

CARACTERIZACIÓN DE PLANTAS ACUÁTICAS Y MATERIAL VEGETAL PARA EL DESARROLLO DE UN BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO

Fabio Vélez^{1}, Néstor Aguirre¹, Elvia González², Yuly Osorio³, Nolbayro Marín^{3*}, Elizabeth Atehortua^{3*}*

1: Grupo de Investigación Geolimna, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

2: Grupo de Investigación DIDES, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

3: Ingenieros de Materiales, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

*Contacto: nolbayro@gmail.com

RESUMEN

Las plantas acuáticas (*E.crassipes*, *E.azurea*, *E.heterosperma*) son un tipo de macrófitas, que ayudan a la depuración de efluentes contaminados. El continuo crecimiento y proliferación de estas plantas consideradas como una maleza, puede significar un recurso para utilizarse como materia prima para elaboración de materiales biocombustibles, quedando así conformados por materiales ecológicos 100% orgánicos más amigables ambientalmente, ya que son elaborados con residuos de biomasa. El objetivo del presente estudio buscó evaluar las condiciones para darle valor agregado a éste material que es considerado desecho, junto con otros subproductos de cosechas agrícolas, tales como la cascarilla de arroz.

Los análisis de la materia prima se realizaron mediante la caracterización morfológica, química y térmica a 3 especies de macrófitas encontradas en el sistema cenagoso de Ayapel – Córdoba y a la cascarilla de arroz de la misma región; usando las técnicas de análisis químico elemental, análisis de mercurio total por espectroscopia de absorción atómica, análisis termo gravimétrico, análisis de microscopia óptica, poder calórico y porcentaje de ceniza y humedad. Posteriormente se evaluó su comportamiento en el proceso de prensado, determinando las condiciones de humedad, presión de compactación y tamaño de partícula adecuado para obtener un biocombustible solido que pueda ser adaptado a sistemas prácticos y reproducibles a las condiciones de la región. La caracterización de los materiales en estudio, evidencio que es posible desarrollar un biocombustible solido a partir de comprimidos de biomasa, aumentando de manera sistemática la densidad y algunas propiedades termoquímicas de cada especie de macrófita y de algunos materiales vegetales.

Palabras Clave: *Biocombustible, Briqueta, Biomasa, Macrófitas, Mercurio, TGA, Praccis*

ABSTRACT

Aquatic plants (*E.crassipes*, *E.azurea*, *E.heterosperma*) are a type of macrophytes, which help debugging contaminated effluents. The continued growth and proliferation of these plants, which are considered as a weed, can be used to develop materials for biofuels. Because they are made from biomass waste - 100% organic green materials, they are more environmentally friendly. The aim of this study is to evaluate the conditions for adding value to this waste material, along with other byproducts of agricultural crops such as rice husks.

The analysis of 3 macrophyte species and rice husks found in the swamp system Ayapel - Cordoba is performed using the elemental chemical analysis techniques, analysis total mercury by atomic absorption spectroscopy, thermogravimetric analysis, optical microscopy, calorific value and percentage of ash and moisture. Subsequently it was evaluated the humidity and compacting pressure conditions and suitable particle size to obtain a solid biofuel that can be adapted to practical systems and reproducible conditions for the region. The characterization of the materials showed that it is possible to develop a solid biofuel from compressed biomass, systematically increasing the density and some thermochemical properties of each kind of macrophyte and some plant materials.

Keywords: *Biofuel, Briquette, Biomass, Macrophytes, Mercury, TGA, Praccis*

1. INTRODUCCIÓN

La *Eichornia crassipes* también conocida como Jacinto de agua, es una planta común en las fuentes de agua. Debido a su reproducción desmedida ha llegado a causar serios problemas en embalses y ríos porque genera eutroficación, afectando la supervivencia de otras especies acuáticas y la navegación de las mismas, por lo que ha sido considerada como una maleza [1-4]. Sin embargo, se ha encontrado que esta planta puede ser también benéfica, pues se ha utilizado en procesos de fitorremediación. Debido a su capacidad de biorretención, ha sido empleada en sistemas de purificación biológica para mejorar la calidad del agua [4]. Es por ello que la planta debe ser aprovechada cuando se hace presente en los embalses y debe ser controlada con el fin de aprovechar su acción benéfica como descontaminante del agua. Además de la fitorremediación, se han buscado otras alternativas que permitan controlar su infestación como estrategia para evitar el uso de herbicidas [5-6]. Una de estas alternativas consiste en usar los residuos de biomasa, aprovechando las fibras de esta planta como materia prima en la elaboración de productos. Los materiales obtenidos posibilitan el crecimiento de una actividad económica alternativa, generando un impacto ambiental positivo. Entre los productos más comunes se ha encontrado el papel y variedad de tejidos artesanales, pues la fibra del tallo es bastante resistente; además también se fabrican con ella aglomerados semejantes a la madera, y se usa como fuente de energía en la producción de biogas o a partir de su propia combustión [3-6]. El presente estudio tiene como objetivo demostrar la capacidad calorífica utilizando su biomasa seca. Se ofrece así una alternativa simple y económica para resolver dos problemas ambientales: uno el de la infestación en la ciénaga de Ayapel por esta planta, y el otro la disminución de la tala de bosques por el continuo consumo de carbón de leña en la zona, lo cual se puede remplazar por biomasa seca y triturada. Estudios realizados por diferentes investigadores, demuestran que el proceso de briquetaje aumenta la eficiencia energética de la biomasa y la transforma en un biocombustible sólido con muy buenas características térmicas y económicamente viable [7]. La cascarilla de arroz representa una alternativa como material combustible para la cocción de alimentos con briquetas, pues ésta se ha convertido en un problema ambiental por su incorrecta disposición como material de desecho del sector agrario.

2 MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

La recolección de las macrófitas *Eichhornia crassipes*, *Eichhornia Azurea*, *Eichhornia Heterosperma* en la ciénaga de Ayapel (Cordoba), se realizó delimitando el área de estudio, teniendo como criterio las observaciones de los lugares en cuanto a los cambios de coloración de las aguas y las zonas más pobladas de las macrófitas sujetas a estudio. Para ello se realizó un muestreo cuantitativo con la ayuda de un cuadrante de PVC de 1 m²; colocando el cuadrante sobre las macrófitas una sola vez en el punto de muestreo. Se recolectaron las plantas contenidas en cada cuadrante y se llevaron a un procedimiento de limpieza para posterior análisis. La cascarilla de arroz fue recolectada en la zona ya que es un residuo abundante en la región, pues es un subproducto de los cultivos de arroz propios de este lugar.

Las muestras de material vegetal fueron trituradas, con una herramienta de corte sencilla (tijeras), con el fin de simular las condiciones de la región, y con un molino de cuchillas tipo 1 se realizó el corte de los diferentes materiales vegetales que se emplearan en la elaboración de las briquetas. La obtención de tamaños de los materiales fueron realizados por medio de un cribado en tamices normalizados según la ASTM D 422. La homogenización y cuarteo fue efectuado para cada material vegetal cortado y triturado con el fin de obtener resultados representativos de las cantidades de muestra utilizados. Posteriormente se realizó un deshidratado mediante secado controlado en estufa (temperatura a 70°C, durante 48 horas). Este proceso fue efectuado para eliminar la mayor cantidad de agua contenida en los materiales vegetales, además del seguimiento a las variables de temperatura y peso del material cada hora, así como la humedad relativa dentro y fuera de la estufa.

Los análisis de mercurio total en las macrófitas se realizaron por espectroscopia de absorción atómica, a través de los Métodos analíticos: EPA (Environmental Protection Agency). (1991). La composición química elemental de las especies de macrófita *E.crassipes* y *E.azurea*, se determinó a partir de análisis químico elemental de los porcentaje en masa de los elementos químicos C, H, N, S y O; los cuales constituyen los elementos básicos de cualquier compuesto combustible; el análisis se realizó por triplicado en un equipo de análisis elemental marca LECO modelo truSpec Micro mediante el método ASTM D 5373-08.

La termogravimetría fue realizada en atmosfera de nitrógeno con una rampa de calentamiento de 20°C/min hasta una temperatura de 500°C y se cambia a atmosfera oxidante de 500 a 900°C. Aproximadamente 7 mg de muestra de las especies *E.heterosperma* y *E.crassipes* fueron utilizadas para realizar el análisis en un equipo TGA Q500 V20. 13 BUILD 39. El poder calórico de la biomasa se determinó por medio de calor de combustión formado por los elementos C, H, N y O que contiene el material vegetal combustible a volumen constante, para ello se empleó una bomba calorimétrica adiabática marca Parr referencia 1241 en el laboratorio de fisicoquímica de la Universidad de Antioquia, aproximadamente 1 g de biomasa se comprimió como lo indica la norma ASTM D 2015.

El contenido de cenizas, o material inorgánico de las macrófitas fue determinado en una mufla de 1100°C, utilizando el método de calcinación total y la diferencia de pesos por gravimetría. La desorción del mercurio de las macrófitas fue llevada a cabo por digestión acida durante 24 horas con HNO₃ y HCl 0,1M, con el fin de remover el mercurio sin incurrir en la degradación de la muestra biomásica.

El proceso de prensado y densificación de la biomasa seca buscó aumentar la densidad y las propiedades termoquímicas de la misma. Aplicando presiones entre 1,8 y 7 toneladas fuerza en una prensa hidráulica, aproximadamente 6 g de muestra diferenciadas por tipo de corte y especie de macrófita fueron compactadas en un molde cilíndrico de diámetro interior de 26,3 mm. Las probetas obtenidas, se pesaron y midieron sus dimensiones, posteriormente fueron sometidas a un proceso de secado en una estufa a 60°C durante 24 horas. Pasado este tiempo, las probetas fueron medidas nuevamente para calcular la humedad y la recuperación de las mismas con el tiempo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de mercurio total en las macrófitas son una evidencia clara de su presencia frente a los niveles de concentración de Hg que tienen los cuerpos de agua en diferentes puntos de la ciénaga, clasificando su presencia de menor a mayor. En sectores donde es baja la concentración de Hg se nota la presencia de la especie *E.heterosperma*, mientras que en la especie *E.crassipes* se observó una capacidad de absorción moderada entre 0,148 y 0,212 $\mu\text{g Hg/g}$ en los sectores de hoyo los bagres y quebradona; la especie *E.azurea* es la especie que mayor capacidad de absorción o retención de mercurio presentó en los análisis realizados en este estudio, alcanzando una concentración máxima de 0,319 $\mu\text{g Hg/g}$ en el sector quebradona. En la Figura 1 se presentan los resultados de concentración de mercurio en el rango 0,11 – 0,319 $\mu\text{g Hg/g}$ en diferentes sitios de la ciénaga.

Los resultados encontrados, demuestran que la presencia de la especie *E.azurea* se convierte en un indicador biológico del nivel de concentración del mercurio en los cuerpos de agua de la ciénaga, debido a la capacidad de las macrófitas y a las características propias del mercurio, de bioacomularse.



Figura 1. Concentración de mercurio en macrófitas en puntos de muestreo; a) Ciénaga de Ayapel y puntos de muestreo, b) Zoom sector quebradona con vertientes de la quebrada quebradona.

Los resultados del análisis elemental mostrados en la Tabla, identifican los diferentes porcentajes de composición de Carbono, Hidrogeno, Nitrógeno, Oxígeno y Azufre que contiene cada una de las biomásas de las especies analizadas.

Tabla 1. Análisis elemental CHNSO, macrófitas.

ELEMENTO	MUESTRA (% Peso promedio)		
	<i>E.crassipes</i>	<i>E.heterosperma</i>	<i>E.azurea</i>
Carbono (C)	35%	38%	30,20%
Hidrógeno (H)	5,47%	6,11%	4,60%
Nitrógeno (N)	2,07%	1,68%	3,27%
Azufre (S)	0,05%	0,04%	0,06%
Oxígeno (O)	28,80%	54,17%	59,87%
Total	71%	100%	98%

Como se puede observar en los resultados del análisis, las especies de macrófitas alcanzan entre 30 y 38% de carbono en su composición, siendo la *E.heterosperma* la especie que presenta el porcentaje mayor. Este porcentaje es considerado importante, dentro de un material combustible, puesto que el carbono constituye la principal fuente de combustión del mismo y aumentos de su poder calorífico. Sin embargo, se estima que mientras más porcentaje de carbono tenga un combustible, mayor generación de CO₂(g) tendrá durante su combustión.

El comportamiento térmico de las especies analizadas por TGA, mostro muy buenas propiedades de combustión dentro de su composición, los diferentes perfiles térmicos evidencian la pérdida de masa durante diferentes etapas. En la primera se evidencia una pequeña pérdida promedio de masa de 13.04% en el rango de 25-200°C, correspondiente a la evaporación de humedad presente en el tejido vegetal, así como a la descomposición de compuestos de bajo peso molecular. En el segundo intervalo de pérdida que ocurre entre 334,09° y 400°C, se evidencia una pérdida de masa del 50,28% correspondiente a la celulosa y la hemicelulosa presente en la muestra. Una tercera etapa se evidencia por su temperatura, que corresponde a la descomposición de la lignina, la cual representa entre el 13 y 15% de masa en el material biomásico analizado y aproximadamente entre un 8 y 17% de residuos inorgánicos para las especies analizadas.

4. CONCLUSIONES

La caracterización de los materiales en estudio, evidencio que fue posible desarrollar un biocombustible solido a partir de comprimidos de biomasa, aumentando de manera sistemática la densidad y algunas propiedades termoquímicas de cada especie de macrófita y de algunos materiales vegetales con alto contenido orgánico. Sin embargo, la presencia de mercurio en las macrófitas, hace necesario el diseño de un sistema de combustión que permita condensar o recuperar el metal en cuestión.

Los hallazgos del mercurio en la ciénaga, impactan la comunidad de Ayapel de manera negativa. No obstante, los resultados encontrados se convierten en un insumo primordial para futuras propuestas de remediación del metal en la ciénaga, y creación de estrategias y reglamentaciones que controlen la liberación de mercurio, lo que podría evaluarse como un impacto positivo para la

comunidad y la región. La desorción del mercurio de las macrófitas mostro un 90% de remoción del metal bioacomulado, con una digestión de HNO_3 .

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Extensión de la Universidad de Antioquia y a la corporación CorpoAyapel por la financiación de esta investigación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. R.P. Keller, D.M. Lodge. “Invasive Species”. *Encyclopedia of Inland Waters*. Academic Press. 2009. pp 92-99.
2. Aguirre Ramirez, N. J., Caicedo Quintero, O., & González Agudelo, E. M. (2011). Las plantas acuáticas del sistema cenagoso de Ayapel Córdoba, Colombia. Medellín: Universidad de Medellín.
3. V.Olvera “Biología y ecología del lirio acuático.” Seminario-taller Control y aprovechamiento del Lirio acuático. Ponencia 2. *Instituto Mexicano de tecnología del agua. Secretaria de agricultura y recursos hidráulicos*. México D. F. 1988. pp 11-39.
4. A. Malik. “Environmental challenge vis a vis opportunity: The case of water hyacinth.” *Environment International*. Vol. 33. 2007. pp 122-138.
5. G. Huber, B. Dale. “Biocarburantes celulósicos” *Investigación y Ciencia: Edición española de Scientific America*. No. 396, 2009. pp 44-51.
6. H.Wang, H.Zhang, G.Cai. “An Application of Phytoremediation to River Pollution Remediation”. *Procedia Environ. Sci*. Vol. 10. 2011. pp 1904–1907.
7. Lippel. «Lippel Brasil.» *Compactación, briquetaje, densificación y peletización*. <http://www.lippel.com.br/es/sustentabilidad/briquetaje-y-peletizacion.html#.UWeiUqIz3E0> (último acceso: 11 de Abril de 2013).