

**TÍTULO:** Utilización del bagazo de caña como biomaterial sorbente de hidrocarburos presentes en aguas oleosas.

**TITLE:** Uses of cane bagasse as hydrocarbon's sorbent present in oleaginous waters.

**Autores:** Msc. Pastora de la Concepción Martínez Nodal<sup>(1)</sup>. Dr. Guillermo Esperanza Pérez<sup>(1)</sup>, Dr. Iván Rodríguez Rico<sup>(2)</sup>, Tec. Mercedes Monteagudo Serrano<sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup>. Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA). Facultad Química - Farmacia. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

<sup>(2)</sup>. Departamento de Ingeniería Química. Facultad Química - Farmacia. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

**Email:** [pastoramn@uclv.edu.cu](mailto:pastoramn@uclv.edu.cu). **Teléfonos:** 281510 y 211863.

### **Resumen**

En la operación del lavado del diesel, usado como materia prima en la generación de electricidad, se producen aguas oleosas, las cuales van a una cisterna sin tratamiento alguno. Estas aguas residuales tienen un alto contenido de aceites e hidrocarburos y son consideradas como residuos tóxicos y peligrosos para el medio ambiente.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el bagazo de caña, residuo de bajo costo de la industria azucarera, para ser utilizado como material sorbente en la operación de limpieza o descontaminación de dichas aguas oleosas. En el mismo se realizó la caracterización del bagazo utilizado y se evaluó la capacidad máxima de sorción para dos granulometrías diferentes del material, dos tiempos de contacto y en condiciones estática y dinámica. Los resultados obtenidos reflejan que para una granulometría de +0.161-0.21 mm, en 24 horas de contacto y con mezclado inicial por agitación mecánica, se obtienen los mejores valores de sorción (6 g de Diesel/1g de bagazo de caña). Ello demuestra que este material es una alternativa viable para el control y limpieza de residuales líquidos con alto contenido de hidrocarburos, de manera que se puedan disminuir los posibles impactos ambientales ocasionados al ser vertidas al medio ambiente, incorporándole de esta forma un valor agregado al bagazo de caña.

**Palabras Claves:** sorbente, aguas oleosas, bagazo de caña, hidrocarburos, residuales líquidos.

### **Abstract**

In the operation of the washing of diesel, used as feedstock in power generation, there are oleaginous waters produce, which are kept in a cistern without any treatment. These wastewaters are high in oil and hydrocarbons, and they are considered toxic and dangerous to the environment.

In the present work the cane bagasse is evaluated, a low cost residual of the sugar cane industry that can be used as sorbents in the operation of cleaning of those oleaginous waters. In this the work cane bagasse is characterized and his sorption capacity is evaluated at two grains, at two times of contact and static and dynamics conditions.

The obtained results reflect that to a grain of +0.161-0.21 mm, with 24 hours of contact and with blended initial for mechanical agitation, the biggest sorption values are obtained (6.g de Diesel/1g cane bagasse). It is demonstrated that this material is a viable alternative for the control and cleaning of oleaginous waters with high content of hydrocarbons. So the environmental impacts can be diminished if the wastes have to be poured to the environment and to improve the aggregate value to cane bagasse used.

**Key words:** sorbents, oleaginous waters, cane bagasse, hydrocarbons.

### **Introducción.**

El vertiginoso desarrollo humano, sumado a la implantación de políticas poco comprometidas desde el punto de vista medioambiental, ha planteado el reto de encontrar alternativas urgentes a los problemas originados por la contaminación.

Los métodos tradicionales desarrollados para el tratamiento de efluentes han sido estudiados a fondo definiéndose de forma muy clara las deficiencias que los mismos presentan. Entre las principales desventajas de estos procedimientos se encuentran las bajas eficiencias que se alcanzan, los altos costos de operación, insumos y requerimientos, obligando al hombre a encontrar nuevas soluciones.

Los procesos de biosorción se perfilan como una alternativa capaz de superar varias deficiencias de los métodos tradicionales. El estudio de materiales lignocelulósicos enmarcados en esta temática, ha aportado, resultados de remoción de hidrocarburos muy significativos. Es por esto que en el trabajo se evaluó la factibilidad de utilizar el bagazo de caña natural como biomaterial sorbente por ser este, un residuo de la industria azucarera, de bajo costo, el cual una vez utilizado en la limpieza de las aguas oleosas con un alto contenido de hidrocarburos, y aumentado su poder calórico, pudiera ser reutilizado en la generación de energía, mitigándose los nefastos impactos ambientales que generan las mismas, si son vertidas sin control o tratamiento en cualquier cuerpo receptor, según reportan los autores ***Brito 2006 y Reyes 2003.***

Los resultados de este trabajo, permitirán generar conocimientos fundamentales sobre el empleo de los residuos de fibras celulósicas como biomaterial sorbente de hidrocarburos, incorporarle un valor agregado a estos recursos y consolidar las bases para la utilización industrial de productos sorbentes nacionales con características similares o superiores a los ofertados en el mercado internacional.

### **Materiales y métodos.**

#### **Materiales y equipos.**

- **Biomaterial sorbente a evaluar.** A partir de estudios preliminares realizados por ***Ortiz 2004, Brito 2006*** y tomando en consideración algunos rangos de parámetros obtenidos de la literatura, se decidió trabajar con bagazo de caña de azúcar natural (residuo sólido de la actividad agro-industrial azucarera cubana).
- **Hidrocarburo.** Para los estudios básicos de adsorción y la preparación de residuales simulados fue seleccionado el Diesel regular cuyas características fundamentales se muestran en la tabla I.

**Tabla I.** Propiedades del Diesel utilizado en el estudio.

Propiedades	Diesel regular
Densidad a 15 <sup>0</sup> C	0.8613 g/cm <sup>3</sup>
Gravedad <sup>0</sup> API	32.7
Punto de inflamación	76 <sup>0</sup> C'
Destilación:	
Temperatura inicial:	187 <sup>0</sup> C.
Temperatura al 50%:	287 <sup>0</sup> C.
Temperatura al 90%:	332 <sup>0</sup> C.
Temperatura final:	352 <sup>0</sup> C.

• Equipamiento instrumental.

Balanza analítica DENVER INSTRUMENT Modelo TB-224<sup>a</sup>, d<sup>\*</sup> = 0.0001g, balanza de humedad MC 40, molino de rotor de 6 paletas Modelo SR-2 Marca Restch (Alemania), con velocidad de rotación de 1500 rpm y tamices de 0.2 y 0.5 mm, tamices Serie Tyler: 0.315, 0.21 y 0.16, equipo EUROSTAR IKA LABORTECHNIK acoplado a un VSKOCLIC IKA LABORTECHNIK con un impelente tipo turbina cerrada de cuatro paletas, según se muestra en la **figura 1**.

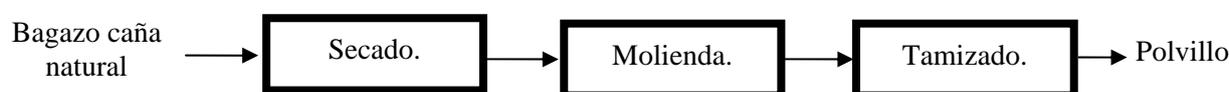


**Figura.1.** Equipo utilizado para el estudio con agitación previa (Dinámico).

**Etapas del proceso tecnológico para la adecuación del material.**

A partir de estudios preliminares realizados anteriormente y tomando en consideración algunos rangos de parámetros obtenidos de la literatura, se procede a definir las etapas involucradas en la tecnología de obtención de un material adsorbente a partir de bagazo de caña.

Las etapas propuestas en este trabajo para el acondicionamiento del bagazo de caña natural como material sorbente se muestran en la figura 2.



**Figura 2.** Etapas realizadas en el acondicionamiento del bagazo de caña natural.

### **Secado.**

El bagazo de caña natural sin procesar, es sometido a un proceso de secado a 80°C durante dos horas, hasta alcanzar una humedad promedio de 8.4% (cuando se realizó la molienda). La misma fue determinada en una balanza de humedad MC 40 (105°C).

### **Molienda y tamizado.**

El tamaño de las partículas de bagazo se reduce gradualmente mediante un molinado por impacto y cizallamiento, utilizando un molino de rotor de 6 paletas **Modelo SR-2**.

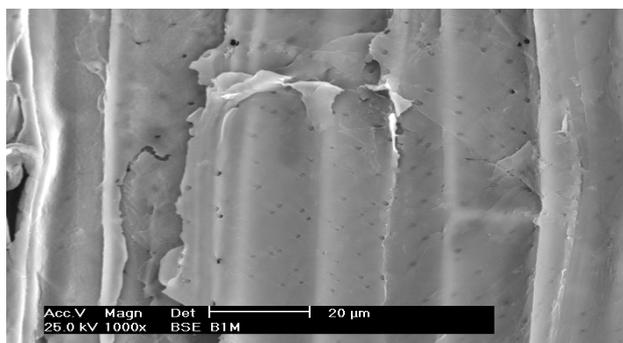
La muestra del material granular cuidadosamente pesada, es colocada en el tamiz superior del conjunto de tamices (**Serie Tyler:** 0.315, 0.21 y 0.16) y se sometió a un proceso de vibraciones en una tamizadora durante un período de 15 minutos. Posteriormente son recogidas y pesadas las fracciones depositadas en cada tamiz y se determinó la masa de bagazo retenida en cada una de ellas respecto al total procesado. Las fracciones de interés a utilizar en los ensayos experimentales, previamente definidas, fueron las contenidas entre las mallas: +0.21 -0,35 mm (Material Grueso) y +0,16 -0,21 mm (Material Fino).

### **Caracterización del material sorbente procesado (bagazo natural).**

Al bagazo de caña natural utilizado en el trabajo experimental se le realizó una caracterización física, pues el uso de pruebas elementales permite obtener información muy importante sobre el material objeto de estudio. Entre las propiedades físicas determinadas pueden mencionarse: humedad (utilizada en el trabajo experimental), densidad aparente, flotabilidad, y textura de las fibras (obtenida por Microscopía Electrónica de Barrido). Los resultados de estas mediciones se muestran a continuación en la tabla II y en la figura 3. Al observar la estructura interna del material, se aprecian los haces conductores (pequeños tubos) que son útiles para el flujo del hidrocarburo por capilaridad y finalmente ser retenido en ellos por adhesión.

**Tabla II**– Propiedades físicas del bagazo de caña modificado.

<b>Propiedad física</b>	<b>Valor promedio MG</b>	<b>Valor Promedio MF</b>
Humedad a 105 <sup>0</sup> C	13.87 %	12.06 %
Densidad aparente	146.8 Kg/m <sup>3</sup>	117.9 Kg/m <sup>3</sup>
Flotabilidad	si	si



**Figura 3.** Microfotografías de partículas de bagazo de caña natural.

## **Procedimiento experimental**

### **Capacidad máxima de sorción de las fracciones de interés con el hidrocarburo seleccionado.**

La determinación de la capacidad de sorción del bagazo de caña natural se determino según la metodología reportada en (1). Para la misma fueron utilizadas las Normas ASTM D 1141, F-728 y el protocolo canadiense “Oil Sorbent: “Testing Protocol and Certification Listing Program”, en el cual se determina la masa de hidrocarburo sorbido por gramo de material sorbente mediante la ecuación:

$$Ca = \frac{m_t - m_0}{m_0} \quad (1)$$

#### **Donde:**

Ca = Capacidad de adsorción.

$m_t$  = Masa de material impregnado (Peso del sorbente e hidrocarburo adsorbido)

$m_0$  = Masa del material sorbente seco.

Al bagazo natural, en sus dos respectivos tamaños de partícula, se le realizó el ensayo de máxima capacidad de adsorción con el Diesel regular. Estos ensayos se efectuaron con el fin de determinar si existía algún tipo de relación entre la granulometría del material sorbente y dicha propiedad.

Para el ensayo de la capacidad de adsorción en condiciones estáticas, el hidrocarburo se pone en contacto con el Diesel un tiempo establecido, a presión atmosférica y a temperatura controlada (25°C), para luego ser filtrado en un embudo de malla fina por escurrimiento (24 y 72 horas), cuantificándose la ganancia en peso por el método gravimétrico.

Las pruebas de adsorción en condiciones dinámicas se realizan de forma similar a las estáticas, con la diferencia de que la suspensión del bagazo más el hidrocarburo, se agita por un tiempo de 30 minutos a 130 rpm. Luego se cuantifica la ganancia en peso del sorbente por el método descrito anteriormente.

Los cálculos fueron programados y procesados en EXCEL y para el análisis estadístico se utilizo el programa STATGRAPHICS PLUS.

### **Análisis de los resultados.**

#### **Capacidad de adsorción.**

El análisis de la capacidad máxima de adsorción (Ca) del Diesel en las condiciones estática y dinámica para las diferentes granulometrías utilizadas, cuyos resultados se muestran en las tablas III y IV, demuestra que los mejores resultados se obtienen para el material fino (MF), tanto en condiciones dinámicas (D) como estáticas (E) respectivamente, para diferentes tiempos de escurrimiento (24 y 72 horas). Sin embargo, es necesario realizar un análisis estadístico para demostrar si las diferencias observadas son significativas o no.

**Tabla III.** Capacidad Máxima de adsorción del Diesel en el material fino (MF) y grueso (MG) en condiciones estática (E) y dinámica (D) y 24 horas de escurrimiento.

<b>Granulometría de bagazo de caña</b>	<b>Ca (g de Diesel/g de bagazo). Estudio dinámico.</b>	<b>Ca (g de Diesel/g de bagazo). Estudio estático.</b>
MG (+0,21 -0,35 mm)	5.72	5.64
MF (+0,16 -0,21 mm)	6.11	5.92

**Tabla IV.** Capacidad Máxima de adsorción del Diesel en el material fino (MF) y grueso (MG) en condiciones estática (E) y dinámica (D) y 72 horas de escurrimiento.

<b>Granulometría de bagazo de caña</b>	<b>Ca (g de Diesel/g de bagazo). Estudio dinámico.</b>	<b>Ca (g de Diesel/g de bagazo). Estudio estático.</b>
MG (+0,21 -0,35 mm)	5.18	5.03
MF (+0,16 -0,21 mm)	5.97	5.92

Los resultados del análisis estadístico realizado permitieron conocer que: el efecto de la granulometría del bagazo de caña, tanto en condiciones estáticas como dinámicas sobre la capacidad de adsorción no es significativo, lo que permite sugerir que para estudios posteriores se trabaje en condiciones estáticas, sin agitación (menor consumo de energía) y con la menor granulometría de las estudiadas, sin embargo existen diferencias significativas en el tiempo de escurrimiento (contacto).

Los resultados de las capacidades de adsorción obtenidos con el material evaluado son promisorios al compararlos con trabajos de otros autores: *Ali 1998*, *Beom-Goo 2000*, y *Teas 2002*, citados por *Ortiz 2004* en su trabajo. Teniendo en cuenta lo planteado en la literatura por *Ali 1998* en su estudio con materiales orgánicos naturales, basado en la capacidad de adsorción de un hidrocarburo de 32.5 ° API, el bagazo de caña evaluado se encuentra en la categoría tres para las granulometrías evaluadas (sorbentes con capacidad de adsorción entre 5.5 y 6.5 g/g), lo que promete resultados prominentes en la consolidación de las bases para su empleo industrial como producto sorbente nacional con características similares o superiores a los ofertados en el mercado internacional.

### **Conclusiones.**

1. Los estudios realizados demostraron que el bagazo de caña de azúcar tiene potencialidades como sorbente de hidrocarburos (6g/g de bagazo).
2. Se demostró que no existen diferencias significativas en la capacidad máxima de sorción para las dos granulometrías del bagazo natural estudiadas y las condiciones hidrodinámicas del sistema (estática y dinámica), sin embargo existen diferencias significativas en el tiempo de escurrimiento (contacto).
3. Para las dos granulometrías estudiadas a las 24 horas de contacto, se logran los mayores valores de sorción, con o sin homogenización inicial.

## **Referencias.**

1. D. P. Ortiz González; F. Andrade Fonseca; G. Rodríguez Niño, L. C. Montenegro Ruiz. “Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua”. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D. C. Colombia. 2004.
2. G. Ali. “Composting technology for practical and safe remediation of oil spill residuals”. University of Southwestern. Louisiana. 1998.
3. J. Brito García, I. L. Rodríguez Rico. “Propuesta de una tecnología para obtener un biosorbente de  $\text{Cr}^{3+}$  a partir del bagazo de caña. Escalado a nivel de planta piloto”. Facultad de Química Farmacia. Universidad Central Marta Abreu de Las Villa. Cuba”. 2006.
4. J. L. Reyes Montiel. “La biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental”. Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera (CETA), UCLV. Revista *Centro Azúcar* 30(2): 14-20, abril-junio, 2003.
5. L. Beom-Goo, HAN James S and ROWELL Roger M; Oil Sorption By Lignocellulosic Fibers; Capítulo 35, Pag, 424-433. 2000.
6. Teas Ch., Kalligeros S., Zanikos F, Stoumas S., Lois Ei, Anastopoulos G. Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spill clean up. *Spill Science & Technology. Bulletin* Volumen 8. Pag 259 – 264. 2002.