometano

Data Path : C:\msdchem\CORRIDAS\SEBASTIAN BARRERA\
 Data File : CEBOLLA-CH2CL3.D
 Acq On : 12 Feb 2015 12:47
 Operator : martha barajas
 Sample : CEBOLLA-CH2-CL2
 Misc :
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1
 Search Libraries: D:\DATABASE\W8.I Minimum Quality: 70
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: RTE Integrator - rteint.p



CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	Análisis cromatografico: cromatografía GC/MS (columnaHP-5MS) Equipo:
Material	Biooil hojas de cebolla diluido en hexano

Data Path : C:\msdchem\CORRIDAS\SEBASTIAN BARRERA\
 Data File : CEBOLLA-HEXANO.D
 Acq On : 24 Feb 2015 13:18
 Operator : martha barajas
 Sample : CEBOLLA-HEXANO
 Misc :
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1
 Search Libraries: D:\DATABASEW8.I Minimum Quality: 70
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: RTE Integrator - rteint.p



CENTRO INTEGRADO DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA-CILIQ	
Análisis	Análisis cromatografico: cromatografía GC/MS (columnaHP-5MS) Equipo:
Material	Biooil hojas de cebolla diluido en metanol

Data Path : C:\msdchem\CORRIDAS\SEBASTIAN BARRERA\

Data File : CEBOLLA-METANOL.D

Acq On : 17 Feb 2015 9:55

Operator : martha barajas

Sample : CEBOLLA-METANOL

Misc :

ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: D:\DATABASE\W8.I Minimum Quality: 70

Unknown Spectrum: Apex

Integration Events: RTE Integrator - rteint.p

