

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA
DE LOS RECURSOS NATURALES**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales**

Trabajo experimental:

**“Obtención y Valoración de Combustible Líquido por Medio de Pirolisis, a Partir
de Residuos Sólidos Domésticos”**

Autora:

Ximena Marisol Campoverde Jara

Tutora:

Dra. Myriam Mancheno C.

Cuenca – Ecuador

2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Marisol Campoverde, con documento de identificación N° 0104792262, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado intitulado; “Obtención y Valoración de Combustible Líquido por Medio de Pirolisis, a Partir de Residuos Sólidos Domésticos”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: “Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales”, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancias suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Septiembre 2016



Marisol Campoverde

0104792262

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi “tutoría” fue desarrollado el trabajo de titulación: “OBTENCIÓN Y VALORACIÓN DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO POR MEDIO DE PIROLISIS, A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS”, realizado por la autora, Ximena Marisol Campoverde Jara, obteniendo el trabajo experimental que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como Trabajo de Titulación.

Cuenca, Septiembre del 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mancheno Cardenas', written over a horizontal line.

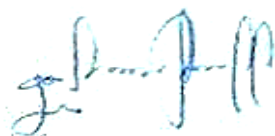
Dra. Myriam Ximena Mancheno Cardenas

0602018160

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Ximena Marisol Campoverde Jara con número de cédula 0104792262 con el título de trabajo experimental “Obtención y Valoración de Combustible Líquido por Medio de Pirolisis, a Partir de Residuos Sólidos Domésticos” certifico que el total contenido de este trabajo experimental es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Septiembre 2016



Ximena Marisol Campoverde Jara

0104792262

Agradecimientos

En primer lugar agradezco a Dios por darme la capacidad, entendimiento y fuerzas necesarias para haber culminado con éxito esta carrera y la presente investigación.

A mis padres, Marcos Campoverde y Anita Jara, que me han enseñado los valores de perseverancia, honestidad, responsabilidad y disciplina que han sido fundamentales para mi crecimiento personal y como estudiante durante todo este periodo.

A mis hermanos, Pablo, Juan y Johanny, fuente de apoyo y motivación en cada paso y éxito conseguido, en especial a Johanny Jara y Nicolas Roussel, por creer en mis aptitudes y por su gran ayuda en esta etapa de mi vida.

A mis abuelitos y demás familiares, que han sido motivo de ánimo e inspiración en esta realización personal, en especial a Segundo Campoverde, Diego Campoverde y William Hutter.

A mi tutora de tesis, Dra. Myriam Mancheno, por confiar en mi potencial, por su apoyo incondicional, consejos, no sólo en el ámbito académico sino en lo personal y por ser gran ejemplo de profesora y amiga.

Gratitud a mis profesores y profesoras que han inculcado su conocimiento y valores para con sus alumnos.

Resumen

La valoración de residuos sólidos urbanos – domésticos, tiene el propósito de reducir la cantidad de desechos depositados en los rellenos sanitarios, alargar su vida útil y obtener productos con usos variados, como es un aditivo de combustible mediante el proceso de Pirolisis por lotes (Batch) en total ausencia de oxígeno. Mediante réplicas se determinaron las condiciones óptimas de los factores con el fin de tener un mejor aprovechamiento, teniendo como resultado una temperatura de 400°C, humedad de la materia prima al 3% y tamaño de partícula de 2 mm. Con ayuda del programa estadístico Minitab 16 y análisis ANOVA, se concluye que la interacción temperatura y tamaño de partícula obtiene un valor p de 0.01, resultado que determina como combinación influyente en el proceso.

Se destila el producto total con el fin de caracterizar los líquidos a obtener mediante ensayos físico – químicos, donde el líquido 1 (claro) obtenido se considera una mezcla compleja de alcoholes y aminas de bajo peso molecular con un olor característico de los mismos. El líquido 2 (oscuro) gracias a la comparación de los resultados con las normas INEN de combustibles, es considerado por las características que se pudieron constatar como un tipo de combustible diésel tipo 02.

Índice de contenidos

Declaratoria de Responsabilidad y Autorización de uso del Trabajo Experimental	4
Agradecimientos	5
Resumen	6
1. Introducción	12
1.1. Importancia	14
1.2. Planteamiento del Problema	14
1.3. Objetivos	15
1.3.1 Objetivo General	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4. Justificación	15
1.5. Hipótesis	17
1.5.1. Hipótesis Nula	17
2. Marco Teórico	18
2.1. Residuos sólidos domésticos	18
2.3 Biomasa	20
2.4 Estructura química de la biomasa	22
2.5 Celulosa	23
2.6 Hemicelulosa	23
2.7 Lignina	24
2.8 Energía de la biomasa	27
2.9. Gestión de residuos	28
2.10. Legislación	29
2. 11. Biocombustibles	30
2.11.1. Biocombustible de primera generación	31
<i>2.11.1.1. Ventajas</i>	<i>31</i>
<i>2.11.1.2. Desventajas</i>	<i>32</i>
2.11.2. Biocombustibles de segunda generación	33
<i>2.11.2.1. Ventajas</i>	<i>33</i>
<i>2.11.2.2. Desventajas</i>	<i>34</i>
2.12. Pirolisis de biomasa	35
2.12. Tipos de pirolisis y equipos pirolíticos	36
2.13.1. Aplicaciones de la pirolisis	37
2.13.2. Principales factores que influyen	38
<i>2.13.2.2. Temperatura</i>	<i>38</i>
<i>2.13.2.3 Humedad</i>	<i>38</i>
<i>2.13.2.4. Tamaño de la muestra</i>	<i>39</i>
2.13.3. Productos de la pirolisis	39
<i>2.13.3.1. Producto líquido</i>	<i>40</i>
<i>2.13.3. 2. Producto sólido - Biocarbón, carbón vegetal o Biochar</i>	<i>41</i>
<i>2.13.3. 3. Producto gaseoso</i>	<i>42</i>

3. Materiales y Métodos.....	43
3.1 Metodología empleada.....	43
3.1. 2. Adecuación de materia prima.....	43
3.2. Equipos.....	44
3.2.1. Estufa Memmert.....	44
3.2.2. Analizador de humedad HB43-5.....	44
3.2.3 Licuadora industrial Blender C816.....	45
3.2.4 Equipo de pirolisis.....	46
3.2.7 Vaso abierto de Cleveland modelo K13900.....	47
3.3. Procedimiento.....	48
3.3.1. Recomendaciones.....	50
3.4. Análisis físico – químico del producto líquido.....	50
3.4.1. Aspectos sensoriales – Color y olor.....	50
3.4.2. Densidad.....	51
3.4.3. Punto de inflamación y congelación.....	54
3.4.4. Viscosidad.....	56
3.4.5. Reacción de Fehling A – B.....	56
3.4.6. Reacción de Tollens.....	57
3.4.7. Solubilidad en agua.....	58
3.4.8. Solubilidad en éter.....	59
3.4.9. Reacción con Permanganato de potasio.....	60
3.4.10. Reacción con Agua de Bromo.....	60
3.4.11. Reacción con 2 Naftol.....	61
3.5. Análisis estadístico.....	62
3.5.1 Diseño Factorial 2^3	62
3.5.2 Análisis ANOVA.....	64
4. Resultados y Discusión.....	65
4.1. Características de la materia prima.....	65
4.1.1. Humedad.....	65
4.1.2 Tamaño.....	66
4.1.3. Determinación de los factores que afectan el producto líquido a obtener ..	69
4.1.4. Interracciones de factores que tienen repercusión en el proceso.....	72
4.2. Análisis del producto líquido obtenido a través de pruebas físico - químicas	73
4.2.1. Líquido 1 (claro).....	73
4.2.2. Líquido 2 (oscuro) – Comparación con un combustible comercial.....	75
4.3. Conclusión.....	76
4.4. Discusión.....	78
5. Lista de referencias.....	79
Anexos.....	91

Índice de tablas

Tabla 1 Tipos de biomasa y sus características.....	21
Tabla 2 Comparación de los proceso de pirolisis.....	36
Tabla 3 Propiedades físico químicas de un biocombustible y de los combustibles derivados del petróleo	41
Tabla 4 Factores y niveles a aplicar	63
Tabla 5 Primera réplica	63
Tabla 6 Segunda réplica	64
Tabla 7 Condiciones y producto obtenido en una corrida de Pirolisis.....	67
Tabla 8 Total de corridas y producto final	68
Tabla 9 Producto de la destilación de los 392ml obtenidos	68
Tabla 10 Características del líquido 1 (Claro)	73
Tabla 11 Características del líquido 2 (oscuro).....	63

Índice de figuras

Figura 1 Glucosas unidas por enlace β (1-4).....	21
Figura 2 Estructura básica de la hemicelulosa	24
Figura 3 Forma de monolignoles típicos para formar la lignina.....	25
Figura 4 Degradación térmica de la celulosa – Fisión, gasificación y deshidratación	27
Figura 5 Generación de energía de tecnología renovable.	28
Figura 6 Mecanismos o etapas de formación del carbón vegetal.....	42
Figura 7 Adecuación de la materia prima	43
Figura 8 Estufa marca Memmert.....	44
Figura 9 Analizador de humedad HB43-5	45
Figura 10 Licuadora industrial Blender c816.....	46
Figura 11 Equipo de pirolisis	47
Figura 12 Vaso abierto de Cleveland modelo K13900	48
Figura 13 Aspecto sensorial líquido 1.....	51
Figura 14 Aspecto sensorial líquido 2.....	51
Figura 15 Densidad Líquido 1	53
Figura 16 Densidad Líquido 2	53
Figura17 Punto de inflamación	55
Figura 18 Punto de congelación.....	55
Figura 19 Viscosidad	56
Figura 20 Reacción de Fehling A-B y fórmula.....	57
Figura 21 Reacción de Tollens	58
Figura 22 Reacción de Tollens fórmula.....	58

Figure 23 Solubilidad en agua	59
Figura 24 Solubilidad en éter	59
Figura 25 Reacción con permanganato de potasio.....	60
Figura 26 Reacción con agua de bromo.....	61
Figura 27 Reacción con 2 - Naftol.....	62
Figure 28 Vapor generado dependiendo de la humedad en la muestra.....	66
Figura 29 Tamaño apropiado de la muestra.....	67
Figura 30. Aprovechamiento del producto total	69
Figura 31 Gráfica de efectos principales para liquido obtenido	70
Figure 32 Gráfica de interacción para líquido obtenido.....	71
Figura 33 Gráfica de cubos (medias de los datos) para el líquido obtenido	72
Figure 34 Análisis de varianza para el líquido obtenido.....	73

1. Introducción

La disposición correcta de los residuos orgánicos se ha tornado de importancia mundial, debido a la relación directa que tiene con distintos factores climáticos que hemos experimentando durante los últimos años. Su inadecuada clasificación es causa de contaminación en los recursos agua, suelo y aire; disminuye el espacio disponible en los rellenos sanitarios y aumenta la cantidad de recursos económicos para su tratamiento. Según Bernal, M. Albuquerque, J. et al (2014) se ha confirmado que la Directiva de Vertederos (Directiva 1999/31/EC de 6 de abril) impondrá en el año 2016 la gestión de tan solo un 35% de residuos orgánicos en los rellenos sanitarios. Esto ha motivado la investigación y el desarrollo de alternativas para su valorización; como es el caso de la obtención de energía renovable y la reducción del consumo de recursos finitos (como son los combustibles derivados del petróleo), que ocasionan perjuicios crónicos al medio ambiente (Gómez, A. 2008).

Una alternativa en la mitigación de las emisiones nocivas para el ambiente; es la pirolisis. Según Colomer F., et al. (2010) la pirolisis se define como un conjunto de reacciones químicas complejas donde se produce la descomposición térmica (comenzando con 250°C hasta alrededor de 400°C) de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, teniendo como resultado productos sólidos, líquidos y gaseosos. Arbeláez, J. I., Janna, F. et al. (2013) manifiesta que a través de dicho proceso se puede obtener un aditivo capaz de interactuar con un combustible fósil tradicional; y así reducir su uso, siendo parte de una cultura sustentable al no perjudicar la soberanía alimentaria como es el caso del

bioetanol y biodiesel. La aplicación de la pirolisis para el tratamiento de residuos sólidos urbanos, ha tomado auge en países como EEUU. En este ámbito, se han realizado estudios desde mediados del siglo XX. Uno de los más representativos es el llevado a cabo por E. R. Kaiser y S. B. Friedman de la Universidad de New York, quienes declaraban que el carbón producido por la pirolisis de biomasa podría ser gasificado a través de la adición de oxígeno, convirtiéndose en combustible; y esto haría el sistema autosuficiente en temas energéticos Kaiser et al. (1968). La tecnología actual ha confirmado ésta hipótesis sustancialmente.

Comparando la producción media de residuos sólidos urbanos (RSU) se evidencia la necesidad de alternativas; en Estados Unidos oscila entre 2 a 3 kg/día por habitante, España alcanza 1,2 kg/día; y el norte de Europa 1,5 a 2,5 kg/día, mientras que, en América del Sur entre 0,4 y 0,8 kg/día (Plan Nacional de Residuos Urbanos 2000/06). En México se generó 94 800 toneladas diarias de RSU, donde el 87 % se recolectó y el 64 % se depositó en 88 rellenos sanitarios y 21 sitios controlados. El porcentaje restante se dispuso en tiraderos a cielo abierto, barrancas o bien en cualquier otro sitio sin control (SEMARNAT 2006). En Ecuador este hecho ha pasado a un plano secundario y como prueba de esto, se encuentran registrados alrededor de 200 botaderos a cielo abierto y un sinúmero de ellos no registrados oficialmente (Orellana, 2006). Por lo que la solución de la legislación referente a gestión de residuos, busca centrarse en su manejo integral para prevenir y controlar el impacto ambiental, recolección selectiva de materia orgánica en municipios, ser aprobado por la población, utilizar tecnologías de transformación, y ser económicamente viable. (Casco, J. M. 2008).

Según Ligia Carrión, Bióloga de la EMAC (2015) un cuencano genera 0,6 kg por día con un total aproximado de 312 Toneladas/día en Cuenca siendo el 55 a 60% material orgánico en peso. De las cuales la mayor cantidad se recoge de los mercados (aproximadamente seis toneladas al día) pero se estima que se generan unas 30 toneladas por día que no se pueden aprovechar, ya que van mezcladas con otro tipo de basura.

1.1. Importancia

La identificación de las condiciones de los factores influyentes en la pirolisis es de gran importancia debido a que de esta manera se aprovechará de manera óptima los residuos, aumentando el tiempo estimado de vida útil de los rellenos sanitarios, comenzado por Cuenca, y porque no, del Ecuador y el mundo, ya que se propone otro uso de los mismos para obtener productos de interés como son: alcoholes, aminos y el aditivo de combustible, tratando de reducir así el uso de combustibles fósiles.

1.2. Planteamiento del Problema

Uno de los factores para la contaminación que estamos viviendo hoy en día es la inadecuada disposición de residuos orgánicos así como la explotación de combustibles fósiles, sin embargo, hay tecnologías como la Pirolisis que nos pueden ayudar a su tratamiento y disposición. ¿Se podrá determinar las condiciones apropiadas de los factores influyentes para realizar el proceso pirolítico? ¿Se puede obtener el aditivo de combustible generado a través de pirolisis de residuos sólidos urbanos para reducir el uso de rellenos sanitarios y la huella ambiental que dejamos como sociedad?

Tenemos como variables del estudio, las características a observar y medir, a las variables independientes: factores determinantes para el rendimiento del proceso (temperatura, humedad y tamaño de partícula) y como variable dependiente: cantidad de líquido pirolítico a obtener, para así analizar la relación e influencia de las condiciones necesarias en el proceso para una mejor respuesta en cuanto a porcentaje de producto final.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar qué factores inciden en el rendimiento del proceso de pirolisis de residuos sólidos orgánicos, en la obtención de un aditivo de combustible.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones óptimas de la materia prima mediante pruebas físicas de sus características para un proceso adecuado de pirolisis.
- Analizar el combustible obtenido a través de pruebas físico - químicas en laboratorio para verificar su factibilidad como aditivo.
 - Demostrar las características idóneas del aditivo comparando con parámetros establecidos de un aditivo comercial para verificar su calidad.

1.4. Justificación

En la actualidad nuestro nivel de vida acelerado depende de combustibles fósiles para poder realizar la mayoría de actividades industriales como de movilidad, que según Vega, R. (2009) es gracias a “la lógica depredadora del capitalismo y el uso a vasta escala de

los mismos” asevera que estamos ya en punto de inflexión irreversible ya que la utilización del petróleo abarca más de un 50% el cual crecerá con el pasar de los años hasta agotarlo de manera definitiva, puesto que es un recurso no renovable. El Geólogo Vially R. Instituto Francés del Petróleo y Nuevas Energías (2013) confirman que el mundo ya ha consumido 1200 billones de barriles de petróleo, y las reservas hoy explotables son 1500 billones de barriles; tomando en cuenta el creciente consumo actual, nos restan 40 años de petróleo. De ahí el interés de científicos y la población en general por buscar alternativas viables para mitigar o reducir su deterioro, así como un factor intrínseco resultante de su explotación y uso es la contaminación ambiental. Lo cual Gamarra, F. (2005) indica que estamos confiados que la tecnología nos resolverá estos problemas y los gobiernos podrán pagarlo, dejando a un lado la responsabilidad ante el deterioro del medio ambiente y sus consecuencias con el cambio climático.

Uno de las alternativas que los científicos han propuesto son los agro combustibles donde se ha generado una oposición debido al uso de su materia prima, como lo explica Vega, R. (2009) en la cual se asignan terrenos cultivables para uso de productos de consumo humano para realizar los mismos productos pero para “alimentar carros y aviones” reduciendo así la soberanía alimentaria y aumentando el precio de los alimentos como son: papa, arroz, maíz, caña de azúcar, etc. Obviamente obtendremos agro combustibles pero también se reducirán los terrenos cultivables para responder a la demanda alimentaria mundial.

Por estas razones la implementación de la tecnología pirolítica tiene como beneficio ser una alternativa que no interfiera en la soberanía alimentaria, pues como materia prima

se utilizará desechos orgánicos domésticos para obtener un aditivo de combustible valorizando y gestionando así adecuadamente dichos residuos, los cuales contamos en gran cantidad, siendo una de las razones para la saturación de los vertederos, que según Bustamante (Fundación Natura 2010) en el Ecuador “*sólo 30% de los municipios tienen rellenos sanitarios*” es decir no contamos con la cantidad necesaria de los mismos para atender la demanda de los desechos originados por la actividad humana.

1.5. Hipótesis Nula

El control de las diferentes variables en el proceso pirolítico de residuos sólidos urbanos permite obtener las condiciones adecuadas para un mejor rendimiento del producto, obteniendo así un aditivo de combustible, siendo una alternativa para el manejo de los rellenos sanitarios.

1.5.1. Hipótesis Alternativa

El control de las diferentes variables en el proceso pirolítico de residuos sólidos urbanos no permite obtener las condiciones adecuadas para un mejor rendimiento del producto, obteniendo así un aditivo de combustible siendo una alternativa para el manejo de los rellenos sanitarios.

2. Marco Teórico

2.1. Residuos sólidos domésticos

Conocidos también como residuos sólidos urbanos donde el Catálogo Europeo de Residuos (CER) (2002) los categoriza como “Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones)” el cual consta de varios contenidos entre los cuales destacamos para la investigación las “Fracciones recogidas selectivamente” como es el caso de residuos biodegradables de cocinas y restaurantes así como “En otros residuos municipales” la mezcla de residuos municipales y residuos de mercados. Entre estas tipologías de residuos se tratan de destacar tratamientos que ayuden a una gestión eficaz ya que según Elias, X. (2009) son una de las causas para contaminaciones ambientales procedentes de su lixiviación pues contienen una gran carga contaminante, si no son valorizados ya sea por su transformación en compostaje, biocombustibles o de ser el caso su reutilización. Procurando así tener una “salud ambiental” apta para nuestro normal desarrollo así como el estado del planeta, Ordóñez, G. (2000) lo define como la influencia que tiene el ambiente en forma directa a la salud humana, así como la enfoca de otra perspectiva donde se enfatiza en la salud actual del ambiente y su relación directa con el comportamiento que tiene la población con el mismo, por lo que se desea que para una mejor situación socio - ambiental no se base solamente en un control de saneamiento al mismo sino en una prevención de su deterioro.

2.2 Rellenos sanitarios y alternativas de manejo

Este tipo de residuos tienen normalmente como disposición final los rellenos sanitarios que poseen una vida útil limitada, que por el crecimiento urbano y por ende de sus residuos, hace que se agote el espacio en menos tiempo del previsto, sin embargo si la disposición final y tratamientos sustentables a la mayoría de residuos que fuese posible se realizará de forma consciente por las autoridades, empresas y población en general, los rellenos no se agotaran tan aceleradamente. Sin embargo no se puede realizar cualquier tipo de programa de manejo, Aguilar Q., et al. (2010). indica que depende de la composición y el estado de los mercados reciclables, por lo que no es viable guiarse exclusivamente de las medidas que realizan otras localidades, pues las condiciones no son las mismas, generando así pérdidas en equipos y mano de obra utilizada. La aplicación de leyes y normativas del gobierno en países más desarrollados es motivo de ejemplo puesto que existe mejor respeto ambiental debido a los incentivos económicos que estos otorgan cuando se valorizan los residuos. Puerta Echeverri, S. M. (2012) indica que el problema reside en la generación, separación, tratamiento y una disposición final incorrecta por lo que resulta complicado brindar un valor agregado como es el caso del compostaje, una de las formas más comunes de gestión residual, con grandes beneficios nutritivos al suelo y plantas así como modificación de sus condiciones para un óptimo crecimiento, sin embargo con efectos de toxicidad de contaminantes orgánicos y presencia de organismos patógenos. Por lo que es necesario enfocarse en otro tipo de tratamiento de este tipo de residuos.

2.3 Biomasa

Definir qué es la biomasa es de gran utilidad para comprender la estructura de los desechos sólidos a utilizar en la presente investigación, Yaman, S. (2004) considera a la biomasa como cualquier material hidrocarbonado que principalmente está formado por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno además, Estrada, C. (2004) añade que posee pequeñas proporciones de fósforo, potasio y azufre entre otras. Existen gran variedad de fuentes de biomasa, entre las principales tenemos de origen vegetal como: plantas herbáceas, leñosas, madera, residuos agrícolas así como: industriales, residuo de papel, residuo sólido municipal, desechos de alimentos y animales, etc. Van de Velden, M. (2010). Por lo que hablar de ahora en adelante de biomasa es referirnos a los desechos sólidos domésticos a utilizar.

Tabla 1.*Tipos de biomasa y sus características*

Tipo de biomasa	Características
Biomasa primaria	Es la materia orgánica formada directamente de los seres fotosintéticos. Este grupo comprende la biomasa vegetal, incluidos los residuos agrícolas y forestales.
Biomasa secundaria	Es la producida por los seres heterótrofos que utilizan en su nutrición la biomasa primaria. La constituyen la materia fecal o la carne de los animales.
Biomasa terciaria	Es la producida por los seres que se alimentan de biomasa secundaria, por ejemplo los restos y deyecciones de los animales carnívoros que se alimentan de herbívoros.
Biomasa natural	Es la que se producen en ecosistemas silvestres; 40% de la biomasa que se produce en la tierra proviene de los océanos.
Biomasa residual	La que se puede extraer de los residuos agrícolas, forestales y de las actividades humanas.
Cultivos energéticos	Recibe esta denominación cualquier cultivo agrícola cuya finalidad sea suministrar la biomasa para producir biocombustibles.

Fuente: Callejas, E. S., & Quezada, V. G. (2009).

2.4 Estructura química de la biomasa

La composición específica de la biomasa nos da una guía sobre qué compuestos y sus características son parte esencial del proceso para obtener el aditivo, Dufour J. (2011). En sí, su estructura orgánica mayoritaria es: celulosa, hemicelulosa y lignina; encontrándose en gran cantidad en residuos vegetales y forestales por lo que la reutilización de los mismos no tiene efecto directo en la producción alimenticia así como es fuente rentable por su gestión. Yang, H., et al. (2006) confiere a estos compuestos las características a controlar en la pirolisis pues dependiendo de estos se determina la temperatura y humedad a utilizar. De los cuales se puede transformar según Werpy, T., et al. (2004) en una alta gama de productos como combustibles, productos químicos y materiales de un valor significativo siendo parte de una productividad energética renovable, como lo reitera Martínez, E. (2002) estos tres compuestos vegetales (celulosa, hemicelulosa y lignina) son claves para poder inferir en la obtención de un producto de valor agregado como se ha hecho con residuos específicos como la caña de azúcar, cuya gestión sirve como combustible en industrias azucareras, alimenticias, etc. Gallego A. (2003) explica que existen otros compuestos en su estructura como son las sustancias pécticas como ácido galacturónico, moléculas de glucosa, xilosa y arabinosa más abundantes en corteza de naranja (30%), remolacha (25%), manzana (15%), cebolla (12%), inulina y fructoligosacaridos con bajo grado de polimerización son comunes en cereales, tubérculos y el almidón resistente.

2.5 Celulosa

Se la considera como parte de la estructura básica en la pared celular de las plantas, es decir que además de ser la estructura principal de la biomasa, Hackenberg, N. (2008) explica que forma parte de los tejidos de soporte. Es estimada como el componente químico orgánico con mayor porcentaje mundial pues se estima que más del 50% de la pared celular vegetal está formada por celulosa, además se lo valora como el polisacárido más predominante pues es el componente primordial en biomasa terrestre.

Química y estructuralmente Gallego A. (2003) la reconoce como sustento de hidratos de carbono ya que es un polímero insoluble en agua, es de forma cristalina, tiene uniones β (1-4), desde algunas glucosas hasta cientos o miles de las mismas con la fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$.

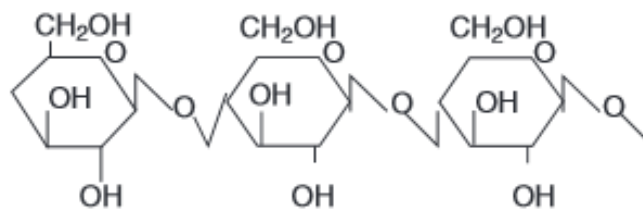


Figura 1: Glucosas unidas por enlace β (1-4).
Fuente: Gallego A. (2003)

2.6 Hemicelulosa

Este tipo de polisacárido que según Hackenberg, N. (2008) también es considerado como parte de la pared celular vegetal pero en menor porcentaje que la celulosa, sin embargo junto a ella adquiere la función de armadura y soporte, siendo de vital

importancia para la planta pues es parte del tejido vegetal ya que cubre la misma con fibras de celulosa para que pueda haber el enlace con la pectina. Es decir al dar firmeza a las paredes celulares las asegura cuando la presión de las células cercanas aumenta. Específicamente es un polisacárido puesto que está formado por polisacáridos diferentes es decir que en su estructura hay monosacáridos de glucosa, fructosa y galactosa.

Por esta razón Gallego A. (2003) asevera que estos polisacáridos complejos no son parte de la celulosa es decir son un grupo aparte pero que juntos mejoran sus funciones. Además hay presencia de restos glucídicos y de ácidos urónicos; podemos diferenciar dos tipos de hemicelulosas las ácidas y las neutras.

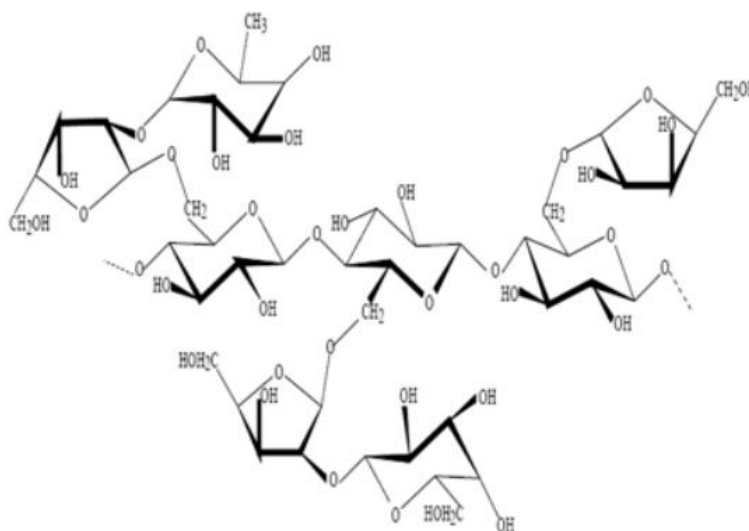


Figura 2: Estructura básica de la hemicelulosa
Fuente: Chamorro, R. et al (2015).

2.7. Lignina

El autor Gallego A. (2003) afirma que este compuesto no es un hidrato de carbono, por lo que estos no son absorbidos y por ende digeridos, además hay varios tipos de ligninas que están presentes en hortalizas, frutas y verduras y contienen 0.3% aumentando su

concentración cuando están maduras, Chamorro, R., et al. (2015) explica que cuando madura el vegetal disminuye su capacidad de retención líquida, en el caso de cereales como el salvado puede tener hasta un 3%. Hackenberg, N. (2008) menciona que este nombre tiene origen en el latín *lignum* que significa madera siendo un polisacárido incoloro y sólido que se adhiere a las paredes celulares de los vegetales, se “lignifica” y forma la madera. Químicamente es un complejo macromolecular fenólico de compuestos monoméricos es decir consta de condensación de alcoholes fenilpropílicos y ácidos, Sifontes, M., et al. (2013) considera su composición un tanto compleja pues sus copolímeros son derivados de tres unidades de monolignoles básicos como son: alcohol p-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico, aun así con este tipo de estructuras es otra sustancia orgánica con mayor presencia en el mundo vegetal después de la celulosa.

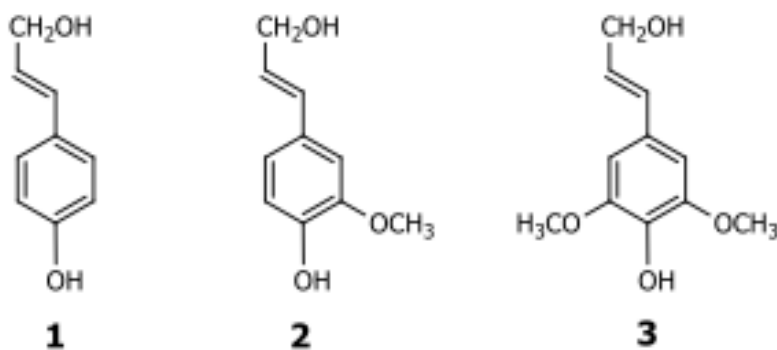


Figura 3: Monolignoles típicos para formar la lignina
 1: Alcohol p-cumarílico, 2: alcohol coniferílico, 3: alcohol sinapílico.
 Fuente: Sifontes, M., et al (2013)

La razón química por la que estas tres estructuras son fundamentales para la obtención del aditivo es porque según el autor Shafizadeh, F. (2012) la presencia de Acetil 4 - 0 Metil Glucoroxilano (xilano) y la unión por enlaces β (1 \rightarrow 4) de D-manosa y D-glucosa

glucomanano (manano) que forman parte de la hemicelulosa así como el metoxi-3-hidroxi-4-fenil-propano o guaiacil-propano que tiene un grupo metoxilo (en gimnospermas); y el dimetoxi-3-5-hidroxi-4-fenil-propano o siringil-propano con dos grupos metoxilo (en angiospermas), entonces este contenido estructural de acetilos y metoxilos confiere a este material la característica que después del proceso pirolítico se pueda obtener ácido acético y metanol en mayor cantidad junto con la combinación de hidrocarburos. Según estas características Digman, B., et al. (2009) explica por qué la llama un tipo de conversión de la biomasa celulósica para que sea una alternativa energética.

Las principales reacciones explicadas por Shafizadeh, F. (2012) que ocurren con la materia prima son:

- Despolimerización de los polisacáridos gracias a la trasglicolisación a partir de la temperatura de aproximadamente 300°C.
- A medida que la temperatura aumenta se produce la fisión de unidades de azúcares obteniéndose así varios componentes derivados del carbonilo.
- Condensación de productos insaturados.

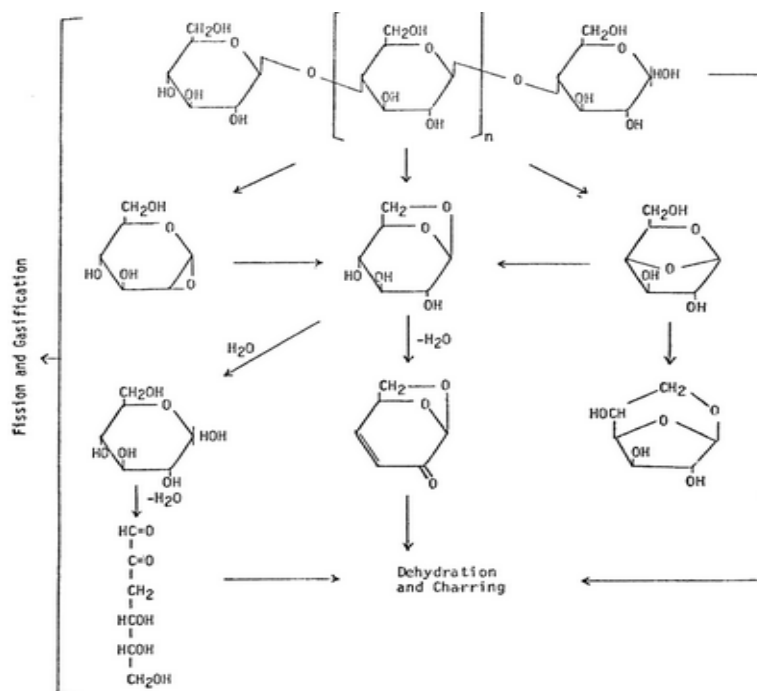


Figura 4: Degradación térmica de la celulosa – Fisión, gasificación y deshidratación
Fuente: Shafizadeh, F. (Ed.). (2012).

Zhang, Z., et al. (2015) afirman que tras varias reacciones que se produce en la pirolisis se va a obtener una mezcla especialmente de agua y cientos de compuestos orgánicos a los cuales se les concede gran valor como fuente para obtener otros productos, es decir vamos a recuperar estos compuestos para obtener otros; sin embargo ya que este tipo de pirolisis no es selectiva se producen bajos porcentajes de estos compuestos como son octanos, olefinas, hidrocarburos aromáticos, compuestos fenólicos, ácido crotonico (compuesto insaturado de ácido carboxílico) entre otros.

2.8 Energía de la biomasa

Obtener productos que sean fuente de energía según Ryabov, G. et al. (2006) no solo va a reducir el consumo de combustibles fósiles sino que reducirá la cantidad de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) siendo un gas perjudicial para la atmósfera, las cantidades

emitidas por la transformación de biomasa no cuentan en el protocolo de Kyoto ya que es de igual proporción a la absorbida en el proceso de fotosíntesis. McKendry, P. (2002) afirma que la presión ejercida ante el deterioro ambiental nos ha llevado a buscar energías renovables como la de biomasa ya que se procede a la conversión de la misma en energía eléctrica o de combustible mediante combustión, pirolisis o gasificación principalmente. En la figura 5 podemos observar las tecnologías renovables que más uso se dan según su capacidad de generación de energía, la biomasa está en crecimiento sin embargo su capacidad energética todavía no es competitiva.

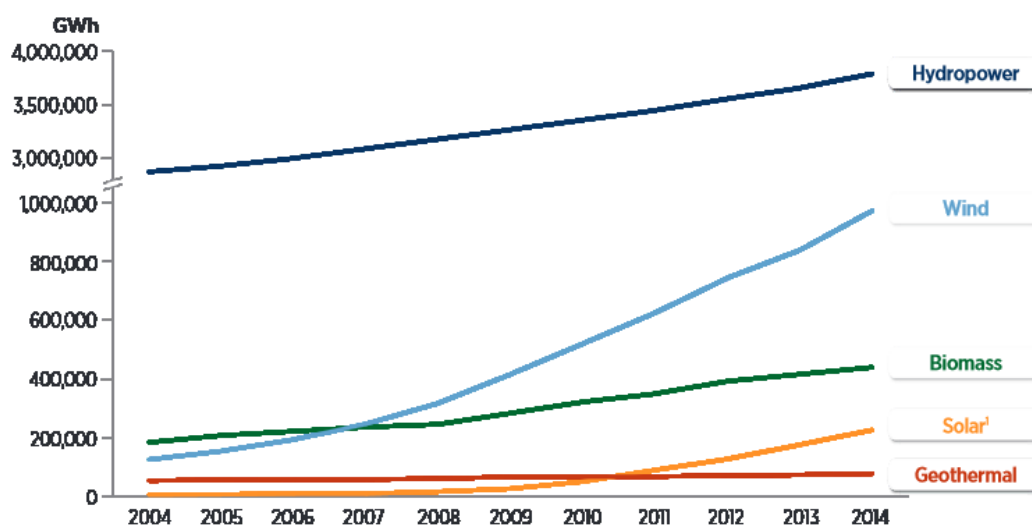


Figura 5: Generación de energía de tecnología renovable.
Fuente: New Renewable Energy Laboratory- NREL(2014) Renewable Energy Data Book - <http://www.nrel.gov/> - 3 marzo de 2016 - 19:08pm

2.9. Gestión de residuos

Se puede definir según García, F., & Tena, E. C. (2006) como un conjunto de procesos que pretenden dar un mejor destino a los residuos, es decir, desde una perspectiva económica y ambiental, dependiendo de sus características de procedencia, coste de tratamiento, volumen, capacidad de reutilización o comercialización, relacionándose con

el enfoque «post-consumo» que considera determinar la composición y volumen de los residuos para determinar el método más adecuado para su tratamiento. Si nos enfocamos en los residuos orgánicos (biomasa), en este caso los domésticos, debemos determinar que su inadecuada gestión también es foco de enfermedades, por lo que Vargas Marcos, F. (2005) afirma que la salud es uno de los factores que a mediano y largo plazo es afectado por la contaminación pues se estima que el 20% de enfermedades en los países industrializados son consecuencia de factores medioambientales. En el caso de mala disposición de residuos orgánicos los agentes microbiológicos que la preceden la contaminarán con virus, bacterias y bacilos produciendo enfermedades como fiebre tifoidea, cólera, diarrea y demás.

2.10. Legislación

Según el Artículo 7 de la Ordenanza que regula la gestión integral de los desechos y residuos sólidos en el cantón Cuenca, la EMAC (Empresa Municipal de Aseo en Cuenca) determina los estándares para clasificar los residuos así como su transporte y disposición final es decir este es el ente representativo de Cuenca para determinar el fin de estos residuos además según el Artículo 16 de dicha ordenanza, la EMAC analizará y apoyará iniciativas de organismos públicos o privados para el adecuado tratamiento de los mismos ya que de afectar la salud y el ambiente se impondrán sanciones económicas y legales. Como forma de incentivar de acuerdo al Artículo 26 de la Ley de Manejo Adecuado de Residuos Sólidos y Escombros, según las estadísticas globales del país se ofrecerán incentivos económicos a los primeros municipios que gestionen de mejor manera estos desechos. Pero sin formar parte una implementación de procesos innovadores y eficientes solo con interés económico sino con una visión altruista.

Según la Ley orgánica de la Función Legislativa del manejo adecuado de residuos sólidos constata que la gestión de estos residuos urbanos no es la adecuada para la salud como para el medio ambiente como es el caso de desechos en botaderos de cielo abierto o enterrarlos sin ningún tratamiento previo; la RAE (Real Academia de la Lengua Española) define desecho como “Cosa que, por usada o por cualquier otra razón, no sirve a la persona para quien se hizo” por lo que podemos suponer su reutilización, lo que nos indica que los desechos domésticos pueden ser utilizados para generar productos y servicios útiles así como reducir su impacto ambiental.

2. 11. Biocombustibles

Es un tema que con los años y la necesidad mundial por reducir la explotación del petróleo ha crecido sustancialmente pero Stratta, J. (2000) aclara que algo similar se hizo en 1900 pues Rudolf Diesel, quien creo el motor de encendido por compresión o mejor conocido como motor diésel, realizó la impulsión de una de sus creaciones con el aceite de maní en una exposición llevada a cabo en París, entonces ahora debido a la problemática medioambiental ha aumentado el interés de científicos y expertos en el tema por encontrar alternativas a este combustible fósil por lo que Blanes, J., et al (2008) considera un biocombustible como un combustible de origen biológico a través de fuentes renovables que pueden ser restos orgánicos o plantas cultivadas, siendo utilizada por más de 2000 millones de personas, lo que representa un 30% de países en desarrollo que reducen los gases de efecto invernadero. Dufey, A. (2006) clasifica los cultivos en los que generan bioetanol como el de maíz, caña de azúcar, remolacha, trigo y sorgo, así como los que generan biodiesel que tienen su origen en plantas oleaginosas como: girasol, soya

o árboles como la palma, cocotero, etc. Aun así estos cultivos son tema de debate en muchos sectores, del cual se explicará más adelante; la segunda generación es cuando la materia prima es de desechos biodegradables derivados de la industria, actividad forestal, agricultura y residuos domésticos.

Países como Estados Unidos en el 2012 gracias a su interés por esta tecnología predijo unos 30.000 millones de litros de biocombustible que representa el 5.75% de la necesidad de combustible para transporte, la unión Europea para el 2010 tenía estipulado el uso de al menos 5.75% en biocombustibles requiriendo para el 2020 el uso de al menos el 10%. La India y China también se han convertido en grandes productores de biodiesel y bioetanol respectivamente

2.11.1. Biocombustible de primera generación

Recordemos que un biocombustible de primera generación quiere decir que se va a obtener mediante cultivos que pueden ser destinados para la alimentación tanto humana como animal.

2.11.1.1. Ventajas

Es un tema de discusión constante entre investigadores, estudiantes, conocedores del tema y personas interesadas en temas medio ambientales en general, por esta razón vamos a rescatar lo que varios autores afirman como Callejas, E., et al. (2009) que la considera como una alternativa ambientalmente viable puesto que ayudará a reducir impactos perjudiciales como los que se dan con el uso irracional del petróleo evitando que se agote aceleradamente, que no haya contaminación de suelos debido a los derrames ocasionales. Es parte de una fuente inagotable de materia prima, debido a que son desperdicios

constantes de los alimentos orgánicos que consumimos es decir, torna como un beneficio, la economía de los productores y cultivadores de esta materia; un beneficio económico social y ambiental sin embargo, más adelante el autor hablará de sus desventajas. Serna, F., et al., (2011) le confiere cualidades muy comprometedoras de este tipo de materia prima ya que son: biodegradables, no inflamables, no tóxicos, fuente competitiva, viable y generadora de una mejor economía. El autor Stratta, J. (2000) añade que un tipo de aditivo de origen en residuos sólidos domésticos “cumple con los requisitos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), bajo la sección 211(b) del “*Clean Air Act*” permitiendo que se use en diferentes concentraciones en combinación con diésel de petróleo o de forma pura; y por último confiere a la generación del mismo la responsabilidad de reducir al menos un 80% de emisiones anhídridas de carbono así como hasta el 100% de dióxido de azufre.

2.11.1.2. Desventajas

Entre varias de sus desventajas Callejas, E., et al. (2009) señala que se inclinarán los cultivos a producir únicamente este tipo de materia prima llevándonos a una era de monocultivos los cuales son perjudiciales no sólo para la calidad del suelo sino para resistencia de plagas, además la crisis alimentaria que conlleva producir este tipo de biocombustible, lo cual afirma Blanes, J., et al. (2008) ya que aumenta el precio de los alimentos pues ahora también se la utiliza para obtener de esta energía alternativa y más cuando se refieren a países que no han alcanzado su autosuficiencia alimentaria, es decir compiten por los suelos que serían de uso exclusivo como fuente de alimento, por esta razón Sempere, J., et al. (2008) concluye que se usa parte de la superficie agrícola que normalmente se utilizaba para solventar las necesidades de la humanidad, ahora también

como fuente energética. Otras de las desventajas inherentes enfocadas por estos autores son: la demanda de agua que estos cultivos implican pues el agua necesaria para que un automóvil recorra 20.000 km es el mismo para que un promedio de 300 personas la consuman así como el cultivo empleado para generarlo que daría de comer a siete personas en lo que va de un año. Así como sus elevados costos de producción, deforestación e impacto social. Concluyendo con Lizana, A., et al. (2012) que destaca que especialmente en los países pobres, en los países en vía de desarrollo será donde más afecte este tema puesto que el incremento de los precios a los cuales se someten los cultivos tendrá consecuencias visibles en su soberanía alimentaria la cual no es estable pudiendo generar así consecuencias indeseables.

2.11.2. Biocombustibles de segunda generación

Estos tipos de combustibles se refieren a los que podemos obtener no de un cultivo destinado a la alimentación tanto humana como animal, sino gracias a restos de actividades ya sean forestales, agrícolas o residuos vegetales en sí.

2.11.2.1. Ventajas

Aunque esta clase de biocombustibles no está tan desarrollado y estudiado como los de primera generación sin embargo Naik, S., et al. (2010) menciona que para poder obtener estos subproductos de forma rentable es necesario utilizar tipos de tecnología verde, es decir tecnologías rentables no solo ambiental sino económica y socialmente, pudiendo ser procesos biológicos o termoquímicos como la pirolisis, por lo que Damartzis, T., et al. (2011) analiza que establecer bien qué tipo de ruta se va a tomar para esta transformación es clave para que pueda haber una integración de procesos para que llegue

a ser una solución innovadora. Además Callejas, E., et al. (2009) asume que al ser restos vegetales ya sean industriales o domésticos, es decir la materia prima no es comestible como lo reafirma Blanes, J., et al. (2008) pues tiene un potencial o valor agregado, al utilizar estos desechos o residuos, no se pone en juego la soberanía alimentaria ya sea de países desarrollados o no, siendo partícipe de estas opiniones Eisentraut, A. (2010) y añadiendo que puede ser una fuente considerable para un desarrollo rural, los cuales pueden sacar ventaja de esta cantidad de materia prima teniendo así un mejor desarrollo económico. Se incluye que para obtenerlo no se necesitan directamente agroquímicos o cantidades exageradas de agua pues estamos hablando de residuos, por lo que querer llevar estos modelos a mayor uso incentiva el trabajo y desarrollo científico en el sector agroindustrial. Por último Serna, F., et al., (2011) añade que aprovecharemos las características celulósicas, hemicelulósicas, lignínicas, etc. para el procesamiento de este biocombustible tan prometedor en la situación en la que nos encontramos actualmente.

2.11.2.2. Desventajas

Uno de los puntos en contra para esta tecnología en crecimiento son los altos costes que significa su implementación pues Carriquiry, M., et al. (2011) afirma que uno de los obstáculos es el suministro de energía ya que para producir a nivel industrial o no, su costo es elevado así como la maquinaria para implementar la conversión, es decir, el producto deberá tener un valor alto, lo que Antizar-Ladislao, B., et al. (2008) confirman que para hacer que esta tecnología sea lo suficientemente viable la generación de la misma necesita de antemano una gestión sostenible para generar este tipo de sistemas, es decir Callejas, E., et al. (2009) comentan que obtenerlos a gran escala como para que los productos puedan ser comercializados masivamente, todavía no son económicamente viables ya que

su modelado, estructuración e implementación nos llevan a combinar varios métodos, por lo que un análisis exhaustivo es fundamental para que se verifique a esta tecnología como una oportunidad tanto para un bien climático y energético, asevera Damartzis, T., et al. (2011).

2.12. Pirolisis de biomasa

El autor Mohan, D., et al. (2006) señalan, que esta técnica pirolítica aplicada a residuos madereros ya se trató de implementar desde 1970 debido a la crisis mundial, donde el precio del petróleo, así como su explotación, subió notablemente debido a la demanda que generó el crecimiento industrial, es decir ya se veía como alternativa para obtener combustibles de esta forma, sin embargo, sólo de fuentes madereras. Ya que la materia prima para esta investigación es la biomasa específicamente los residuos sólidos urbanos; Stratta, J. (2000) se refiere a esta como el producto obtenido por la fotosíntesis de las plantas al utilizar la energía solar, agua y el dióxido de carbono, obtendrán específicamente azúcares que se almacenarán en forma de energía siendo estas almidón, glucosa, aceites, etc. Es decir, esta energía almacenada es la que se usará para un proceso de pirolisis.

La pirolisis determinada por Colomer & Gallardo, (2010) indica que es el paso previo a la combustión y gasificación, que consiste en descomponer térmicamente el material seleccionado en ausencia de oxígeno u otro reactante produciéndose así varios procesos químicos (como transferencia de materia y calor). Se realiza con temperaturas de 400 a 500 °C dependiendo de factores como el tiempo que se vaya a aplicar, la residencia del residuo en el reactor, presión y rapidez del calentamiento. Obteniendo así residuos como gases, líquidos y sólidos. Klug, M. (2013) establece las diferentes etapas del mismo que

consisten primero en establecer cuánta materia prima se va a utilizar (dosis), colocar la misma en la máquina, posteriormente se produce la transformación de la materia orgánica para obtener y separar los productos generados que son: bio - aceite, gas o coque. Enfocándose como el material a utilizar la biomasa Yaman, S. (2004) la define como la técnica lenta e irreversible de descomposición térmica de los residuos orgánicos en total ausencia de oxígeno donde el producto líquido es una combinación de agua y productos químicos orgánicos derivados especialmente de sus componentes como celulosa, lignina y hemicelulosa. Del cual obtendremos mediante destilación el hidrocarburo deseado.

2.12. Tipos de pirolisis y equipos pirolíticos

Desde un aspecto operativo actualmente según Castells, X., et al. (2012) los tipos de pirolisis se dividen en tres grupos, en los cuales su temperatura no superará los 800 °C.

Tabla 2

Comparación de los procesos de pirolisis

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

Fuente: Castells, X. E., et al (2012).

Existen diferentes tipos de equipos pirolíticos según la forma de obtener el producto deseado como son el Reactor continuo, semicontinuo, etc Torres, J. et al. (2014), Heredia, M., et al. (2016) mas en este trabajo se utilizará el Reactor tipo Batch o por lotes.

2.13.1. Aplicaciones de la pirolisis

Esta tecnología, la cual no es actual es utilizada en diferentes áreas no únicamente aplicada en la conversión de la materia prima en un aditivo de combustible de interés sino que puede utilizar diferentes materias primas para cumplir este objetivo, como es el caso de centrarse en un solo tipo de residuo como explica García-Rojas, L. M., Marquez-Montesino, F. (2009) que utilizan el de la madera de *Eucalyptus saligna* como fuente de energía haciendo previamente un estudio de su composición química y cómo reacciona a una descomposición térmica. Otra aplicación de la pirolisis analítica que nos demuestra Álvarez G., et al. (2007) para determinar la cantidad de lignina y su calidad, estos resultados son comparados con el método referencial Klason que igualmente nos determina la lignina presente, utiliza la madera de *Pinus caribaea* donde determina que la pirolisis también es útil para conocer la calidad de la madera pues, reconoce su estructura química y su comportamiento al realizar varios análisis además de atribuir como un paso previo para elegir si se puede hacer un mejoramiento genético de la madera para obtener una de mejor calidad. Otro ejemplo que nos demuestra Castillo, E. (2008) es la utilización de desechos de caña de la industria azucarera donde utilizan pirolisis rápida de biomasa como alternativa al manejo de este desecho agrícola que a la vez aumenta con la creciente demanda de este producto de primera necesidad, donde al igual que con la pirolisis de residuos domésticos se reduce la humedad a menos del 10% seguido de la trituración de

la materia para que sea admisible en la máquina de pirolisis, siguiendo así el proceso normalmente aseverando los resultados por la densidad del producto es de fácil almacenamiento, transporte y utilización.

2.13.2. Principales factores que influyen

2.13.2.2. Temperatura

El rango de temperatura la cual estará establecida en la máquina según como queramos llevar el proceso, para poder establecer cuáles son las temperaturas óptimas hay que tener en cuenta cómo van reaccionando los componentes de los residuos para poder obtener la sustancia de interés. Urien A., (2013) indica que la primera estructura en descomponerse es la lignina a una temperatura entre 220 °C y 315 °C, posteriormente la glucosa procederá a descomponerse con un rango térmico mayor de 300 °C a 400 °C sin embargo la lignina ya irá descomponiendo su estructura y composición química desde los 100 °C, por lo que el factor temperatura es determinante ya que se ubica en un intervalo de entre 400 °C a 550 °C para un rendimiento aceptable. Junto a la temperatura está la velocidad de reacción donde Gómez, A. (2008) afirma que esta va depender de la estructura y diseño del reactor así como de las la condiciones que se confieran como son la velocidad de calentamiento, la máxima temperatura que se haya determinado, composición y estructura de la materia y la atmósfera donde se va a realizar el proceso.

2.13.2.3 Humedad

El porcentaje de humedad en la muestra no es un factor crítico ya que la temperatura a la que se someta la materia de prima utilizada en la pirolisis permitirá reducir la humedad

que esté demás, sin embargo, para evitar desperdicio de energía utilizada para que la temperatura realice esta función así como el tiempo que se añade al proceso para vaporizar el exceso de humedad, por esta razón Castillo, E. (2008) menciona que al ser una materia prima orgánica es necesario que esté con una humedad menor al 10% ya que también ayudará para su trituración sea más sencilla.

2.13.2.4. *Tamaño de la muestra*

Resulta un factor importante ya que según Gómez, A. (2008) si el tamaño de la muestra es mayor se va a necesitar más cantidad de tiempo para que se puedan generar los productos así como térmicamente irá teniendo diferentes gradientes desarrollándose diferentes tipos de reacciones entre las fases volátil y sólida, es decir si su tamaño es exagerado favorecerá reacciones secundarias internas en la partícula

2.13.3. *Productos de la pirolisis*

En la pirolisis convencional se va a obtener tres tipos de productos: líquido, sólido y gaseoso, donde Urien A., (2013) estima un resultado porcentual de 50% en producto líquido, 20% en producto sólido o biocarbón y un 30% en obtención de gases donde no se cuentan los condensados en el proceso para obtener los líquidos – aceites, es decir, este porcentaje son de los gases no condensables. Así como presencia de compuestos inorgánicos los cuales están asociados a iones, tienen relación con estructuras enzimáticas y están conectados a ácido orgánicos, entre ellos están: P Mg , Ni, Cr , Zn ,Ca , Si, K , Li , Ti , Mn, Ba , V , Cl , Al, Na , S principalmente según Goyal, H., (2008).

2.13.3.1. Producto líquido

Estos se obtienen en consecuencia de la condensación de los gases que tienen esta particularidad definiéndolos así Urien A., (2013) como bio aceties, líquidos pirolíticos o aceites biocombustibles, entre otros. Siendo una mezcla de una variedad de compuestos que contienen agua, alta cantidad de oxígeno y moléculas de peso molecular elevado, de igual forma Bu Q., (2012) afirma que esta fase líquida contiene especialmente: fenoles, furanos, compuestos aromáticos, aldehídos, alcoholes, ácidos, cetonas, éteres, hidrocarburos, compuestos alifáticos y oxigenados, constituyendo así dos tipos de fases como la acuosa formada especialmente por estructuras de bajo peso molecular y por último la no acuosa donde su composición es por compuestos de elevado peso molecular además de ser insolubles. Porcentualmente contienen de 20 a 25% en agua, otro 20 a 25% de compuestos derivados de la lignina como metoxifenoles, ácidos orgánicos como el ácido acético, 10 al 25% de compuestos no oxigenados y un 5 al 10% de hidrocarburos.

Tabla 3

Propiedades físico químicas de un biocombustible y combustible derivado del petróleo

Propiedades	Biocombustible	Combustible derivado del petróleo
Contenido de agua (%/p/p)	15 - 30	0,1
pH	2.5	
Composición elemental (%)		
C	54-58	85
H	5,5-7	11
O	35-40	1
N	0-0,2	0,3
Cenizas	0-0,2	0,1
PCI (MJ/kg)	16-19	40
Viscosidad a 773 K (Cp)	40-100	180
Sólidos (%p)	0,2-1	1
Residuo de la destilación	Más de 50	1

Fuente: Urien A. (2013).

2.13.3. 2. Producto sólido - Biocarbón, carbón vegetal o Biochar

Este tipo de residuo que a simple vista no parece de gran utilidad, es otro producto que se obtiene después de un proceso pirolítico donde Urien A. (2013) determina que es el material carbonoso o carbón vegetal el cual ha sufrido varias reacciones antes de estar en ese estado y entre estas tenemos a:

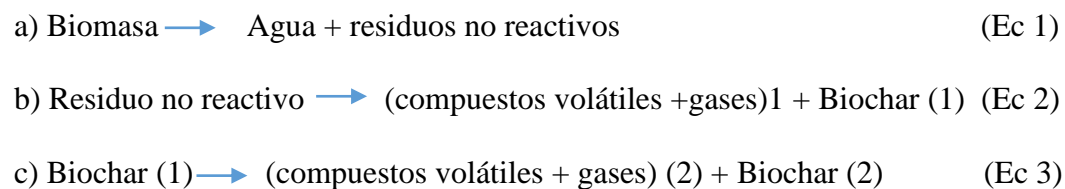


Figura 6: Mecanismos o etapas de formación del carbón vegetal

Fuente: Urien A., (2013). Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirolisis de biomasa residual

Donde la etapa inicial o Ec 1 nos indica la eliminación de humedad de la materia prima es decir se produce una volatilización del agua, en la siguiente etapa Ec 2 se produce una volatilización más rápida que la anterior en especial de compuestos orgánicos y esta vez ya produciendo gases, ahora se obtiene el biocarbón primario en la última etapa o Ec3 el biocarbón de la reacción anterior empieza a descomponerse gradualmente con el fin de obtener residuos sólidos con un porcentaje alto de carbón fijo el cual tiene la capacidad de reordenarse y establecerse como biocarbón final. Urien A., (2013).

2.13.3. 3. Producto gaseoso

Referente a los gases incondensables del proceso, que dependen de los parámetros aplicados en el proceso de pirolisis, estos pueden ser desde dióxido de carbono, metano, hidrógeno, etano, propano, butano, buteno propeno, etileno, monóxido de carbono. Castells., et al. (2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Metodología empleada

La investigación se presenta como hipotética – deductiva Bernal C. (2006) ya que de la hipótesis generada se va a aseverar o refutar la misma gracias al método cuantitativo – experimental. Determinando como población del estudio a la totalidad del líquido pirolítico a obtener, se realiza un muestreo sistemático determinado por un patrón (destilación por punto de ebullición de la población) y así seleccionar las muestras representativas para su posterior análisis.

3.1. 2. Adecuación de materia prima

Se recolectaron diferentes tipos de residuos vegetales provenientes del hogar y restaurantes de la Ciudad de Cuenca, para adecuar los mismos y evitar que se generen procesos de descomposición se los seca al aire libre, sobre papel periódico por un tiempo de 4 - 5 días para posteriormente secarlos en la estufa (100 °C) y continuar con el proceso.



Figura 7: Adecuación de la materia prima
Fuente: La autora – Diciembre 2015

3.2. Equipos

3.2.1. Estufa de marca Memmert

El equipo necesita configuración de la temperatura la cual está establecida en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) y el tiempo a permanecer, en este caso horas. Para cumplir el objetivo en el proyecto de reducir la humedad, se procede a colocar los restos vegetales en platos de aluminio en una temperatura de 100°C por 24 horas.



Figura 8: Estufa Memmert

Fuente: La autora – Diciembre 2015

3.2.2. Analizador de humedad HB43-5

Para el tipo de materia orgánica a medir la humedad se selecciona el parámetro “café molido” debido a su similitud, posteriormente se pesa el plato de aluminio vacío, seguido del peso con la muestra (no debe pasarse de un promedio de 3 g), se procede a determinar la humedad.



Figura 9: Analizador de humedad HB43-5
Fuente: La autora – Diciembre 2015

3.2.3 Licuadora industrial Blender C816

El equipo ubicado en el laboratorio de absorción atómica (Ciencias de la vida – UPS) consta de un vaso y cuchillas de acero inoxidable con velocidad baja, media y alta para obtener diferentes resultados como producto final, botón de detener el proceso así como de encendido y apagado.



Figura 10: Licuadora Blender C816
Fuente: La autora – Diciembre 2015

3.2.4 Equipo de pirolisis

Es un prototipo fabricado por la empresa ELECON bajo las especificaciones establecidas por la UPS – Cuenca, “Reactor para Residuos Plásticos” consta de:

- Tapa desmontable
- Válvula de seguridad de $\frac{1}{4}$ ”
- Manómetro de baja presión
- Materiales en acero inoxidable 304 de espesor 4 mm.
- Medidas: diámetro 20 cm y alto 25 cm
- Neplos para entrada y salida de gases diámetro $\frac{1}{2}$ ”
- Medidor de temperatura (digital) marca DELTA
- Alarma acústica para límite de temperatura calibrada
- Sonda tipo J-K (900 °C) LIMITE

- Serpentín inoxidable tuvo ½’’ con cámara de enfriamiento con llaves entrada y salida de agua
- Módulo de calentamiento desmontable
- Potencia de consumo 1500 W
- Voltaje 220 V/3F
- Mesa de soporte para tanque (reactor), serpentín de enfriado, módulo de calentamiento y tablero eléctrico.



Figura 11: Equipo de pirolisis
Fuente: La autora – Diciembre 2015

3.2.7 Vaso abierto de Cleveland modelo K13900

El equipo para uso de los laboratorios de Ciencias de la vida – UPS, permite el incremento de temperatura en calentador eléctrico (níquel y cromo) 1000 W, mediante una perilla que ayuda a controlar la misma, el dispositivo donde el gas se expulsa para ser encendido y determinar la primera chispa, el vaso donde se coloca el líquido a analizar y

un dispositivo para colocar el termómetro que nos indica la temperatura a la cual se dio la inflamación.



Figura 12: Vaso abierto de Cleveland
Fuente: La autora – Abril 2016

3.3. Procedimiento

Para reducir la humedad a menos del 5% se utilizó la estufa marca Memmert donde se colocan los residuos sólidos domésticos en bandejas de aluminio, por 24 horas a una temperatura de 100 °C.

Para comprobar que la humedad se ha reducido notablemente se utiliza el equipo analizador de humedad HB43-5 verificando que esté correctamente equilibrada, donde se coloca máximo 3 g de la materia obtenida anteriormente, procurando que el tamaño de partícula del mismo sea reducido ya que se utiliza el patrón de “café molido” para que la máquina corra con el proceso.

Al comprobar una humedad menor al 5% se procede a reducir al máximo el tamaño (3 mm aproximadamente) de los residuos secos este proceso se realiza en la licuadora

industrial Blender C816. Una vez obtenida la muestra adecuada se procede a pesar en la balanza analítica 50 g de la misma y dispone en una capsula de porcelana. Se procede a adecuar el “Reactor para Residuos Plásticos” o equipo de pirolisis donde se coloca la cápsula y su contenido en la parte adecuada para la muestra, se cierra con los respectivos tornillos en cruz tratando de que no queden fugas. Se comprueba la inexistencia de fugas al introducir aire mediante la manguera del equipo Porter Cable – Pro hasta que el manómetro nos indique una presión de 40 PSI, cerramos la llave del equipo y se procede a colocar agua en los bordes de la tapa donde si se generan burbujas de gran tamaño se deberá cerrar con mayor fuerza para comenzar el proceso, extraemos el aire con la bomba de vacío Gast hasta que el manómetro nos indique presión cero. Cerramos las llaves de la máquina, la encendemos en voltaje de 220 V, colocando el termómetro en su lugar. A la par se ha adecuado un erlenmeyer donde se depositarán los productos tanto líquido como los gases ya condensados, en este recipiente que contiene el erlenmeyer se coloca hielo en su totalidad para favorecer las reacciones de condensación.

A medida que sube la temperatura se controla la presión, pues según las especificaciones del equipo es preferible que el manómetro no marque más de 40 PSI, al momento que se genera esta presión se enciende la torre de enfriamiento la cual tratamos que sea constante, posteriormente se abre ligeramente la llave para reducir la presión, al momento que el manómetro marque presión cero se cierra la llave. Se nota que la temperatura también disminuye es debido a que la presión y temperatura están relacionadas, si la presión baja la temperatura de igual manera, sin embargo en segundos comienza a subir la temperatura otra vez. Este proceso se realiza cada vez que el equipo alcance presión de 40 PSI hasta que alcance la temperatura de 400 °C a la cual la máquina está programada, se abre lentamente la llave de la presión para ir reduciendo hasta 0. Se

deja enfriar el equipo para poder retirar la muestra y continuar con más corridas de pirolisis, se verifica la cantidad de producto obtenido gracias al erlenmeyer. El resto que queda en la cápsula de porcelana (biocarbón) se procede a almacenar pues el mismo puede ser utilizado como carbón activado el cual se puede usar para otros fines.

3.3.1. Recomendaciones antes de utilizar el equipo de pirolisis

Antes de poner la muestra se verifica que la superficie entre el equipo y la tapa esté totalmente lisa, de no ser así se lija ligeramente la superficie, esto para que al cerrar haya un acoplamiento correcto y evitar fugas.

3.4. Análisis fisicoquímico del producto líquido

3.4.1. Aspectos sensoriales: Color y olor

Estas características dependen del observador, al obtener el destilado se distinguen dos fases la de color claro posee un olor picante como a acetona; sin embargo el segundo líquido posee color café verdoso oscuro con un olor fuerte característico a combustible

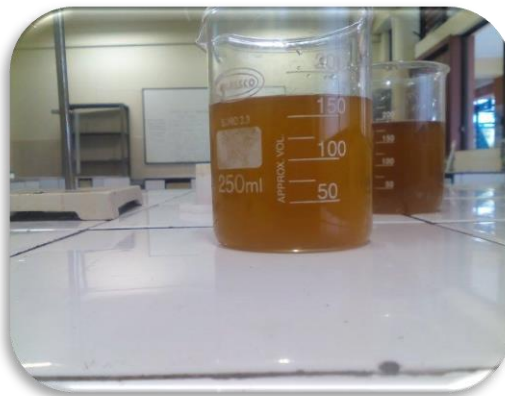


Figura 13: Líquido 1
Fuente: La autora – Mayo 2016

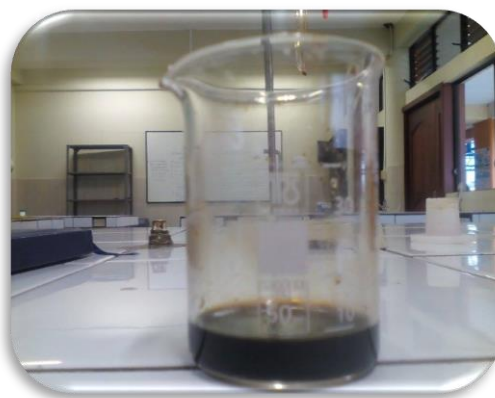


Figura 14: Líquido 2
Fuente: La autora – Mayo 2016

3.4.2. Densidad

Para realizar el análisis de densidad se parte de la norma COVENIN 2052 -93 “Productos derivados del petróleo. Determinación de densidad de líquidos por medio del picnómetro de Bingham”

- **Materiales**

Picnómetro de 5 y 10 ml

Balanza Analítica

- **Procedimiento**

Se procede a pesar el picnómetro vacío, 18.8377 g

Se coloca en el picnómetro de 10 mL el líquido 1 (claro) y se pesa, 28.8638 g. Con estos datos se calcula la masa:

$$m = p1 - p2$$

Donde:

P1= picnómetro con el líquido: 28.8638 g

P2= picnómetro vacío: 18.8377 g

$$m = 28.8638 \text{ g} - 18.8377 \text{ g}$$

$$m = 10.0261 \text{ g}$$

Para poder obtener la densidad gracias a la fórmula:

$$d = m / v$$

$$d = 10.0261 \text{ g} / 10 \text{ mL} = 1.0028 \text{ g/mL}$$

De igual forma con el líquido 2 (oscuro)

$$m = p1 - p2$$

Donde:

P1= picnómetro con el líquido: 14,7252 g

P2= picnómetro vacío: 9,8807 g

$$m = 14.7252 \text{ g} - 9.8807 \text{ g} =$$

$$m = 4.8445 \text{ g}$$

Densidad

$$d = m / v$$

$$d = 4.8445 \text{ g} / 5 \text{ mL}$$

$$d = 0.96 \text{ g/mL}$$



Figura 15: Determinación de la densidad – (líquido 1)
Fuente: La autora – Mayo 2016



Figura 16: Determinación de la densidad – (líquido 2)
Fuente: La autora – Mayo 2016

3.4.3. Punto de inflamación y congelación

Para el punto de inflamación se utiliza el vaso abierto de Cleveland según la norma INEN 808:1986 “Productos del petróleo. Determinación de los puntos de inflamación y combustión en vaso abierto de Cleveland”

- **Materiales**

- Vaso abierto de Cleveland
- Gas
- Encendedor
- Termómetro

- **Procedimiento**

La muestra líquida 1 se coloca en el vaso de Cleveland según la capacidad del equipo, se enciende la llama gracias al gas. Se regula la temperatura para que empiece a ebulir y cuando los gases que sean combustibles toquen la llama, se encenderá una llama de mayor tamaño, al instante se verifica la temperatura de inflamación. Se realiza lo mismo con el líquido 2.



Figura 17: Punto de inflamación (vaso abierto de Cleveland)
Fuente: La autora – Mayo 2016

Para el punto de congelación se coloca el líquido 1 en un tubo de ensayo, se coloca un termómetro y se coloca en la congeladora hasta observar los primeros cristales.



Figura 18: Determinación del punto de congelación
Fuente: La autora – Mayo 2016

3.4.4. Viscosidad

Los siguientes análisis se realizan únicamente con el líquido 1 para determinar qué es, ya que se comprobó la naturaleza de combustible del líquido 2. Para este proceso se utilizó el viscosímetro cinemático Fungilab Premium. Determinando una temperatura de 30 °C donde puede haber una variación de 0.01 a 0.02 °C utilizando el



Figura 19: Viscosímetro cinemático Fungilab Premium
Fuente: La autora – Mayo 2016

3.4.5. Reacción de Fehling A – B

La caracterización de carbohidratos ya sean aldehídos o cetonas es uno de los análisis primordiales para reconocer la naturaleza de una muestra que se desconoce, mediante diferentes reacciones, Vieda, R., et al. (2014) indica que dependiendo del número de átomos de carbono que contenga así como el grupo ya sea aldehído o cetonas, reaccionará positivo o negativo. Gracias a iones metálicos del reactivo como Cu^{+2} , los monosacáridos

presentan una reacción de oxidación, cambiando su coloración a rojo, es decir hay presencia de azúcar reductor.



Figura 20: Reacción de Fehling
Fuente: La autora - Mayo 2016

3.4.6. Reacción de Tollens

Es otro tipo de reacción de oxidación para confirmar la presencia de específicamente un aldehído (aldosa), es útil para afirmar qué estructura posee y poder analizar posteriormente el compuesto orgánico, donde Cañón, G., (2015) afirma que al reaccionar (una de las más sorprendentes de la química) forma el espejo de plata cuando el ion plata tiende a reducirse a plata elemental.



Figura 21: Reacción de Tollens
Fuente: La autora - Mayo 2016

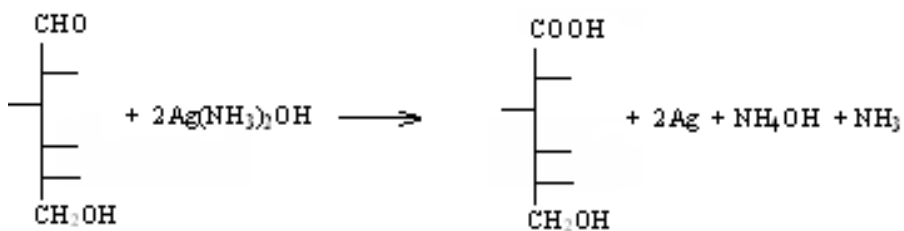


Figura 22: Reacción de Tollens (fórmulas)
Fuente: Vieda, R., et al. (2014).

3.4.7. Solubilidad en agua

La solubilidad va a depender de la polaridad o no de la sustancia la cual se va a disolver en el disolvente, como nos indica McMurry, J., (2012) ya que el agua al ser un líquido polar, las sustancias que sean solubles en el mismo quiere decir que son polares, así como los alcoholes.

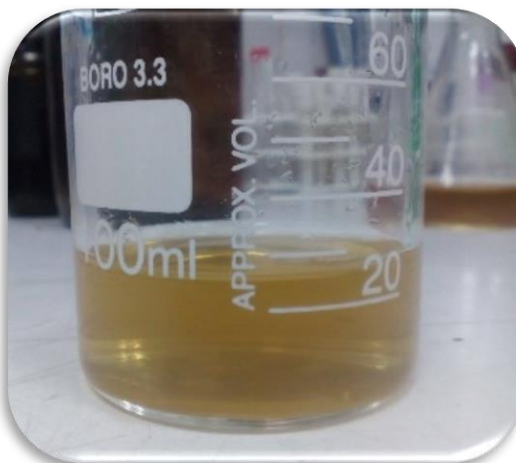


Figura 23: Solubilidad en agua
Fuente: La autora - Mayo 2016

3.4.8. Solubilidad en éter

En el análisis anterior se demuestra que es una sustancia polar ya que pudo disolverse en agua, sin embargo, para verificar se realiza solubilidad en éter, teniendo como resultado insolubilidad, ya que solamente será soluble cuando la sustancia sea escasa polarmente o nula en polaridad.

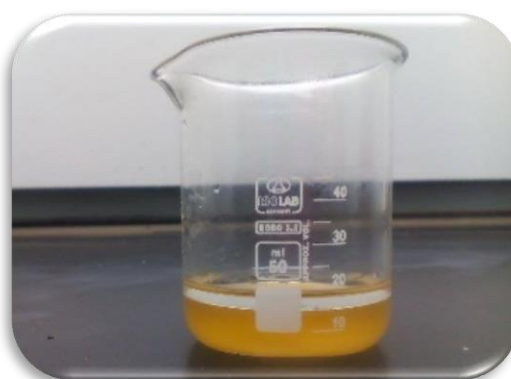


Figura 24: Solubilidad en éter
Fuente: La autora – Mayo 2016

3.4.9. Reacción con permanganato de potasio

La base de las reacciones con permanganato de potasio se deben a que oxidan ya sea alcoholes o hidrocarburos insaturados, en la práctica Chaillou, L. (2004) lo señala como un indicador de oxidación, donde se considera positivo al cambiar de color a uno “oxidado” medio café anaranjado, según el tiempo que tome en decolorarse, es medido en segundos.



Figura 25: Resultado de la reacción con permanganato de potasio
Fuente: La autora – Mayo 2016

3.4.10. Reacción con agua de bromo

Es apreciable a simple vista la reacción que tienen diferentes compuestos como los fenoles con el agua de bromo ya que Pasto D., et al. (1981) indican que se debe a las sustituciones insolubles, es decir; las estructuras para y orto se broman. Para el análisis se colocan gotas de agua de bromo hasta notar que se forman dos tipos de productos, es decir hay una precipitación que indica presencia de fenoles o hidrocarburos insaturados.



Figura 26: Reacción con agua de bromo

Fuente: La autora – Mayo 2016

3.4.11. Reacción con 2 - Naftol

Este tipo de reacción es básica para determinar aminas y en especial aminas aromáticas, en la práctica de reconocimiento de grupos funcionales [®]Quired v 1.0 se indica que es necesario que se realice una disolución de 2-Naftol en sosa. Donde al reaccionar con las mismas se cambia de color a un rojo o anaranjado.



Figura 27: Respuesta de la reacción con 2 - Naftol (anaranjado)
Fuente: La autora – Mayo 2016

3.5. Análisis estadístico

Debido a que los factores que vamos a estudiar en la influencia sobre el rendimiento del producto líquido obtenido son cualitativos (humedad, temperatura, tamaño de partícula), se pretende estudiar su significancia, por lo que es necesario escoger por lo menos dos niveles de cada factor para que pueda interactuar aleatoriamente y así determinar la adecuada según el proceso. Gutiérrez H. P., & de la Vara, S. R. (2003).

3.5.1 Diseño Factorial 2^3

Este tipo de diseño se realiza en el programa Minitab 16, el cual se basa en escoger los factores a estudiar, en este caso son: humedad, tamaño de partícula y temperatura, cada uno con dos niveles a probar, se realizan dos réplicas para mayor exactitud de resultados. Con los datos obtenidos en las corridas pirolíticas y sus respectivas réplicas se podrá obtener los resultados de las diferentes combinaciones para determinar el más influyente

en el proceso y cuál no. El valor p al ser menor que 0,05 es significativo es decir es un factor a tomar en consideración para la influencia de total de producto a obtener, todos relacionados con un intervalo de confianza del 95 %.

Tabla 4. Factores y niveles a aplicar

FACTORES	NIVELES	
Humedad (H)	3%	5%
Tamaño de partícula (Tp)	2 mm	6 mm
Temperatura (T)	320°C	400°C

Fuente: La autora – Mayo 2016

Tabla 5. Primera réplica

Número de prueba	Humedad (H)	Tamaño de partícula (Tr)	Temperatura (T)	Producto líquido (mL)
1	3%	2 mm	320°C	7
2	5%	2 mm	320°C	6.8
3	3%	6 mm	320°C	6.9
4	5%	6 mm	320°C	6.6
5	3%	2 mm	400°C	8
6	5%	2 mm	400°C	7.5
7	3%	6mm	400°C	7.3
8	5%	6mm	400°C	6.8

Fuente: La autora – Mayo 2016

Tabla 6.*Segunda réplica*

Numero de prueba	Humedad (H)	Tamaño de partícula (Tr)	Temperatura (T)	Producto líquido (mL)
1	3%	2 mm	320°C	7
2	5%	2 mm	320°C	6.8
3	3%	6 mm	320°C	6.9
4	5%	6 mm	320°C	6.6
5	3%	2 mm	400°C	8
6	5%	2 mm	400°C	7.5
7	3%	6 mm	400°C	7.3
8	5%	6 mm	400°C	6.8

Fuente: La autora – Mayo 2016

3.5.2. Análisis ANOVA

A partir de los resultados del diseño factorial 2k y con la opción estadística ANOVA se realiza una representación mediante gráficos explicativos para una mejor interpretación de datos, se escogen cuatro tipos de gráficas para el factor influyente y la combinación adecuada, como son las gráficas de efectos principales, interacción, de cubos y de Pareto.

4. Resultados y Discusión

4.1. Características de la materia prima

Se determinó gracias a la revisión bibliográfica, características y estructura del equipo de pirolisis tipo BATCH (por lotes) las condiciones óptimas de la materia prima a ser utilizada.

4.1.1. Humedad

La revisión bibliográfica determinaba que con una humedad menor al 10% la condición sería la apropiada, sin embargo al realizar la primera experimentación con este valor, fue notable gran cantidad de vapor que se desprendía de la máquina, ocupando así la temperatura gradual de la pirolisis para secar más aún la muestra. Por lo que se determinó una humedad del 5%, donde todavía habían rastros apreciables de vapor, al utilizar la humedad del 3% los rastros de vapor fueron casi nulos por lo que se determinó que es la humedad necesaria para que el sistema sea eficiente y no haya un gasto en vano de energía utilizada para secar la muestra y no para continuar normalmente el proceso pirolítico.

El siguiente gráfico se comienza con una humedad del 10% que fue determinada en la bibliografía, con un producto de 100% vapor pues, es la primera prueba a realizar, en los siguientes valores de 5% y 3% el valor de vapor es menor según sea la humedad.

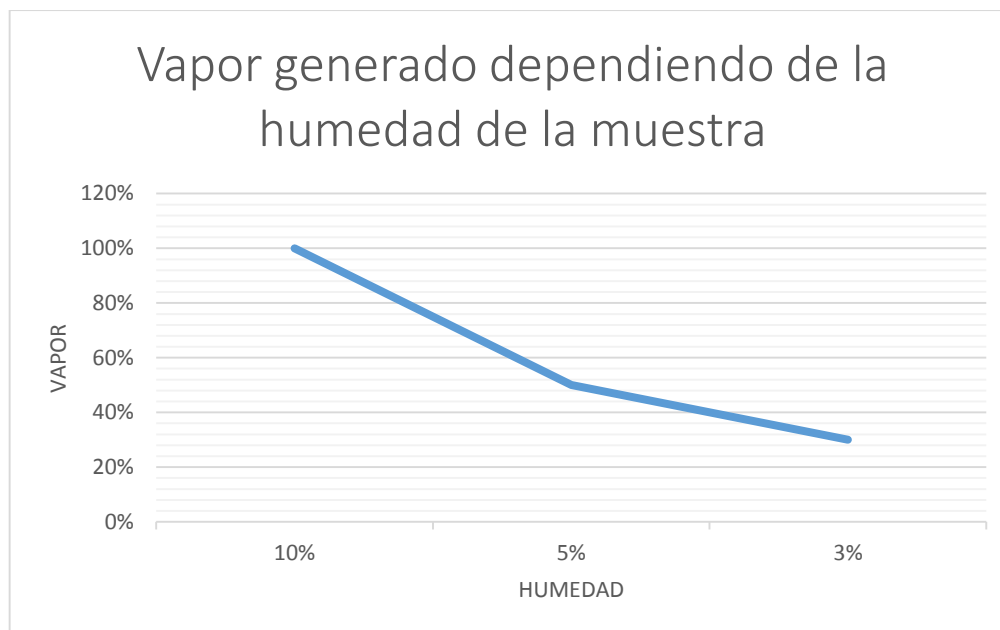


Figura 28: Vapor generado dependiendo de la humedad en la muestra.
Fuente: La autora – Junio 2016

4.1.2 Tamaño

El tamaño es considerado fundamental para una proceso eficiente del equipo puesto que si es de gran tamaño se necesitará más tiempo para generar los productos, gracias a la licuadora industrial se generan partículas de 6 mm aproximadamente mediante una velocidad de lenta a media, siendo aun así un tamaño inapropiado para el tamaño de la cápsula debido a que alcanza 34 g de la muestra, sin embargo con un menor tamaño habrá mayor cantidad de muestra a procesar. Por esta razón mediante una velocidad media a rápida se obtiene un producto de 2 mm aproximadamente, donde caben 50 g de muestra siendo una cantidad aceptable para que la cápsula de porcelana tampoco esté saturada como lo indica el siguiente gráfico.

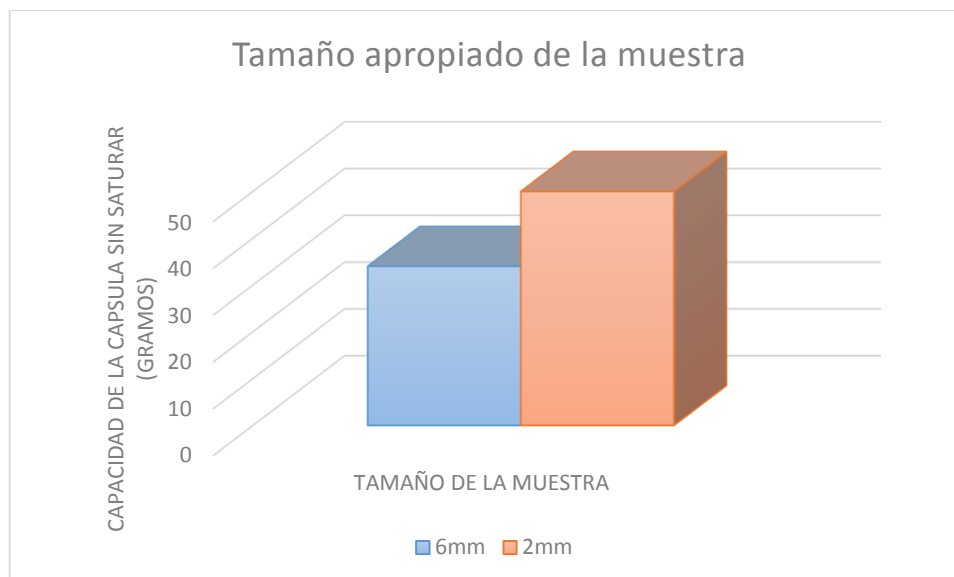


Figura 29: Tamaño apropiado de la muestra
Fuente: La autora - Junio 2016

Tabla 7.

Condiciones y producto obtenido en una corrida de Pirolisis

Corrida de pirolisis	Cantidad en gramos (g)	Humedad	Temperatura	Residuo en gramos (g)	Producto ml
1	50 g	3%	400 °C	18 g	8ml

Fuente: La autora - Junio 2016

Tabla 8.*Total de corridas y producto final*

Número de corridas	Cantidad en gramos (g)	Humedad	Temperatura	Residuo en gramos (g)	Producto ml
49	2450 g	3% c/u	400 °C c/u	882 g	392 ml

Fuente: La autora - Junio 2016

Tabla 9.*Producto de la destilación de los 392 ml obtenidos*

Cantidad a destilar	Líquido 1 (claro)	Líquido 2 (oscuro)	Residuo
392 ml	370 ml	10 ml	12 ml

Fuente: La autora - Junio 2016

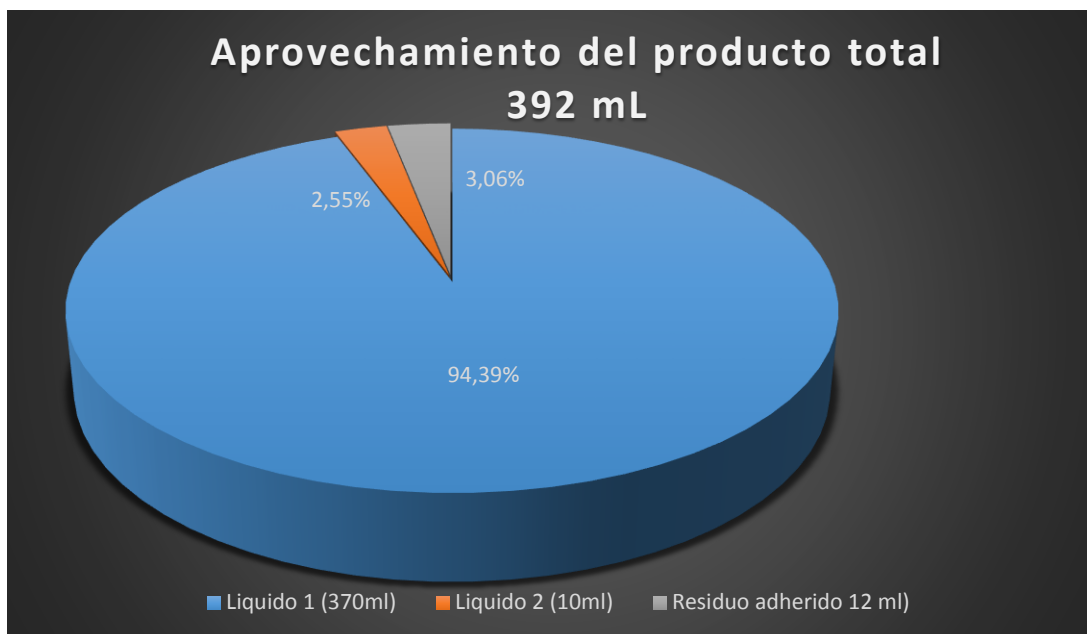


Figura 30: Aprovechamiento del producto total

Fuente: La autora - Junio 2016

4.1.3. Determinación de los factores que afectan el producto líquido a obtener

Para verificar qué rango de cada factor es el apropiado para una mejor respuesta en el proceso de pirolisis, se realizó tres tipos de gráficas a partir del análisis estadístico ANOVA y diseño factorial 2k, donde en el gráfico efectos principales para el líquido obtenido (Grafica 30), interacción (Grafica 31), y gráfica de cubos (Grafica 32), se determina que la temperatura que influye de mejor manera el obtener el producto líquido de interés es de 400 °C, la humedad es del 3% y el tamaño de partícula corresponde a 2 mm, dependiendo de la variable dependiente que es la cantidad de líquido obtenido.

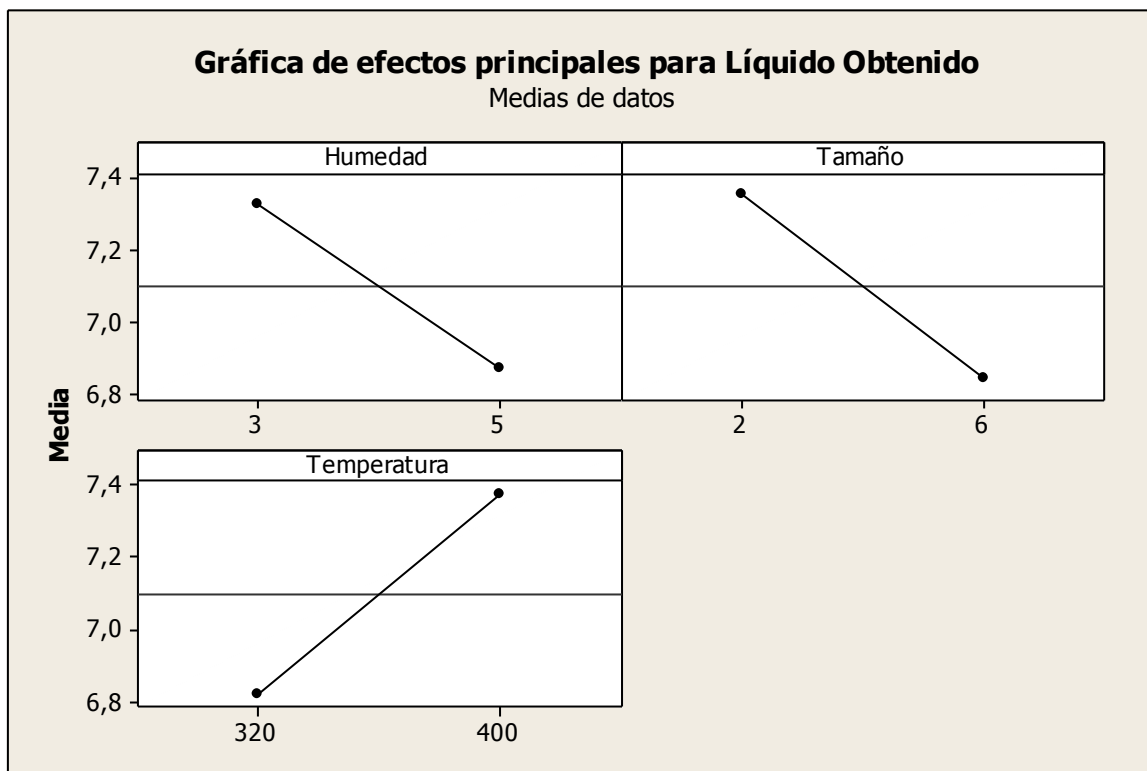


Figura 31: Gráfica de efectos principales para líquido obtenido.

Representa el valor óptimo de cada factor (temperatura, humedad y tamaño de partícula) para mejorar la eficiencia del proceso.

Fuente: La autora - Junio 2016

En comparación con los dos niveles de cada factor (temperatura, humedad y tamaño de partícula), se determina que los siguientes valores son los adecuados para el proceso, debido a que se obtuvo mayor cantidad de líquido pirolítico.

Temperatura: 400 °C

Humedad: 3%

Tamaño de partícula: 2 mm

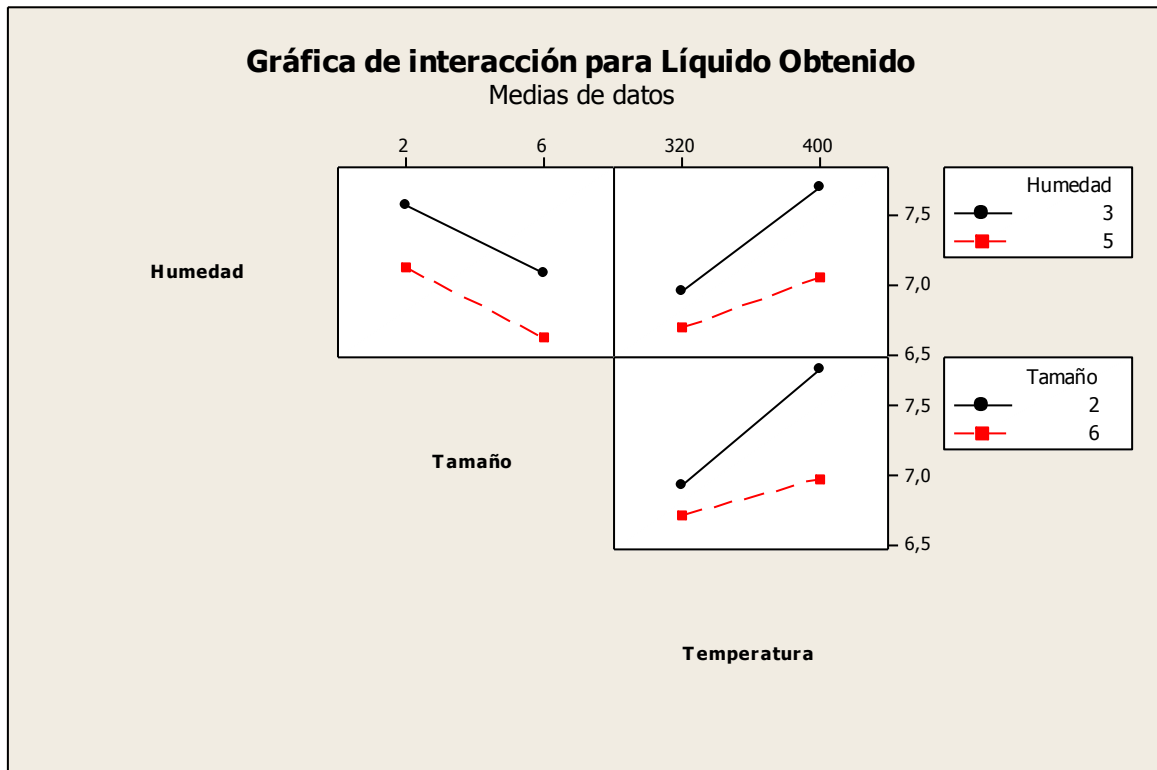


Figura 32: Gráfica de interacción para líquido obtenido

Fuente: La autora - Junio 2016

Determina la combinación adecuada para un mejor rendimiento.

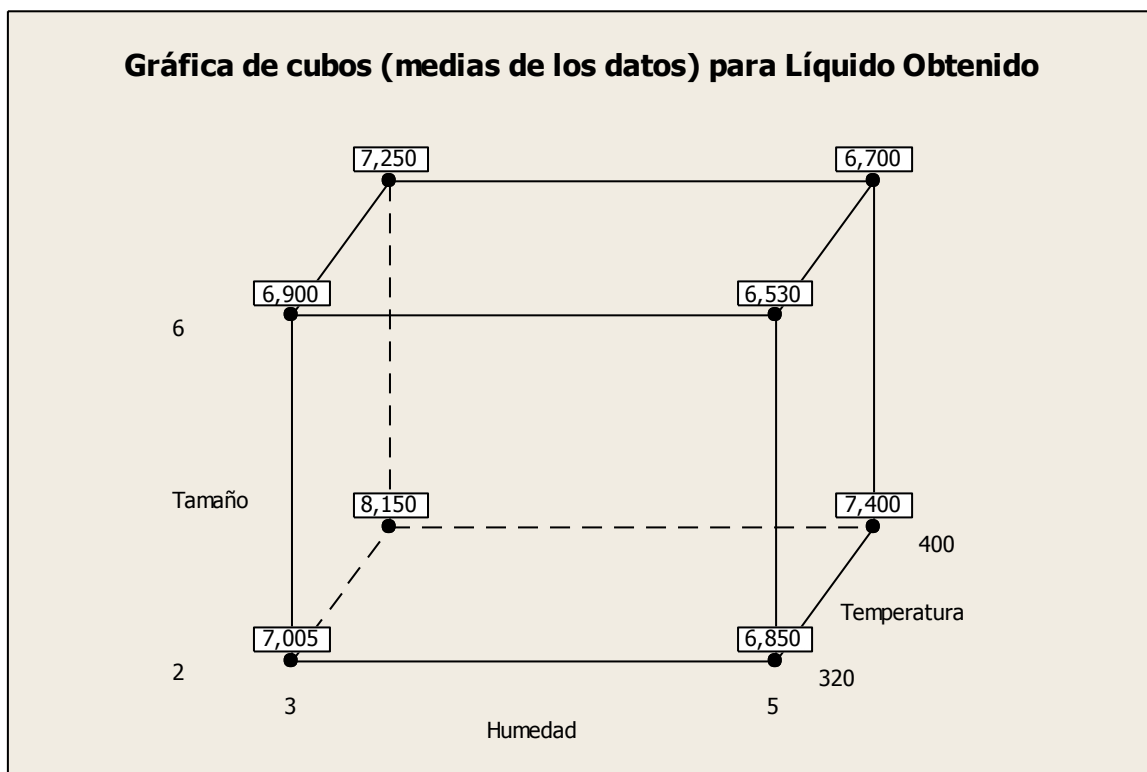


Figura 33: Grafica de cubos (medias de los datos) para el líquido obtenido.

Fuente: La autora - Junio 2016

Representa la relación entre los tres factores utilizando las medias de los datos de las variables de respuesta (líquido obtenido).

4.1.4. Interacciones de factores que tienen repercusión en el proceso

De acuerdo al resultado en el análisis de varianza utilizando el diseño factorial $2k$, se determina gracias al valor p obtenido de cada valor y sus interacciones, dónde un valor menor a 0.05 es significativo es decir tiene influencia directa en el proceso.

Se obtiene que la interacción tamaño de partícula y temperatura tienen un valor p de 0.01 (figura 34) siendo el valor más bajo, es decir es influyente en cuanto a la respuesta del proceso pirolítico; sin embargo la interacción humedad y tamaño de partícula poseen un valor p de 0.949 (figura 34) siendo el valor más alto obtenido es decir no tiene significancia directa con el proceso.

Análisis de varianza para Líquido Obtenido (unidades codificadas)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F
Efectos principales	3	3,08437	3,08437	1,02812	78,45
Humedad	1	0,83266	0,83266	0,83266	63,53
Tamaño	1	1,02516	1,02516	1,02516	78,22
Temperatura	1	1,22656	1,22656	1,22656	93,59
2-Interacciones de (No.) factores	3	0,49537	0,49537	0,16512	12,60
Humedad*Tamaño	1	0,00006	0,00006	0,00006	0,00
Humedad*Temperatura	1	0,15016	0,15016	0,15016	11,46
Tamaño*Temperatura	1	0,34516	0,34516	0,34516	26,34
3-Interacciones de (No.) factores	1	0,04306	0,04306	0,04306	3,29
Humedad*Tamaño*Temperatura	1	0,04306	0,04306	0,04306	3,29
Error residual	8	0,10485	0,10485	0,01311	
Error puro	8	0,10485	0,10485	0,01311	
Total	15	3,72764			

Fuente	P
Efectos principales	0,000
Humedad	0,000
Tamaño	0,000
Temperatura	0,000
2-Interacciones de (No.) factores	0,002
Humedad*Tamaño	0,949
Humedad*Temperatura	0,010
Tamaño*Temperatura	0,001
3-Interacciones de (No.) factores	0,107
Humedad*Tamaño*Temperatura	0,107

Figura 34: Análisis de varianza para líquido obtenido

Fuente: La autora - Junio 2016

4.2. Análisis del producto líquido obtenido a través de pruebas físico - químicas**4.2.1 Líquido 1 (claro)**

Como resultado de los análisis descritos en la metodología se pudo obtener los siguientes resultados:

Tabla 10.

Características del líquido 1 (Claro) - Obtenido tras la destilación del producto pirolítico

Característica	Líquido 1
<i>Color</i>	<i>Claro</i>
<i>Olor</i>	<i>Desagradable a "pescado" debido a las aminas</i>
<i>Densidad</i>	<i>1.00261 g/cm³</i>
<i>Viscosidad</i>	<i>9,573 cps</i>
<i>Fehling A –B</i>	<i>Negativo</i>
<i>Tollens</i>	<i>Negativo</i>
<i>Solubilidad en éter</i>	<i>Insoluble</i>
<i>Solubilidad en agua</i>	<i>Soluble</i>
<i>Agua de bromo</i>	<i>Positivo</i>
<i>Permanganato de Potasio</i>	<i>Positivo</i>
<i>2 - Naftol</i>	<i>Positivo</i>

Fuente: La autora - Junio 2016

Con la caracterización del líquido 1 obtenido después de la destilación se considera como una mezcla acuosa compleja de compuestos polares en agua, alcoholes y aminas de bajo peso molecular, descartando en esta fracción la presencia de azúcares reductores (Fehling A – B), aldehídos o cetonas (Tollens).

4.2.2. Líquido 2 (oscuro) – Comparación con un combustible comercial

Este tipo de producto líquido es el que menor cantidad se obtuvo, sin embargo es el considerado con características de combustible al realizar la comparación con un aditivo comercial mediante normas INEN y gracias a la metodología antes mencionada.

Tabla 11.

Características del líquido 2 (oscuro) - Obtenido tras la destilación

Característica	Líquido 2	Combustible comercial
<i>Olor</i>	<i>Irritante</i>	<i>Irritante - Característico</i>
<i>Color</i>	<i>Oscuro</i>	<i>Oscuro</i>
<i>Densidad</i>	<i>0.96 g/cm³</i>	<i>2 g/cm³ (líquido de baja viscosidad)</i>
<i>Punto de inflamación</i>	<i>68 °C</i>	<i>Mínimo 55°C Máximo --</i>

Fuente: La autora – Junio 2016

Determinando así el líquido 2 (oscuro) como un combustible de origen orgánico ya que cumple con características específicas de diésel 02, las pruebas a realizar son extensas, sin

embargo es el punto de partida para posteriores investigaciones en motor, ya sea su octanaje, ruido, vibraciones, entre otras.

4.3. Conclusión

De las pruebas realizadas para adecuar la materia prima así como el análisis estadístico de los datos obtenidos, se determinó que el valor óptimo para el parámetro “humedad” tiene el valor del 3%, para evitar producción de vapor innecesario y gasto de energía. Para el parámetro “tamaño de partícula” se obtiene un valor óptimo de 2 mm, debido a que esta medida llena la capacidad de la cápsula a utilizar y aprovecha la estructura del equipo, así como, evita reacciones pirolíticas y gasto innecesario de energía para poder descomponer materia de mayor tamaño. En cuanto al valor adecuado para el parámetro “temperatura” es de 400 °C, ya que al ser mayor a 320 °C favorece a las reacciones en las estructuras de carbono de la biomasa, obteniendo mayor cantidad de producto. A pesar de que se determinaron los valores adecuados para el proceso, el rendimiento es mínimo (2.55%), sin embargo; con los valores que no fueron representativos, se observó que se obtenía menor cantidad de producto total.

El análisis fisicoquímico de laboratorio realizado a los líquidos obtenidos fueron establecidos y llevados a cabo gracias a normativas ecuatorianas vigentes y una norma internacional Venezolana – COVENIN “Productos derivados del petróleo: Determinación de densidad” debido a la falta de especificidad en la normativa nacional de acuerdo al requerimiento de la investigación.

Al concluir los análisis se verifica que el producto líquido 1 (claro) se lo caracteriza como una mezcla compleja de aminas y alcoholes de bajo peso molecular caracterizado por su olor, color, densidad, viscosidad, Reacción de Tollens (aldehídos), 2 - Naftol (aminas), Fehling A – B (azúcar reductor), Permanganato de Potasio (oxidación de alcoholes o hidrocarburos insaturados), Agua de Bromo (hidrocarburos insaturados y fenoles) y Solubilidad en agua y éter. Teniendo en cuenta que el producto líquido restante sería el combustible, el cual se relaciona con un combustible comercial para comprobar su idoneidad.

En el producto líquido 2 se comparó olor, color, densidad y punto de inflamación con los parámetros de la Norma INEN Ecuatoriana y COVENIN Venezolana sobre combustibles y tipos de diésel, precisa sus características de mejor forma con el diésel tipo 2 verificando su factibilidad como aditivo de combustible sin embargo para continuar con la investigación se deberá probar en motores para determinar otros puntos de interés.

Se determinan los factores incidentes en el rendimiento del proceso de pirolisis, se verifica la hipótesis planteada, debido a que se puede realizar un aditivo de combustible a partir de los residuos orgánicos urbanos, que en lugar de disponerse en los rellenos sanitarios se le daría el uso como materia prima para este objetivo, reduciendo así la sobresaturación de estos espacios y con el fin de minimizar de alguna forma la explotación de combustibles fósiles y contaminación que estos conllevan, el realizar este producto no se obtiene un proceso sin repercusión ambiental, especialmente, con los gases que produce; sin embargo no es fuente de contaminación gran alcance como la explotación convencional del petróleo.

4.4. Discusión

Según las investigaciones y métodos consultados, se corrobora y se establece vínculos con el autor Castillo, E. (2008). “*Potencial del Proceso de Pirólisis como Alternativa para la Valorización de los Residuos de Cosecha en el Sector Azucarero Colombiano*”. Al establecer que una humedad inferior a 10% es apropiada para los residuos vegetales que van a ser usados como materia prima para el proceso de Pirolisis, en comparación con las pruebas realizadas en esta investigación donde mejor resultado se obtuvo al utilizar una humedad del 3%. Además se contrasta el factor tamaño de partícula, ya que el autor indica que a menor tamaño de partícula, habrán menos reacciones secundarias internas en la partícula al ir aumentando la temperatura. Según el tamaño de la cápsula a usar se escogió un tamaño promedio de la partícula de 2 mm y 6 mm; los 2 mm tienen mejor resultado, primero porque cabe mayor cantidad de muestra en la cápsula y segundo debido a que se produce menos reacciones internas como menciona el autor.

Como temperatura óptima en las pruebas realizadas y el análisis posterior se obtuvo el valor de 400°C, teniendo así un vínculo con el autor Gómez, A. (2008). “*Pirólisis de Biomasa: Cuesco de Palma de Aceite*” y Urien A., (2013). “*Obtención de Biocarbones y Biocombustibles Mediante Pirólisis de Biomasa Residual*”, debido a que su planteamiento y aseveración de rangos óptimos en el proceso de pirolisis en este tipo de residuos está entre 300° C y 400°C sin embargo; aseguran que un rendimiento adecuado esta entre 400 y 505 °C que dependerá de la capacidad de incremento en temperatura del equipo.

El análisis y caracterización del producto líquido 1 (claro) posee la composición que Bu, Q., et al. (2012). “*Production of phenols and biofuels by catalytic microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass*”. Menciona en su investigación, especialmente en los alcoholes de bajo peso molecular y el líquido 2 (oscuro) tiene similitud con los autores Matute D., Ramos R., con la Tesis “Análisis de las emisiones producidas en la quema de combustibles líquidos obtenidos en el proceso de pirolisis de caucho vulcanizado” (2015), que a pesar de no ser del mismo origen la materia prima a utilizar, el combustible líquido que analizaron tiene características del diésel 02 al igual que el obtenido en la presente investigación, además de enfatizar que la temperatura es el factor más importante en un proceso pirolítico.

Como contraste de la investigación y con el fin de reforzar lo analizado, ya que fue casi nula la información sobre el rendimiento de este tipo de pirolisis de RSU, se determina que la productividad en cuanto al líquido de interés como aditivo de combustible es del 2,55 %, a comparación de sus otros productos obtenidos. Es decir su rendimiento es bajo.

5. Lista de Referencias

Álvarez Godoy, E., de Carvalho Rodrigues, J. C., Martins Alves, A. M., & Álvarez Lazo, D. (2007). Estudio del contenido y la calidad de la lignina mediante Pirólisis analítica en madera de *Pinus caribaea*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 9(2), 179-188.

Aguilar, Virgen, Q., Armijo-de Vega, C., Taboada-González, P., & Aguilar, X. M. (2010). Potencial de recuperación de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario. *Revista de Ingeniería*, (32), 16-27.

Antizar-Ladislao, B., & Turrion-Gomez, J. L. (2008). Second-generation biofuels and local bioenergy systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2(5), 455-469.

Arbeláez, J. I. M., Janna, F. C., Gutiérrez, C. A. G., Rentería, C. F. V., Velasco, J. O., Blanco, L. A., & Safra, N. M. (2013). *Pirólisis rápida de biomasa*. Universidad Nacional de Colombia.

Bernal C. (2006). *Metodología de la investigación*. Editorial Pearson Educación – México.

Bernal M., Albuquerque J., et al (2014) DE COMPOSTAJE, R. E. *Uso agrícola de materiales digeridos: situación actual y perspectivas de futuro III. 7* (Vol. 7). Ediciones Paraninfo, SA.

- Bernal, T. (2000). Metodología de la Investigación para administración y economía. Pag 123- 152. Pearson Education Colombia LTDA, ISBN 958-699-002-8.
- Blanes, J., & De la Quintana, D. (2008). *Biocombustibles*. *Biocombustibles*, 2(2), 1-132.
- Bu, Q., Lei, H., Ren, S., Wang, L., Zhang, Q., Tang, J., & Ruan, R. (2012). *Bioresource technology: Production of phenols and biofuels by catalytic microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass*, 108, 274-279:
- Callejas, E. S., & Quezada, V. G. (2009). *Los biocombustibles*. *El Cotidiano*, 157(157), 75-82.
- Cañón, G. P., Sánchez, M. M., Hernández, J. M. H., & Sánchez, M. T. M. (2015, October). *El reactivo de Tollens: de la identificación de aldehídos a su uso en nanotecnología. Aspectos históricos y aplicaciones didácticas*. In *Anales de Química* (Vol. 111, No. 3).
- Carriquiry, M. A., Du, X., & Timilsina, G. R. (2011). *Energy Policy: Second generation biofuels: economics and policies*, 39(7), 4222-4234.
- Casco, J. M. (Ed.). (2008). *Compostaje*. Mundi-Prensa Libros.
- Castells. X, E., Velo, E., & E-LIBRO, C., (2012). *La pirolisis*. Editorial Diaz de Santos, Madrid España.

Castells, X. E., & García, E. V. (2012). *La pirolisis: Tratamiento y valorización energética de residuos*. Ediciones Díaz de Santos.

Castillo, E. (2008). *Potencial del proceso de pirólisis como alternativa para la valorización de los residuos de cosecha en el sector azucarero colombiano*.

Catálogo Europeo de Residuo (2001.) Decisión 573-2001, de 23 de julio.

Chaillou, L. L., Herrera, H. A., & Maidana, J. F. (2004). *Food Science and Technology*, (Campinas Estudio del propóleos de Santiago del Estero, Argentina.), 24(1), 11-15.

Chamorro, R. A. M., & Mamani, E. C. (2015). *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos, I*: Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria.

Colomer F., Gallardo A., (2010) *Tratamiento y gestión de residuos sólidos*. México: Limusa: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

Damartzis, T., & Zabaniotou, A. (2011). Thermochemical conversion of biomass to second generation biofuels through integrated process design—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 366-378.

- Digman, B., Joo, H. S., & Kim, D. S. (2009). Recent progress in gasification/pyrolysis technologies for biomass conversion to energy. *Environmental progress & sustainable energy*, 28(1), 47-51.
- Dufey, A. (2006). *Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: Los grandes temas* (No. 2). IIED.
- Dufour (2011). *La pirolisis de biomasa: un clásico revitalizado*.
- Eisentraut, A. (2010). *Sustainable production of second-generation biofuels*.
- Elias, X. (Ed.). (2009). *Reciclaje de residuos industriales: residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora*. Díaz de Santos.
- Fundación Natura, Bustamante. (2010). <http://www.ecuanex.net.ec/natura/>
- Gallego A. Sastre (2003). Probióticos, p. y., de acción, m. e. c. a. n. i. s. m. o. s., & clínicas, y. s. a. Fibra y prebióticos: conceptos y perspectivas. *Gastroenterol Hepatol*, 26(Supl 1), 6-12.
- Gamarra, F. B. G. (2005). La sostenibilidad desde la perspectiva del agotamiento de los combustibles fósiles, un problema socio-ambiental relevante. *Investigación en la escuela*, (55), 73-88.

García-Rojas, L. M., Marquez-Montesino, F., Aguiar-Trujillo, L., Arauso-Perez, J., Carballo-Abreu, L. R., Orea Igarza, U., & Zanzi, R. (2009). Rendimiento de los productos de la descomposición térmica de la madera de *Eucalyptus saligna* Smith a diferentes alturas del fuste comercial. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(2), 147-154.

García, F. J. A., & Tena, E. C. (2006). Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas. *Cuadernos económicos de ICE*, (71), 71-91.

Gómez, A. (2008). *Pirólisis de biomasa: cuesco de palma de aceite*. Kassel University press GmbH.

Goyal, H. B., Seal, D., & Saxena, R. C. (2008). Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(2), 504-517.

Gutierrez H. P., & de la Vara, S. R. (2003). Análisis y diseño de experimentos. *Mc Graw Hill. Ubicación, 1*, G9846a.

Hackenberg, N. (2008). Biocombustibles de segunda generación. *Revista Virtual REDESMA*, 2, 49.

Heredia, M., Tarelho, L., & Matos, A. (2016). Valoración del Calor Residual de Reactores de Pirólisis para la Producción Combinada de Carbón Vegetal y Combustible Torrificado. *Revista Técnica Energía*, (12).

INEN, NTE INEN 028:2001, Combustibles.

INEN, NTE INEN 1489:99, Productos derivados del petróleo. Diesel. Requisitos.

INEN, NTE INEN 1489: 2011, Productos derivados del petróleo. Diésel. Requisitos.

COVENIN 2052-93, “Productos derivados del petróleo: Determinación de densidad”

INEN, NTE INEN 808 – 1986, “Productos de petróleo. Determinación de los Puntos de inflamación y combustión en vaso abierto de Cleveland”

INEN, NTE INEN 0810, “Productos del petróleo: determinación de la viscosidad”

Kaiser, E. R., & Friedman, S. B. (1968). Paper presented at 60th Annual Meeting. *AIChE*, November.

Klug, M. (2013). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química*, 26(1-2), 37-40.

Ley de manejo adecuado de residuos sólidos y escombros (2012) – República del Ecuador

Ordenanza que regula la gestión integral de los desechos y residuos sólidos en el cantón Cuenca – EMAC (2011)

Lizana, A. G., & Vázquez, F. J. C. (2012). En el filo de la navaja: biocombustibles y mercado global de cereales. *Uciencia: Revista de divulgación científica de la Universidad de Málaga*, (10), 36-39.

Matute D., & Ramos R., (2015) Tesis de pregrado “Análisis de las emisiones producidas en la quema de combustibles líquidos obtenidos en el proceso de pirólisis de caucho vulcanizado” Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.

Martínez, E. A., Villarreal, M. L. M., Almeida e Silva, J. B., Solenzal, A. I. N., Canilha, L., & Mussatto, S. I. (2002). Use of different raw materials for biotechnological xilitol production. *Cyta-Journal of Food*, 3(5), 295-301.

McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology*, 83(1), 47-54.

McMurry John. (2012). *Química orgánica*. Cengage Learning Editores.

Mohan, D., Pittman, C. U., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy & fuels*, 20(3), 848-889.

Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., & Dalai, A. K. (2010). Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 578-597.

New Renewable Energy Laboratory- NREL(2014) Renewable Energy Data Book

<http://www.nrel.gov/> 3 marzo de 2016 - 19:08pm

Ordóñez, G. A. (2000). Salud ambiental: conceptos y actividades. *Rev Panam Salud Publica*, 7(3), 137-47.

Pasto, D. J., & Johnson, C. R. (1981). *Determinación de estructuras orgánicas*. Reverté.

Plan Nacional de Residuos Urbanos (España) 2000-2006

Puerta Echeverri, S. M. (2012). *Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos*.

Práctica de identificación de grupos funcionales. @Quiored v 1.0

<http://www.ugr.es/~quiorred/doc/p14.pdf> 1 de Junio 2016 – 14:56pm

Real Academia Española (2014) © Todos los derechos reservados

Ryabov, G. A., Litun, D. S., Dik, E. P., & Zemskov, K. A. (2006). The prospects and problems of utilizing biomass and combustible wastes to produce heat and electricity. *Thermal engineering*, 53(7), 559-565.

(SEMARNAT- México) 2006. Secretaria del medio ambiente y recursos naturales

Sempere, J., & Tello, E. (2008). *El final de la era del petróleo barato* (Vol. 271). Icaria Editorial.

Serna, F., Barrera, L., & Montiel, H. (2011). Impacto Social y Económico en el uso de Biocombustibles. *Journal of technology management & innovation*, 6(1), 100-114.

Shafizadeh, F. (Ed.). (2012). *Thermal uses and properties of carbohydrates and lignins*. Elsevier.

Sifontes, M. C., & Domine, M. E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15-46.

Stratta, J. (2000). *Biocombustibles: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel*.

- Torres, J. M. A., Constante, M. L. M., & Borja, E. O. P. (2014). Evaluación de la pirólisis térmica de aceite vegetal de desecho en un reactor batch. *Revista Politécnica*, 33(1).
- Urien, A., (2013). *Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual*.
- Van de Velden, M., Baeyens, J., Brems, A., Janssens, B., & Dewil, R. (2010). Fundamentals, kinetics and endothermicity of the biomass pyrolysis reaction. *Renewable energy*, 35(1), 232-242.
- Vega, R., (2009). Crisis civilizatoria. *Recuperado el*, 2, 367-402.
- Vially R., (2013). Géologue à IFP Energies nouvelles (IFPEN). *Les réserves de pétrole*.
- Vieda, R., Gil, M., & Cepeda, D, (2014). *Practica de Laboratorio No 1: Reconocimiento De Carbohidratos*.
- Yaman, S. (2004). Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. *Energy conversion and management*, 45(5), 651-671.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Zheng, C., Lee, D. H., & Liang, D. T. (2006). In-depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin. *Energy & Fuels*, 20(1), 388-393.

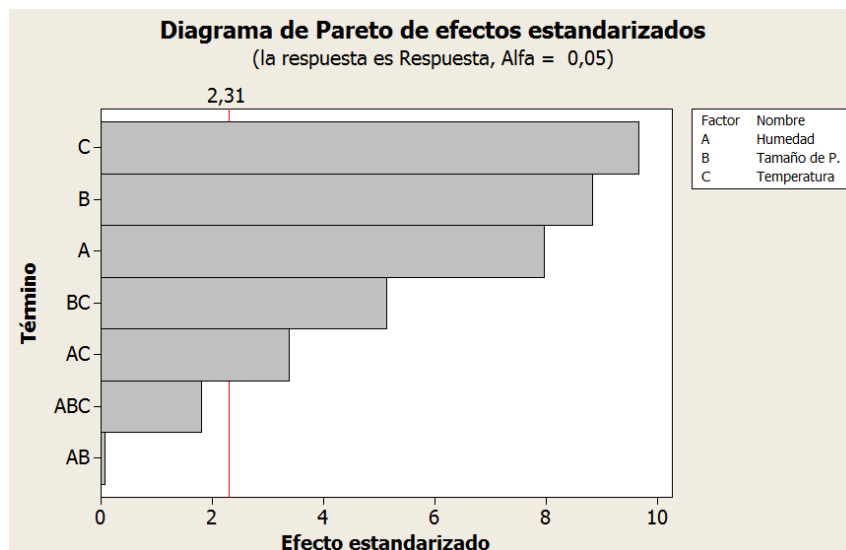
Werpy, T., Petersen, G., Aden, A., Bozell, J., Holladay, J., White, J., & Jones, S. (2004). *Top value added chemicals from biomass. Volume 1-Results of screening for potential candidates from sugars and synthesis gas* (No. DOE/GO-102004-1992). Department of Energy Washington Dc.

Zhang, Z. B., Lu, Q., Ye, X. N., Wang, T. P., Wang, X. H., & Dong, C. Q. (2015). Selective production of levoglucosenone from catalytic fast pyrolysis of biomass mechanically mixed with solid phosphoric acid catalysts. *BioEnergy Research*, 8(3), 1263-1274.

Anexos

Anexo 1

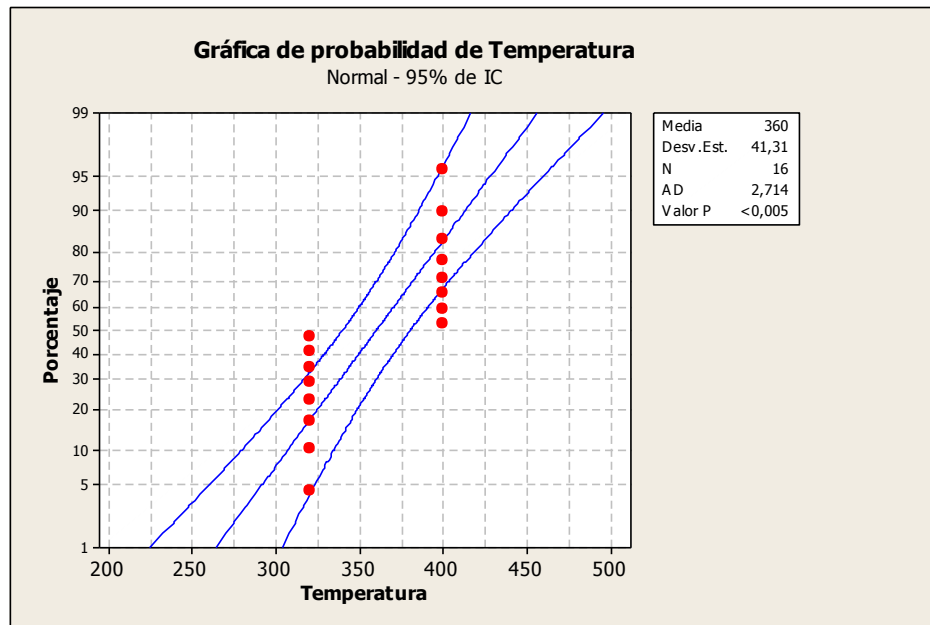
Diagrama de Pareto – T° (C) como el factor más influyente en el resultado así como la interacción humedad – T° (BC)



Fuente: La autora – Junio 2016

Anexo 2

Temperatura de 400 °C con un porcentaje mayor de eficacia en el proceso



Fuente: La autora – Junio 2016

Anexo 3

Reducción de humedad en la materia prima



Fuente: La autora - Noviembre 2016

Anexo 4

Producto sólido de la pirolisis – Biochar, Coque o carbón activado



Fuente: La autora – Diciembre 2016

Anexo 5

Destilación del producto pirolítico



Fuente: La autora – Mayo 2016