POTENCIALIDADES DE LA CÁSCARA DE SEMILLA DE MORINGA COMO POSIBLE MATERIAL ABSORBENTE

Ing. **Dayrel Bravo Elers***, M. Sc. **Martha Mazorra Mestre****,
M. Sc. **Manuel Pla Duporte***** y M. Sc. **Cándida Ferrer Serrano******

, *, **** Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (Ceter). La Habana, Cuba.

* Estudiante graduado en defensa de tesis de pregrado de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (Ceter). La Habana, Cuba.
E-mail: bravodayrel@gmail.com
** https://orcid.org/0000-0002-9003-0988
E-mail: marta@mecanica.cujae.edu.cu
*** https://orcid.org/0009-0007-6696-6368
E-mail: mpla@ mecanica.cujae.edu.cu
**** https://orcid.org/0000-0003-1616-7932
E-mail: pllerena@ infomed.sld.cu

Resumen

En Cuba una de las principales fuentes de energía renovable es la biomasa y el mayor potencial energético lo tiene la biomasa cañera, pero existen otras fuentes que tienen importancia en el orden local o que su aprovechamiento resulta conveniente desde el punto de vista medioambiental, no solo como recurso energético. La semilla de *Moringa oleífera* que se emplea para la producción de aceites produce un volumen importante de cáscara que constituye biomasa en este cultivo; sin embargo en Cuba no se utiliza este residuo y tampoco se ha estudiado en la aplicación del carbón activado. En el presente trabajo se propone investigar sobre el potencial de la cáscara de semilla de *Moringa oleífera*, con el propósito de emplearla, lo que constituye un aspecto positivo en la actualidad cubana. El objetivo del proyecto está dirigido a identificar el tipo de pirólisis y las condiciones de ensayo más convenientes para el tratamiento de la cáscara de semilla de Moringa como posible carbón activado. Se realiza análisis documental mediante artículos originales y de revisión, se consideran biomasas procedentes del arroz, almendra, pino, coco y café fundamentalmente. En actividad práctica las biomasas han sido evaluadas, lo que permite concluir que la cáscara de semilla de *Moringa oleífera*, puede ser una alternativa para obtener carbón activado. Se propone iniciar estudios al caracterizar la cáscara de semilla de *Moringa oleífera*, proponer su carbonización por medio de proceso termoquímico como la pirólisis lenta. Se plantean los parámetros como temperatura, presión, cenizas, humedad, carbono y poder calórico para la realización del proceso de pirólisis.

Palabras clave: *cáscara de semilla de Moringa, biomasas, pirólisis, carbón activado.*

POTENTIAL OF MORINGA SEED HUSK AS A POSSIBLE ABSORBENT

Abstract

In Cuba, the main source of renewable energy is biomass, and the greatest energy potential is sugarcane biomass, but there are other sources that are important in the local order or that their use is convenient from the environmental point of view, not only as energy resource. The *Moringa oleífera* seed that is used for the production of oils produces a significant volume of shell that constitutes biomass in this crop, in Cuba this residue is not used and it has not been studied in the application of activated carbon. In the present work, it is proposed to investigate the potential of the *Moringa oleífera* seed husk, so the purpose of using it is a positive aspect in Cuba today. The objective of the project is aimed at exploring the potential of this biomass

for its possible transformation into activated carbon. Documentary analysis is carried out, through original and review articles, biomasses from rice and coconut were considered, fundamentally, in practical activity these biomasses have been evaluated for these purposes, which allows us to conclude that the seed husk of *Moringa oleífera* can be an alternative to obtain coal. It is proposed to start studies characterizing the seed shell of *Moringa oleífera*, carry out its carbonization by means of a thermochemical process such as pyrolysis.

Keywords: *moringa seed husk, biomass, pyrolysis, activated carbon.*

Introducción

En Cuba una de las principales fuentes de energía renovables es la biomasa, ya que no existen grandes ríos, ni muchas zonas con altas velocidades del viento. Si bien el mayor potencial energético lo tiene la biomasa cañera, existen otras fuentes que tienen importancia en el orden local, o que su aprovechamiento resulta conveniente desde el punto de vista medioambiental.

La biomasa cubre un amplio espectro de materiales orgánicos, y por tal motivo es considerada una mezcla compleja de polímeros, de carbohidratos conocidos como celulosa, hemicelulosa, lignina y pequeñas cantidades de otras sustancias contenidas en la pared celular de las plantas. Dentro de las fuentes renovables de energía existentes, la biomasa se diferencia por permitir la obtención de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos a través de procesos bioquímicos, termoquímicos y fisicoquímicos.

En el país se obtiene energía a partir de la biomasa generada por productos vegetales como la caña y el marabú, entre otros. Sin embargo, existen otros productos vegetales reconocidos como biomasas, tal es el caso de la *Moringa oleífera* que se procesa para la obtención de fertilizantes, agentes de limpieza, clarificador de miel, pesticidas y aceites de las semillas.

En Cuba el desarrollo de la *Moringa oleífera* ha tomado mucho auge en los últimos años utilizándose en diversas aplicaciones. Las semillas de *Moringa oleífera* tienen alto contenido de aceite, para cuya extracción es necesario realizar un proceso previo de descascaramiento, lo que genera un volumen considerable de biomasa que actualmente no cuenta con una disposición adecuada o de reciclaje hacia otras producciones. La generación de esta biomasa vegetal requiere de alternativas para su uso o transformación, donde se promueva la protección del medio ambiente y el reuso de materias residuales. La utilización de la cáscara de semilla de moringa como posible material absorbente debe responder a ciertos procesos de preparación cuya efectividad debe ser alcanzada a partir de estudios teóricos que ofrezcan diferentes biomasas reportadas en la literatura especializada. Los procedimientos que se apliquen previamente deben estar precedidos por una adecuada preparación de dicha biomasa que permita el nivel de humedad recomendado para la aplicación de un proceso termoquímico como la pirólisis.

En tal sentido se establece como *problema de investigación* ¿Cuál es el tipo de pirólisis más conveniente para procesar la cáscara de semilla de moringa con el fin de obtener carbón activado? Se identifica como *objeto de estudio* los procesos termoquímicos para tratar la cáscara de semilla de moringa y como *campo de acción* el proceso de pirólisis para la obtención de un producto con potencialidad como absorbente. Se establece como *objetivo general* identificar el tipo de pirólisis y las condiciones de ensayo más convenientes para el tratamiento de la cáscara de semilla de moringa como posible carbón activado a través de la revisión del estado del arte.

II. Métodos

Método de análisis y síntesis:

A partir de la búsqueda bibliográfica se identifican los elementos a tener en cuenta para la selección del proceso de secado y determinar el tipo de pirólisis más conveniente para procesar la cáscara de semilla de moringa con el fin de conocer sus potencialidades como posible carbón activado.

Método lógico-histórico:

Permite indagar y conocer los indicadores de desarrollo de la actividad y su devenir histórico.

Deductivo:

A través de la propia investigación y de las evidencias que ofrece, se deduce el tipo de secado y de pirólisis a aplicar a la cáscara de semilla de *Moringa oleífera* para la obtención de carbón activado.

Observación:

Mediante la revisión del estado del arte se plantean las principales características de la pirólisis como forma de obtención de carbón procedente de cáscara de semilla de Moringa.

III. Desarrollo

En Cuba se han utilizado hasta el 2019, 2000 hectáreas de tierra para la siembra de Moringa. De ellas más del 50 % se emplea en forraje y la otra parte para la producción de semillas. El Ministerio de la Agricultura en el país, se compone entre otras, de 11 organizaciones superiores de dirección empresarial, de las cuales siete son ganaderas.

En un estudio exploratorio se constata que el grupo empresarial ganadero (Gegan) cuenta con 146 hectáreas dedicadas a la producción de semillas, mientras que el grupo empresarial Azcuba, dedica 429,8 hectáreas y otros grupos tienen una participación menor. Por otra parte, se precisa que el plan para el 2020 fue de 746 hectáreas.

Otros resultados de este estudio propiciaron conocer que las características de la semilla de *Moringa oleífera*, precisan de los cuidados descritos para su siembra. Sin embargo, un número de ellas no alcanzan los requisitos para su siembra y no son aprovechables en ese sentido. En consecuencia, se destinan a la producción de aceites comestibles. Este proceso en particular, produce un volumen de cáscara que constituye una forma de biomasa. La información referente a estos estudios sobre moringa se conoce en entrevista realizada a la directora del Instituto de Pastos y Forrajes de La Habana en diciembre de 2020.

La biomasa como fuente de energía renovable es todo tipo de materia orgánica que tiene origen en un proceso biológico (Singh, 2020). En las plantas, durante la fotosíntesis (proceso de oxidación-reducción) se absorbe la energía solar en la clorofila y se transforma el dióxido de carbono (CO_2) del aire y el agua del suelo en carbohidratos que almacenan energía química, mediante el proceso de conversión fotoelectroquímica de la fotosíntesis (Bustamante, 2016).

El uso de la biomasa como combustible presenta desventajas por su heterogeneidad en la estructura anatómica, física y química. Desde el punto de vista físico se caracteriza por tener alto contenido de humedad, baja densidad, gran volumen, amplia higroscopicidad, dificultad de almacenamiento y alta tenacidad (Zheng, 2013). La composición química incluye mayores fracciones de hidrógeno, oxígeno y volátiles, así como menores cantidades de carbono y poder calorífico, en comparación con los combustibles fósiles. Los inconvenientes de la biomasa como fuente de energía se pueden mejorar con pretratamientos termoquímicos (Arteaga, 2015; Basterra, 2020).

Dentro de las fuentes renovables de energía existentes, la biomasa se diferencia por permitir la obtención de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos a través de procesos bioquímicos, termoquímicos y fisicoquímicos. La naturaleza y la composición de los productos obtenidos en estos procesos dependen de la composición química del tipo de biomasa tratada y de las condiciones de operación.

El proceso de formación de esta clase de biocombustible puede ser espontáneo o provocado. Para obtener la energía a partir de biomasa se pueden usar dos clases de procesos:

Térmicos: que incluyen la combustión, gasificación y pirólisis.

Bioquímicos: abarcan la digestión anaerobia y la fermentación alcohólica.

La cáscara de semilla de *Moringa oleífera* puede ser empleada con fines energéticos, en este proyecto se enfatiza en la carbonización de la misma como proceso para su transformación en carbón y la posterior activación para convertirla en carbón activado. La pirólisis constituye el procedimiento termoquímico idóneo para lograr la carbonización de esta biomasa.

La generación de biomasa en el manejo de la moringa puede tener origen a partir de separar las semillas de las vainas y al descascarar estas semillas. En esta investigación se aborda lo relacionado con la cáscara de las semillas; sin embargo, es destacable el hecho que esta biomasa puede ser procesada por diferentes vías, lo que depende del fin que con ella se pretenda. El principal objetivo de este estudio es revisar el estado del arte para caracterizar los procedimientos afines al manejo de la cáscara de semilla de *Moringa oleífera* con el interés de transformarla en carbón y de este modo luego de un proceso de activación, obtener carbón activado. Las condiciones para la carbonización de la biomasa deben efectuarse por medio de un proceso de pirólisis, cuyas condiciones garantizan la obtención del referido carbón para su posterior activación. Producto final que cambia de manera sustancial las características del material de origen, al desarrollar propiedades que dejan de ser energéticas, pero sí necesarias para otras aplicaciones (Basterra, 2020).

La combustión es un proceso térmico oxidativo en donde se origina calor derivado de la combustión total de la biomasa en presencia de oxígeno. Es lo que tradicionalmente se conoce como quemar algún producto. En esta reacción se libera dióxido de carbono, cenizas, vapor de agua y calor. La biomasa con forma de pellets, astillas o productos compactados son quemados en calderas, obteniendo así energía calórica.

La pirólisis convencional tiene lugar con una velocidad de calentamiento lenta, que alcanza una temperatura máxima entre 500-600 ºC. En estas condiciones se obtienen tres productos: sólidos, líquidos y gases, en proporciones significativas.

Dado que en el proceso pirolítico se produce un conjunto de reacciones químicas cuando se lleva a cabo la descomposición térmica de la biomasa, el tema siempre se ha abordado desde los diferentes componentes que constituyen material para el proceso de pirólisis. El material que generalmente se ha estudiado es la madera, por lo que se procederá al análisis de sus distintos componentes (celulosa, hemicelulosa y lignina). Es necesario plantear que se pueden distinguir varias etapas en la pirólisis de la celulosa (Klug, 2012):

1. Tiene lugar a temperaturas inferiores a 300 ºC, de forma que se llevan a cabo reacciones de despolimerización, oxidación, deshidratación y descarboxilación. Únicamente la celulosa que es atacada es la amorfa, por lo que solo se generaría monóxido de carbono y agua.
2. La segunda se lleva a cabo cuando se tienen temperaturas superiores a los 300 ºC, cuando se produce el carbón, el alquitrán (cuyo principal componente es el levoglucosano) y los productos gaseosos.

De acuerdo a varios estudios, las variables que determinan en la pirólisis, la cinética de las reacciones y la generación de los diferentes productos son:

- La temperatura del reactor. La pirólisis es un tratamiento térmico y la temperatura es el factor más importante. La función básica de la temperatura es proporcionar el calor necesario de descomposición para fragmentar los enlaces de biomasa, afecta la condensación aromática y la aromaticidad del biocarbón. La pirólisis producida a un nivel relativamente bajo de temperatura genera biocarbón con una alta acidez, bajo contenido aromático e hidrofobicidad. Varios estudios han encontrado que el contenido de la es-

tructura de los anillos aromáticos fundidos en el biocarbón aumenta con el incremento de la temperatura de pirólisis; mientras que el contenido de los anillos no aromáticos disminuye tanto en tamaño como en cantidad; además, el incremento de temperatura de la pirólisis conduce a la formación de pequeñas láminas «defectuosas» de policondensación aromática, el contenido de hemicelulosa, celulosa, lignina, proteína, polisacárido y otras macromoléculas en el residuo sólido disminuyen debido a la ruptura de enlaces, al igual que la polaridad del biocarbón; por lo tanto, la hidrofobicidad de la superficie del biocarbón aumenta y comienzan a formarse anillos aromáticos separados. La conversión a granel de la biomasa a sus fragmentos (celulosa, hemicelulosa y lignina), suele ocurrir en el rango de temperatura de 300-400 °C, lo que representa del 80-90 % de la conversión total a biocarbón durante su degradación en la pirólisis; sin embargo, a diferencia de la celulosa y las hemicelulosas la lignina se descompone en un mayor rango de temperaturas. Independientemente del tipo de materia prima utilizada, el aumento de temperatura de pirólisis promueve el desarrollo de una microestructura de biocarbón y el aumento de microporos en su superficie. En general, la temperatura de pirólisis afecta el área de la superficie, el pH, el contenido de carbono, la carga superficial, la estabilidad, la fracción volátil y otras propiedades fisicoquímicas. Una alta temperatura mejora el contenido de carbono de los compuestos de bioaceites y reduce la concentración de oxigenados, debido a las reacciones de descarboxilación y deshidratación. Aunque la cantidad de carbono total en el biocarbón generalmente aumenta con la temperatura de pirólisis, la cantidad de carbono mineralizable (Cmin) disminuye, debido a la reducción de moléculas orgánicas en anillos aromáticos y la pérdida de grupos funcionales COOH, ROH y C=N, (Zheng, 2013).

- La tasa de calentamiento. A una velocidad de calentamiento relativamente baja, la degradación de la biomasa se minimiza y aumenta el rendimiento del biocarbón, lo que favorece la formación de estructuras aromáticas en el biocarbón. Por el contrario, la pirólisis de biomasa a una alta velocidad de calentamiento puede producir grandes cantidades de productos líquidos y minimizar la producción de biocarbón, (Zheng, 2013).
- El tiempo del proceso. Un tiempo de residencia prolongado y una temperatura relativamente baja son condiciones ideales para obtener un alto rendimiento de biocarbón; cuanto mayor sea el tiempo de residencia de la pirólisis, mayor será el tiempo de residencia de los volátiles y mayor será la biomasa después de la reacción de polimerización. Aumentar el tiempo de residencia conduce a una disminución en la producción total de carbono, pero a un aumento en el contenido de carbono fijo. Generalmente se aceptan como adecuados los tiempos de residencia cortos de segundos a minutos, si lo que se busca es la producción de líquidos por pirólisis. Sin embargo, en tiempos de residencia muy cortos es dudoso concebir una conversión completa de biomasa debido a las dificultades de transferencia de calor en la superficie de las partículas.
- Tipo de biomasa. La biomasa verde (biomasa sin reducir su humedad) regularmente contiene alrededor de 50-60 % m/m de contenido de humedad. Por lo tanto, es necesario secar la biomasa previamente a menos del 30 % m/m de humedad inicial en el sistema de pirólisis. El secado solar con aire ambiental puede reducir el contenido de humedad en un rango de 3-12 % m/m. Alternativamente, también son útiles el secado por calor residual proveniente de otros procesos como evaporación o combustión en calderas y los secadores mecánicos. Los contenidos de humedad muy altos en la biomasa ralentizan la velocidad de su calentamiento.
- La tecnología empleada y los parámetros de trabajo. La pirólisis generalmente se realiza en condiciones atmosféricas o de baja presión, y solo unos pocos investigadores han estudiado los efectos de la presión de pirólisis sobre las propiedades del biocarbón. La alta presión prolonga el tiempo de retención del vapor de pirólisis y aumenta la velocidad de descomposición. El aumento de la presión de pirólisis a 5, 10 y 20 bar bajo presión normal, conducirá al aumento de las partículas de biocarbón y a la disminución de su actividad (Basile, 2014).

Se seleccionan la cascarilla de arroz, la cascarilla de café, la cáscara de almendra y el pino como biomasas para ser utilizadas en la comparación, dado que presentan similitudes en varias características con la biomasa en análisis. La cáscara de almendra y los residuos de pino presentan un porcentaje de humedad inferior a 10, el contenido de cenizas en el rango del 2-10 % y valores muy cercanos en cuanto a los componentes: Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno. Todas estas biomasas han sido utilizadas para la obtención de biocarbones y para establecer la comparación se tuvieron en cuenta:

Humedad

Es la cantidad de agua presente en los poros de la biomasa, que tiene la capacidad de absorber, su presencia incrementa el peso del producto, dificulta y genera humos durante la transformación de la materia prima (Goche, 2023).

Cenizas

Hace referencia a los residuos sólidos de la combustión producidos en altas temperaturas de los silicatos, carbonatos, sulfatos y otros minerales; afecta la manipulación y los costos globales del proceso y en gran cantidad se consideran un contaminante ambiental (Sánchez, 2019).

Poder calórico

Es la cantidad de energía máxima en forma de calor que se puede liberar por unidad de masa de un combustible, al ser sometido a una reacción química de oxidación, mejor conocido como combustión, (Hernández, 2018).

Volátiles

Son los gases que posteriormente se pueden condensar formando residuos líquidos, alquitranes y ácidos piroleñosos que permanecen después del proceso de la torrefacción.

Análisis elemental, CHON

Es una técnica que permite determinar el contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno presentes en un amplio rango de muestras de naturaleza orgánica e inorgánica, tanto sólidas como líquidas; se basa en la completa e instantánea oxidación mediante una combustión con oxígeno puro, en el cual el carbono e hidrógeno se oxidan exotérmicamente formando CO_2 y H_2O (Medina, 2020). Las principales áreas de aplicación son: análisis de fármacos, suelos y sedimentos, polímeros, industria alimenticia, control ambiental, materiales agrícolas, productos naturales, aceites, biomasa forestal y carbón, entre otras.

En la Tabla 1 se presenta una caracterización de biomasas como cascarilla de arroz, CA; cascarilla de café, CC; cáscara de almendra, CL; restos de pino, RP y cáscara de semilla de Moringa, CSM, esta última en análisis. Los resultados arrojan que la cáscara de semilla de Moringa pudiera ser ensayada bajo condiciones similares en que se procesan, mediante pirólisis, las biomasas seleccionadas para tomar de referencia.

Tabla 1. Caracterización de biomasas seleccionadas y biomasa en análisis

B	H %	CEN %	V %	PC cal/g	Análisis Elemental			
					C	H	O	N
CA	13,59	9,53	67	3957	37,5	5.0	31.2	0.21
CC	10,1	3.7	82	7218	50,3	5.3	43,8	0.75
CL	6,5	2,7	90	4750	48,2	5,8	45,6	2,4
RP	5,8	3.3	70,7	-	47,9	7,0	41,4	0,1
CSM	4,75	5,47	-	-	-	-	--	-

Donde:

B: Biomasas
H: Contenido de humedad..... %
CEN: Contenido de cenizas..... %
V: Contenido de Volátiles..... %
PC: Poder calórico..... (cal/g)
C: Contenido de Carbono.....%
H: Contenido de Hidrógeno..... %
O: Contenido de Oxigeno..... %
N: Contenido de Nitrógeno.....%

En la Tabla 2 se presentan resultados del proceso de pirólisis aplicado a materias primas como Residuos de Pino y Cascarilla de Almendra a temperatura 350 y 500 ºC; primero a 0 bar de presión y luego a 40 bares con el fin de determinar el mayor rendimiento para productos sólidos. Según los experimentos de pirólisis en otras biomasas con similares características consultados, los máximos rendimientos obtenidos de biocarbón se corresponden con las condiciones anteriormente expuestas. Esto permite que de los productos finales entre un 40-50 % sea biocarbón y se espera que tenga un contenido de humedad ‹5 %, el contenido de carbono ›75 %, cenizas ‹8 % y los porcentajes de hidrógeno y nitrógeno sean inferiores a un 4 %. También se espera que alcance un Poder Calórico en el rango de 15-18*(10^3) kJ/kg.

En la Tabla 3 se plantea la propuesta de ensayos para aplicar proceso de pirólisis lenta a cáscara de semilla de moringa considerando la literatura consultada; según la bibliografía los biocarbones utilizados para obtener carbón activado pueden presentar características similares a las propuestas anteriores (Basile, 2014).

Tabla 2. Condiciones del proceso de pirólisis y productos obtenidos

Nº de Ensayos	B	T ºC	P bar	Bioa (g)	FO (g)	Bioc (g)	Bioa (%)	FO (%)	Bioc (%)	Py-gas (%)
1	Residuo de pino	500	0	31,4	16,30	20,0	52,33	27,17	33,33	14,33
2		500	40	24,3	6,73	22,1	40,50	11,22	36,83	22,67
3		350	0	23,7	13,20	29,1	39,50	22,00	48,50	12,00
4		350	40	22,7	4,57	26,1	37,83	7,62	43,50	18,67
5		350	80	22,1	3,77	27,6	36,83	6,28	46,00	17,17
6	C. Almendra	500	0	27,5	13,60	23,1	45,83	22,67	38,50	15,67
7		500	40	26,6	11,83	20,1	44,33	19,71	33,50	22,17
8		350	0	28,5	15,57	22,4	47,50	25,95	37,33	15,17
9		350	40	27,2	13,01	27,2	45,33	21,68	45,33	9,33
10		350	80	17,9	7,30	30,8	29,83	12,17	51,33	18,83

Donde:

T: Temperatura del proceso de pirólisis lenta.....ºC
P: Presión del proceso de pirólisis lenta.....bar
Bioa: Contenido másico de Bioaceite.....g
FO: Contenido másico de la Fracción oleosa.....g
Bioc: Contenido másico del Biocarbón.....g
Py-gas: Contenido de líquido muy inestable.....,..... %

Tabla 3. Condiciones propuestas para la pirólisis lenta con cáscara de semilla de Moringa

Ensayo	T ºC	P bar	Bioc %	H‹ %	Cen‹ %	C› %	PC›*10^3 KJ/Kg
1	350	1	40-50	5	8	75	15
2	350	40	40-50	5	8	75	15
3	500	1	40-50	5	8	75	15
4	500	40	40-50	5	8	75	15

Donde:

T: Temperatura..... ºC
P: Presión..... Bar
Bioc.: Biocarbón.....%
H: Humedad.....%
Cen.: Cenizas.....%
C: Carbono.....%
PC: Poder Calórico..... ..KJ/Kg

IV. Conclusiones

Las cáscaras de frutos y semillas citadas en esta investigación poseen la capacidad para la obtención de carbón activado.

Se puede inferir que la cáscara de semilla de Moringa puede ser potencialmente analizada para la obtención de materiales absorbentes.

Tras la revisión de literatura especializada se propone aplicar a la cáscara de semilla de Moringa un proceso de pirólisis lenta.

Se propone para las condiciones del proceso de pirólisis trabajar con los siguientes parámetros: temperatura a 350-500 ºC; presión a 1 y 40 bar; humedad y cenizas menor de 5 y 8 % respectivamente, mientras que carbono › 75 % y el poder calórico entre 15-18*10^3 KJ/kg.

V. Recomendaciones

Se recomienda realizar los experimentos necesarios para obtener resultados reales en un proceso de pirólisis lenta aplicado a la cáscara de semilla de moringa.

Evaluar condiciones para la activación del carbón.

Determinar las características del carbón como material absorbente.

VI. Referencias Bibliográficas

Arteaga, L.E., *et al*. (2015). Gasificación de biomasa para la producción sostenible de energía. Revisión de las tecnologías y barreras para su aplicación. Afinidad, Vol. 72 No. 570, ISSN 0001-9704, pp. 138-145.

Basile, L. *et al*., (2014) Influence of pressure on the heat of biomass pyrolysis. Fuel, 137: pp. 277-284.

Basterra, L.E. *et al*. (2020). Actualización del balance de biomasa con fines energéticos en la Argentina. http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/19-Actualizacion-balance-biomasa.pdf.

Biswas, B. *et al*., (2018). Pyrolysis of agricultural biomass residues: Comparative study of corn cob, wheat straw, rice straw and rice husk. Bioresource technology, 237: pp. 57-63.

Bustamante García, V. *et al*. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción, Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 38 (7), pp. 5-23.

Goche, J.R. *et al*. (2023). Propiedades físicas y biomasa fustal de Pinus engelmannii proveniente de una plantación en Durango. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 1(10). https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3004

Gómez, N. *et al*., (2018). Slow pyrolysis of relevant biomasses in the Mediterranean basin. Part 1. Effect of temperature on process performance on a pilot scale. Journal of cleaner production, 120: pp. 181-190.

Herrera, J.A.L.C., (2020). Energía de la biomasa y el agua, Editorial Elearning, SL.

Isahak, W.N.R.W. *et al*., (2012). A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method. Renewable and sustainable energy reviews, 16(8): pp. 5910-5923.

Klug, M. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. Revista de Química, 26 (1-2), pp. 37-40. https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/download/5547/5543/

Medina Pinos, J.G. (2020). Caracterización de biomasa residual de la poda de árboles del cantón Cuenca mediante el análisis TGA, elemental y poder calórico para la producción de Biochar. Universidad Católica de Cuenca. En: https://dspace.ucacue.edu.ec/. Consultado en julio de 2023.

Sánchez, Y. *et al*. (2019). Evaluación de las condiciones experimentales básicas para la producción de biomasa a partir de la microalga *Chlorella vulgaris*. Afinidad, 76 (585).

Serrano, C.F. (2018). Caracterización físico-química del aceite de semillas de Moringa *oleífera* para su uso con fines energéticos, Centros de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables, Ceter, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.

Singh, A.K. *et al*. (2020). Phytochemical, nutraceutical and pharmacological attributes of a functional crop Moringa *oleífera Lam: An overview*. South African Journal of Botany,129: pp. 209-220.

Tumuluru, J.S. *et al*. (2012). Formulation, pretreatment, and densification options to improve biomass specifications for co-firing high percentages with coal. Industrial Biotechnology, 8 (3), pp. 113-132.

Villalba Vidales, J.A. y Arzola de la Peña, N. (2015). Modelos matemáticos y experimentales sobre el secado de biomasa. Ingeniería Desarrollo 33(2): pp. 301-330.

Zheng, H. *et al*. (2013). Sorption of antibiotic sulfamethoxazole varies with biochars produced at different temperatures. Environmental Pollution, 181, págs. 60-67. http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.056

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Dayrel Bravo Elers: investigación, redacción borrador original.

Martha Mazorra Mestre: metodología, redacción borrador original, revisión.

Manuel Pla Duporté: redacción borrador original.

Cándida Ferrer Serrano: revisión.

Recibido: 2 de octubre de 2023
Aceptado: 20 de octubre de 2023