

BIOMATERIALES SORBENTES PARA LA LIMPIEZA DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN SUELOS Y CUERPOS DE AGUA.

¹D.P. Ortiz González; ²F. Andrade Fonseca; ³G. Rodríguez Niño, ⁴L.C. Montenegro Ruiz.

^{1,2,3}Departamento de Ingeniería Química; ⁴Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia
Carrera 30 No 45 - 03 – Ciudad Universitaria, Bogotá, D.C. Colombia

¹ Ingeniera Química, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Colombia. Investigadora del Departamento de Ingeniería Química en la Universidad Nacional de Colombia con sede en Bogotá, Colombia¹.

² Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Colombia. Investigador del Departamento de Ingeniería Química en la Universidad Nacional de Colombia con sede en Bogotá, Colombia².

³ Ingeniero Químico. M.Sc. DSc. Profesor asistente del Departamento de Ingeniería Química en la Universidad Nacional de Colombia con sede en Bogotá, Colombia³.

⁴ Biólogo, M.Sc. Candidato a DSc. Profesor asistente del Departamento de Biología en la Universidad Nacional de Colombia con sede en Bogotá, Colombia⁴.

Resumen

Este estudio esta encaminado a identificar y evaluar materiales orgánicos naturales que puedan ser utilizados como sorbentes en las operaciones de limpieza de derrames de hidrocarburos tanto en suelos como en cuerpos de agua. Se evaluó la capacidad de sorción de tres materiales, fibra de caña, fibra de coco y buchón de agua, con tres hidrocarburos, 35, 30 y 25°API, y dos tipos de agua, destilada y marina artificial, adaptando la norma ASTM F-726 y siguiendo la metodología sugerida por el protocolo canadiense "Oil Spill Sorbents: Testing Protocol and Certification Listing Program". Se encontró que los tres materiales evaluados, tienen una capacidad de sorción igual o superior a un material comercial contra el cual fueron comparados. Se observó que los resultados de la capacidad de sorción dependían de algunas variables como la viscosidad del hidrocarburo, granulometría y estructura del material. En la sorción de agua, la fibra de caña fue la que mostró la mayor hidrofobicidad a diferencia del buchón el cual es bastante hidrofílico. Por otro lado, se determino y modelo la cinética de sorción de los materiales con los tres hidrocarburos, 35, 30 y 25°API. Se encontró, que los materiales alcanzan su saturación en menos de un minuto, lo que permite tener una alternativa rápida para la limpieza y control de derrames de hidrocarburos. Finalmente se realizó un tratamiento térmico a los materiales con el fin de mejorar su hidrofobicidad y comportamiento en derrames sobre cuerpos de agua. La fibra de caña fue el material que presentó mejores resultados con el tratamiento térmico, seguido por el buchón de agua; la fibra de coco no presento un cambio significativo en su hidrofobicidad.

Palabras claves: Sorbentes, derrames de hidrocarburos.

¹ dportizg@unal.edu.co

² fandrdef@unal.edu.co

³ grodriguez@unal.edu.co

⁴ lcmontenegror@unal.edu.co

1 Introducción

Los accidentes que han producido derrames de petróleo y productos refinados al igual que las emisiones atmosféricas tóxicas como consecuencia de explosiones e incendios, han causado daños ambientales importantes a los ecosistemas en las áreas donde ocurren los incidentes. Dichas áreas generalmente se encuentran cerca a zonas de importancia y fragilidad ecológica como parques Nacionales, reservas de fauna, cuencas hidrográficas y asentamientos urbanos (1).

Se han podido detectar numerosos casos de derrames terrestres, marítimos y lacustres⁵, debidos al manejo irregular de sistemas de bombeo, transporte en tuberías, almacenamiento en tanques, manejo de plantas, transporte marítimo y terrestre (1), pérdidas por roturas de los oleoductos ya sean accidental o intencionalmente, colisiones, encallamientos y muchas causas más (2).

De otro lado, en la producción, transporte y refinación del crudo, así como de sus derivados se estima una pérdida de 2,4 millones de barriles anuales derramados a través de fugas con diversa magnitud, que equivalen a 6.523 bbl/d, de los cuales la mayoría se incorpora en forma directa al medio ambiente(3); esto provoca contaminación de aguas superficiales y subterráneas, la alteración de los ciclos de agua y suelo y la contaminación de la atmósfera a nivel local y global (4).

Para el control y mitigación de los efectos causados por los derrames y/o escapes de hidrocarburos, no se puede aplicar una solución universal, los métodos y procedimientos que se seleccionen dependen del sitio (topografía, acceso, cercanía a cuencas hidrográficas, entre otros) y las condiciones ambientales, también se deben tener en cuenta el esparcimiento y movimiento de la mancha.(5)

Los pasos generales en la metodología utilizada para la mitigación y limpieza de hidrocarburos son :

1. Contención
2. Recolección
3. Limpieza y disposición

En general los sorbentes de hidrocarburos se utilizan en las tres etapas, en la contención se pueden utilizar barreras rellenas de material sorbente que al mismo tiempo contienen y retienen el hidrocarburo en su

estructura; en la recolección, se pueden utilizar dichas barreras o almohadillas de material sorbente al igual que el material suelto, también, el uso de sorbentes es apropiado en las etapas finales de limpieza o para ayudar en la remoción de películas delgadas de hidrocarburo de los sitios inaccesibles (6).

En áreas susceptibles, como por ejemplo pantanos, los sorbentes naturales pueden inmovilizar el hidrocarburo y dejar que este se degrade naturalmente (5).

En esta investigación, se busca evaluar la capacidad de sorción de hidrocarburos por parte de las fibras de caña, coco (residuos agroindustriales) y el buchón de agua (maleza acuática), materiales naturales que están causando una problemática ambiental por la dificultad en su disposición final o deterioro de los ecosistemas donde se presenta como es el caso del buchón de agua, el cual por su facilidad y rapidez de propagación lo convierte en una maleza difícil de erradicar y provoca una disminución de la calidad del agua donde crece, fomento en la proliferación de insectos, reducción en la superficie del espejo de agua entre algunos otros impactos.

2 Metodología

2.1 Materiales y equipos

- Materiales sorbentes a evaluar

Se trabajo con tres materiales celulósicos residuales, fibra de coco, fibra de caña y buchón de agua, los cuales se compararon frente a un material sorbente comercial de origen natural (*Sphagnum*) recomendado para aplicación de derrames tanto en suelos como en cuerpos de agua.

- Hidrocarburos

Fueron seleccionados tres tipos de hidrocarburos, liviano (35 °API), medio (30 °API) y pesado (25 °API) con las propiedades mostradas en la tabla 2.

- Equipo instrumental:

Balaza analítica, tolerancia 0.0001 g; Mesa de agitación orbital, amplitud de 3 cm y 50 rpm; Microscopio electrónico de alto barrido FEI Quanta 200; Equipo TGA 2050 de TA Instruments.

⁵ Pertenciente o relativo a los lagos

Tabla 1. Propiedades de los hidrocarburos utilizados en las pruebas.

	H.C. LIVIANO	H.C. MEDIO	H.C. PESADO
Densidad (g/ml)	0,850	0,875	0,899
Gravedad API	34.9	30.2	25.9
Viscosidad (40°C) SSU	34,93	150	330
Punto de inflamación	82°C	114°C	182°C
Punto de combustión	94°C	132°C	210°C
Contenido de agua	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Contenido de sedimentos	< 0,1	< 0,1	< 0,1

2.2 Procedimiento experimental

2.2.1 Adecuación de materiales

Los materiales se sometieron a un proceso de secado a 80°C mediante corriente de aire caliente con flujo tangencial, en un secador de bandejas durante 2 horas, hasta alcanzar una humedad cercana al 10%, luego, los materiales se molieron y tamizaron.

2.2.2 Caracterización de los materiales celulósicos

Se realizó la caracterización física y estructural de los materiales.

- Propiedades físicas

Se determinaron las siguientes propiedades físicas: granulometría, densidad aparente, flotabilidad, inflamabilidad y comportamiento térmico (análisis termogravimétrico TGA)

- Estructura

Se analizaron aspectos anatómicos y estructurales de los materiales mediante microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM).

2.2.3 Capacidad y cinética de sorción

La capacidad de sorción (figura 1) de los tres hidrocarburos, 35, 30 y 25 °API y dos tipos de agua, destilada y marina artificial (norma ASTM D 1141) para cada uno de los materiales fue evaluada adaptando la norma ASTM F-726 y el protocolo

canadiense "Oil Spill Sorbents: Testing Protocol and Certification Listing Program". en la cual se determina la masa de hidrocarburo sorbido por gramo de material sorbente mediante la ecuación:

$$C_t = \frac{m_t - m_0}{m_0}$$

C_t = Capacidad de sorción.

m_t = Masa del material impregnado (Peso del sorbente e hidrocarburo sorbido)

m_0 = Masa del material sorbente seco.

La capacidad de sorción de agua destilada y marina artificial, se determino de forma estática, dejando el material durante 15 minutos sin perturbación ni movimiento en el medio, y de forma dinámica, dejando el material en movimiento en una mesa agitada a 50 r.p.m durante 30 minutos, según se explica más en detalle en el protocolo canadiense ya mencionado.

Luego se determinó la cinética de sorción (diagrama 2) con los tres hidrocarburos (35, 30 y 25°API). Se utilizó el mismo procedimiento empleado en la capacidad de sorción. En estos ensayos, se registró la ganancia en peso del material con hidrocarburo a diferentes tiempos (desde 5 segundos de contacto con el hidrocarburo hasta 24 horas después). El modelo de demanda de sorción que se utilizó para describir la cinética se describe mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{C_t}{C_{max}} = kt^n \quad \ln\left(\frac{C_t}{C_{max}}\right) = n \ln t + \ln k$$

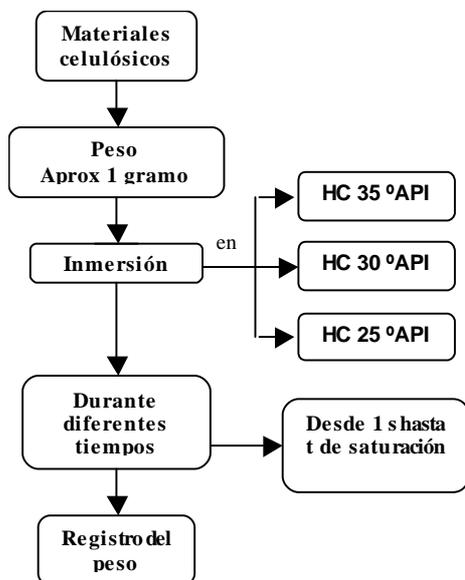
Donde k es la constante específica de la velocidad de sorción y n la constante específica de tiempo. A partir de esta ecuación, se determinan los valores de las constantes al graficar el logaritmo natural de (C_t / C_{max}) en función del $\ln t$, para lo cual se espera una recta con pendiente n e intercepto en $\ln k$.

2.2.4 Tratamiento térmico

Finalmente se realizó un tratamiento térmico a los materiales para mejorar la hidrofobicidad, la temperatura para esto, se selecciono según el análisis termogravimétrico (TGA). Luego del tratamiento se realizaron pruebas de sorción con hidrocarburo

liviano, pesado y agua destilada para comparar los resultados con los obtenidos sin tratamiento térmico.

Figura 2. Metodología utilizada para determinar la cinética de sorción



3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Caracterización.

Las propiedades físicas (densidad de empaque, flotabilidad y flamabilidad) de los materiales celulósicos con los dos tamaños de partícula para cada uno, se reportan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Densidad de empaque de los materiales.

Material	Densidad (g/ml)
Bagazo de caña malla 80	0.133
Bagazo de caña malla 30	0.067
Fibra de coco malla 80	0.112
Fibra de coco malla 30	0.028
Buchón de agua malla 80	0.061
Buchón de agua malla 30	0.074
Comercial malla 80	0.174
Comercial malla 30	0.129

Figura 1. Metodología para determinar la capacidad máxima de sorción

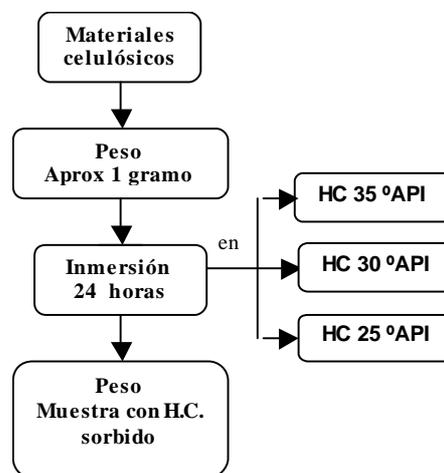


Tabla 3. Flotabilidad y flamabilidad de los materiales

Material	Flotabilidad	Flamabilidad
Bagazo de caña	Sí	No
Fibra de coco	Sí	No
Buchón de agua	Sí	No
Comercial	Sí	No

Los materiales evaluados tienden a flotar tanto en agua pura como en mezclas hidrocarburo – agua, lo que le permite mantenerse en la superficie al ser aplicados en un derrame de hidrocarburo sobre agua, lo que evita el riesgo de llevar consigo hidrocarburo al sedimento acuático.

Un resultado favorable también se obtuvo respecto a la flamabilidad ya que los materiales no arden cuando se exponen a la llama.

Por otro lado, se observó la estructura de los materiales en microscopía óptica y electrónica. En la fibra de caña, se aprecian en la figura 3 los haces conductores (pequeños tubos) que son útiles para el flujo del hidrocarburo por capilaridad, al igual que para retenerlo por adhesión.

La fibra de coco, mesocarpio, está constituida por fibras grandes, delgadas y resistentes, conformadas por una red de fibrillas. El fluido puede penetrar a

estos tubos ya sea por la parte superior o inferior y en menor proporción de forma transversal debido a la insignificante presencia de haces conductores que atraviesan la fibrillas: esto se puede observar en la figura 4 donde se aprecia una superficie externa lisa, con pocas aberturas (haz conductor)

La estructura del buchón de agua (figura 5) está formada principalmente por aerenquima (un tipo de parenquima) el cual es un tejido similar a una red de membranas que forman espacios llenos de aire que le son útiles para acumular fluido en su interior. Sin embargo, este tejido es bastante frágil y blando.

Figura 3. Microscopía electrónica y óptica de la fibra de caña

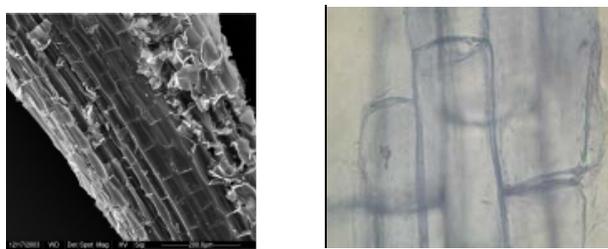
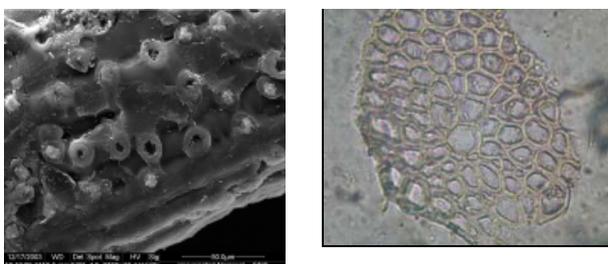
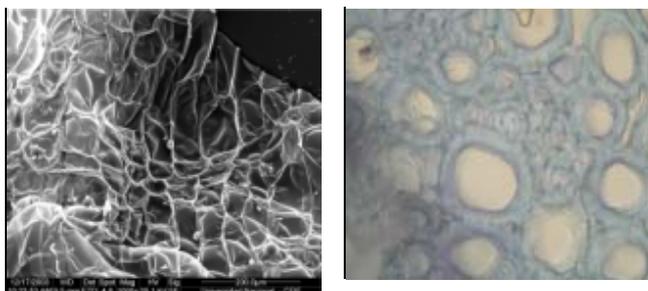


Figura 4. Microscopía electrónica y óptica de la fibra de coco.



Corte transversal

Figura 5. Microscopía electrónica y óptica del buchón de agua.



3.2 Capacidad de sorción.

La abreviatura que se utiliza en las gráficas para cada uno de los materiales se detalla en la tabla 4 .

Tabla 4. Abreviaturas de los materiales

Abreviatura	Material
Coco	Fibra de Coco
Caña	Fibra de Caña
Buch	Buchón de Agua
Com	Comercial
*	Material fino (malla 80)
**	Material Grueso (malla 30)

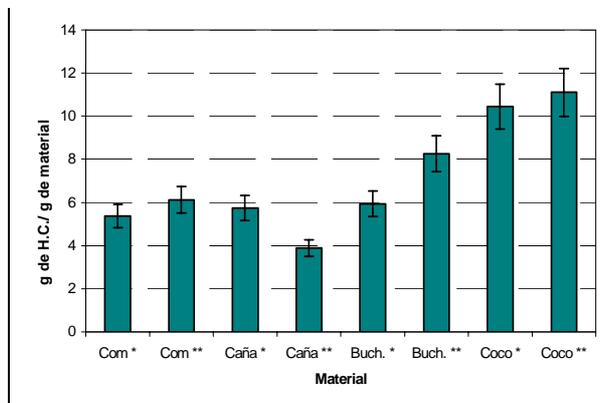
Los resultados en obtenidos en gramos de hidrocarburo por gramo de material, para la fibra de caña, la fibra de coco, y el buchón de agua en la sorción de hidrocarburo liviano (35 °API) (Gráfica 1), reflejan un desempeño aceptable para la fibra de caña fina, 5,37 frente a una capacidad de 5.74 veces su peso (gramos de hidrocarburo/gramo de material seco) para el material comercial. El buchón de agua presentó una capacidad de sorción de 8.26 veces su peso y la fibra de coco de 11,1 gramos de hidrocarburo/gramo de material, ambos materiales tienen un comportamiento superior respecto al sorbente comercial evaluado.

Al analizar la sorción con hidrocarburo medio (30 °API), cuyos resultados se reportan en la gráfica 2, el material que presentó un mayor desempeño fue la fibra de coco gruesa con 15,77 veces su peso, seguida del buchón de agua grueso con 11,23 y la caña fina con 7,45; todos con un desempeño similar o superior al del material comercial (7.88 veces su peso con el tamaño de partícula malla 30 (grueso) y 5.95 para el tamaño malla 80 (fino)).

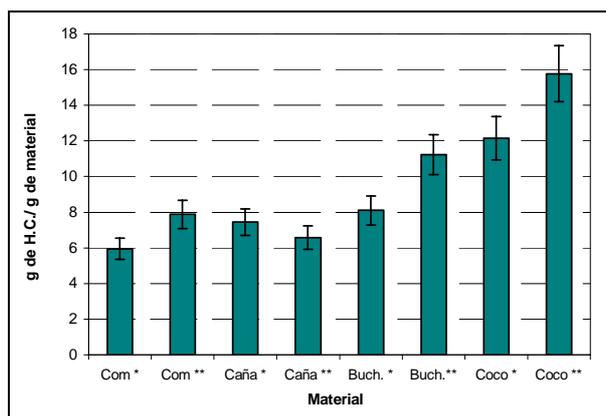
Los resultados en la sorción de hidrocarburo pesado (25 °API) (gráfica 3) fueron similares a los obtenidos en la sorción de hidrocarburo medio (30 °API).

En la sorción de hidrocarburo pesado , no se presenta una marcada influencia del tamaño de partícula en la capacidad de sorción.

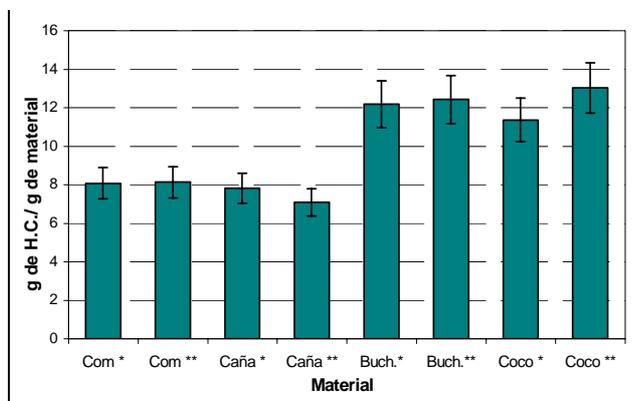
Gráfica 1. Capacidad de sorción de H.C. liviano (35 °API) con materiales celulósicos



Gráfica 2. Capacidad de sorción de H.C. medio (30 °API) con materiales celulósicos



Gráfica 3. Capacidad de sorción de H.C. pesado (25 °API) con materiales celulósicos



Los materiales sorbentes trabajan mediante dos principios, la adsorción donde las moléculas de hidrocarburo se adhieren a la superficie y/o la adsorción que permite acumular y retener hidrocarburo en los espacios capilares característicos de las estructuras de los materiales.

En la sorción del hidrocarburo liviano (35 °API), el fenómeno predominante es la absorción por capilaridad. En el hidrocarburo medio (30 °API), se presentan dos fenómenos, la absorción y la adsorción, por lo cual la capacidad de sorción de este hidrocarburo es mayor que la sorción del hidrocarburo liviano (35 °API).

En la sorción del hidrocarburo pesado (25°API) el fenómeno predominante es la adsorción ya que la viscosidad del hidrocarburo facilita el taponamiento de las estructuras de entrada a los espacios capilares impidiendo de esta forma que se presente la absorción de forma significativa.

En la etapa inicial de sorción, el hidrocarburo es sorbido por algunas interacciones y fuerzas de Van der Waals entre el hidrocarburo y las ceras que se encuentran sobre la superficie de la fibra, esto se debe a que la cera y el hidrocarburo son químicamente similares además de adherirse por la superficie irregular que presenta el material. Del mismo modo, la sorción dentro de la fibra ocurre por difusión a través de un movimiento capilar interno (7).

Por otro lado, en las pruebas con agua en estado estático, sin perturbaciones (gráfica 4), la capacidad de sorción de agua marina artificial y agua dulce es mayor para el buchón de agua, lo que representa que este material tiene una superficie hidrofílica, desfavorable para su aplicación de derrames de hidrocarburos en cuerpos de agua, por lo tanto, su aplicación se esta restringida a derrames sobre suelos. La fibra de caña, presentó una capacidad muy similar a la del material comercial, lo que lo hace favorable en la sorción de hidrocarburos en cuerpos de agua, además de su aplicación en suelos.

En la capacidad de sorción de agua destilada y marina artificial en estado dinámico (gráfica 5), la fibra de caña, presentó la menor capacidad de sorción entre los materiales con los dos tipos de agua, sin embargo, en la granulometría fina (malla 80), la capacidad de sorción de agua tanto para la fibra de caña como para los demás materiales, son mayores a las presentadas por el material comercial.

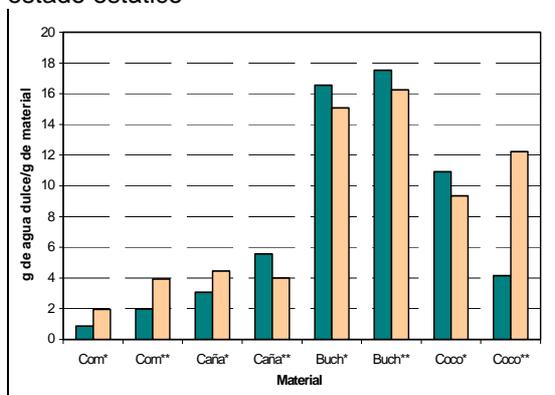
Según Beom-Goo Lee (8), una importante causa de la sorción de agua es la presencia de las moléculas de celulosa en las fibras las cuales tienen una hidrofiliidad natural debido a los grupos hidroxilo presentes en ellas.

3.3 Cinética de sorción.

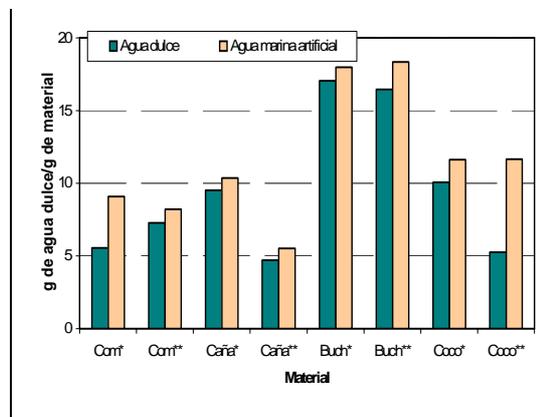
En la determinación de la cinética de sorción, se encontró que los materiales celulósicos alcanzan su saturación en menos de un minuto (Gráfica 7), esto debido al tamaño y diversidad de estructuras capilares presentes, que facilitan el ingreso y adhesión del hidrocarburo a éstas.

El comportamiento cinético de estos materiales se representa adecuadamente con el modelo de demanda de sorción, como se presenta en la gráfica 6, donde se muestra la linealización de los datos de los materiales celulósicos con hidrocarburo pesado (25 °API), y los cuales se ajustan adecuadamente y con una aceptable correlación que permite determinar las constantes del modelo que represente la cinética de sorción de los materiales con los tres hidrocarburos.

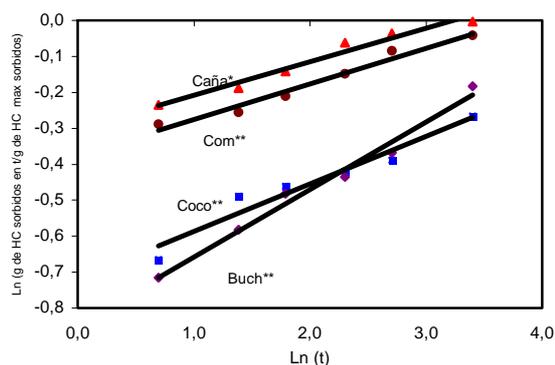
Gráfica 4 . Máxima capacidad de sorción de los materiales en agua destilada y marina artificial en estado estático



Gráfica 5. Máxima capacidad de sorción de los materiales en agua destilada y marina artificial en estado dinámico

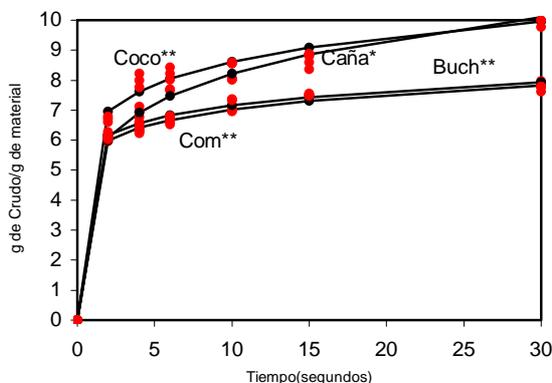


Gráfica 6. Linealización de los datos de cinética de sorción con hidrocarburo pesado (35°API)



Como se aprecia en la gráfica 7, la mayor velocidad de sorción de los hidrocarburos, se presenta en los cinco primeros segundos, desde los cinco segundos hasta alcanzar 30 segundos de contacto, se encuentra el intervalo de tiempo donde el material alcanza su saturación con el hidrocarburo liviano.

Gráfica 7. Cinética de sorción de los materiales celulósicos con hidrocarburo pesado (25°API)



En la tabla se reportan los resultados de las constantes cinéticas determinadas para los materiales con cada uno de los hidrocarburos

Los materiales celulósicos presentaron un comportamiento similar en la cinética de sorción con los hidrocarburos liviano (35°API) y medio (30°API).

Tabla 5. Constantes del modelo cinético para los materiales con los tres hidrocarburos (25, 30 y 35°API)

Hidrocarburo Pesado (25 °API)			
Material	K	n	R ²
Caña*	0,7395	0,0931	0,97
Coco**	0,4874	0,1322	0,94
Buch**	0,4298	0,1872	0,98
Com**	0,6876	0,0991	0,97
Hidrocarburo Medio (30 °API)			
Material	K	n	R ²
Caña*	0,6497	0,1357	0,93
Coco**	0,5749	0,1181	0,95
Buch**	0,5210	0,1355	0,99
Com**	0,4924	0,1662	0,98
Hidrocarburo Liviano (35 °API)			
Material	K	n	R ²
Caña*	0,4419	0,1411	0,95
Coco*	0,8278	0,0463	0,96
Buch**	0,5776	0,1209	0,96
Com*	0,8086	0,0472	0,94

3.4 Tratamiento térmico.

Mediante el análisis termogravimétrico de los materiales (gráficas 8, 9 y 10) se selecciono un intervalo de temperatura de 180 a 200°C, en el cual se desprenden de la superficie de los materiales

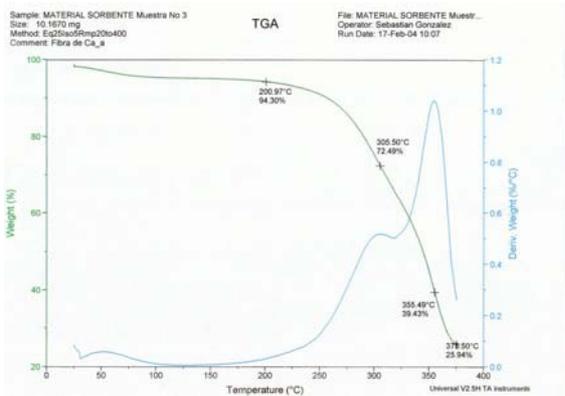
compuestos volátiles hidrofílicos y a su vez sucede una leve carbonización superficial, lo que aumenta la naturaleza hidrofóbica de los materiales, especialmente en la fibra de caña donde se presenta una pérdida de su peso cercana al 2% dentro del intervalo de temperatura de 150°C a 200°C, esto permite reducir la capacidad de sorción de agua (gráfica 11) respecto a la fibra no tratada térmicamente. La reducción en la capacidad de sorción de agua debido a este tratamiento es de 9.5 a 4.9 g de agua/g de material, lo que esta por debajo del material comercial (7.27 g de agua/g de material).

El buchón presenta una pérdida en peso significativa desde los 25°C hasta los 130°C, intervalo en el cual esta perdiendo su humedad inicial, la cual se encuentra cercana al 95% en peso. Luego de los 130°C, se mantiene constante la pérdida en peso hasta los 200°C intervalo en el cual se están volatilizandocompuestos hidrofílicos de bajo peso, sin entrar a dañar o destruir la estructura del material, esto permite una reducción en la capacidad de sorción de agua de 17.1 a 13.8 g de agua/g de material (gráfica 11); sin embargo esta capacidad de sorción de agua esta por encima del material comercial.

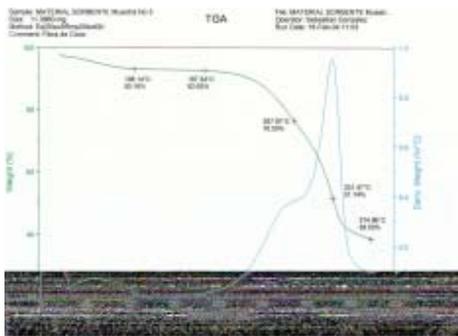
Para la fibra de coco, el tratamiento térmico no resultó ser efectivo, ya que la hidrofilidad del material se debe a que esta fibra esta compuesta principalmente de celulosa con pocos grupos volátiles hidrofílicos que puedan escapar durante el tratamiento térmico. Tampoco presento cambio alguno en la capacidad de sorción de hidrocarburos respecto a la fibra no tratada térmicamente.

De otro lado, para el buchón de agua se observa un aumento en la sorción de hidrocarburo liviano (35 °API) y pesado (25 °API) respecto al buchón de agua sin tratar térmicamente (gráficas 12 y 13). Para la fibra de caña tratada térmicamente, se presento una disminución respecto a la fibra no tratada térmicamente, de 5.85 a 4.0 g de Hidrocarburo/g de material, en la sorción de hidrocarburo liviano (35°API), mientras que se mantiene constante la sorción de hidrocarburo pesado (25°API) en 7.5 g de hidrocarburo/g de material.

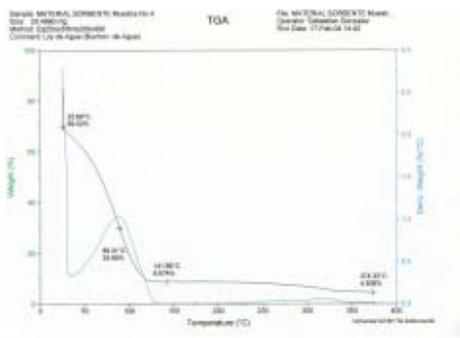
Gráfica 8. Análisis termogravimétrico de la fibra de caña



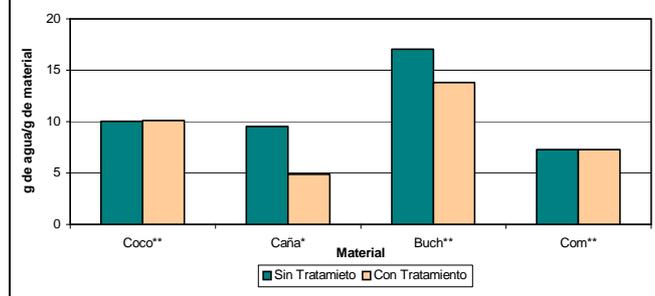
Gráfica 9. Análisis termogravimétrico de la fibra de coco



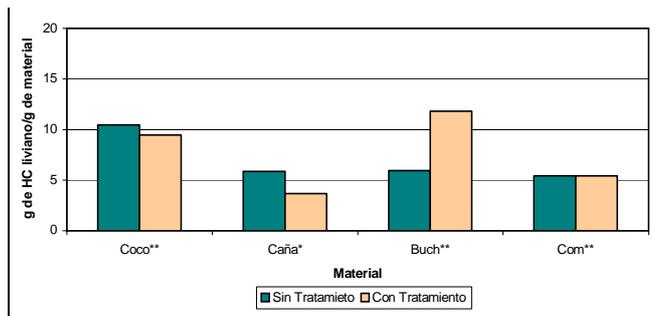
Gráfica 10. Análisis termogravimétrico del buchón de agua



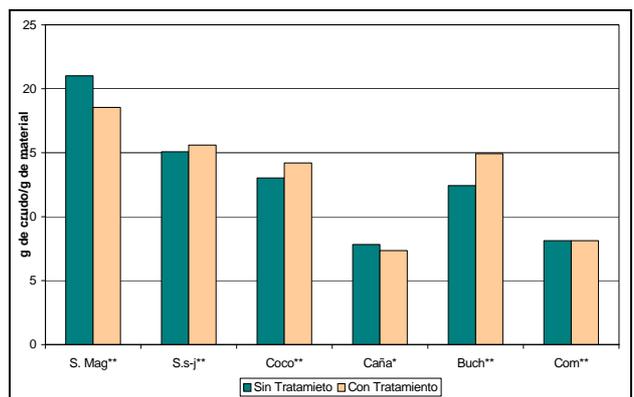
Gráfica 11. Capacidad de sorción de agua destilada por parte de los materiales con y sin tratamiento térmico



Gráfica 12. Capacidad de sorción de hidrocarburo liviano (35 °API) por parte de los materiales con y sin tratamiento térmico



Gráfica 13. Capacidad de sorción de hidrocarburo pesado (25 °API) por parte de los materiales con y sin tratamiento térmico



4 Conclusiones

- Se encontró que los materiales evaluados (buchón de agua y fibras de coco y caña) son efectivos, para ser usados como materiales sorbentes de hidrocarburos para mitigar y controlar derrames y escapes de combustibles líquidos, quienes mostraron capacidades de sorción iguales o superiores al material comercial evaluado.
- En general, los materiales sorben más eficientemente el hidrocarburo pesado (25 °API) y medio (30 °API) que el hidrocarburo liviano (35 °API),
- El buchón de agua presentó el mejor desempeño con el hidrocarburo liviano (35 °API), y la fibra de coco con el hidrocarburo medio (30 °API) y pesado (35 °API). Sin embargo todos los materiales celulósicos presentaron capacidades de sorción iguales o superiores al material comercial.
- Además de la sorción de hidrocarburo, otras características como la flotabilidad, flamabilidad y baja sorción de agua son importantes a la hora de seleccionar un material sorbente de hidrocarburos. Todos los materiales evaluados, pasaron la prueba de flotabilidad (y flamabilidad).
- El buchón de agua presentó una alta sorción de agua dulce y marina artificial, tanto en estado estático como dinámico, lo que lo limita para el uso exclusivamente en suelos. La fibra de coco se recomienda para uso en suelos y aguas tranquilas. Finalmente la fibra de caña es recomendada para suelos y aguas tranquilas y turbulentas.
- El comportamiento cinético de los materiales es similar entre sí, donde se presenta una etapa inicial de una muy rápida velocidad de sorción, disminuyendo esta hasta alcanzar la saturación.
- Mediante el tratamiento térmico de los materiales se logro mejorar la hidrofobicidad de la fibra de caña y el buchón de agua; la fibra de coco no presento cambios con este tratamiento.
- El tratamiento térmico no afecta negativamente la sorción de hidrocarburos, a excepción de la fibra de caña con hidrocarburo liviano (35°API), lo que hace de este tratamiento una buena alternativa para mejorar las propiedades de los materiales sorbentes.

5 Agradecimientos

A la División de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia por la financiación al proyecto "Estudio y desarrollo de materiales sorbentes de hidrocarburos para el control de derrames de combustibles" identificado con el número 2020000 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Unidad Administrativa especial del sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. P.N.N. Chingaza.

A la Bióloga Martha Valencia de Chaparro, profesora asociada al departamento de Biología de la Facultad de ciencias de Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

6 Bibliografía

1. ORIGEL-GUTIÉRREZ Gabriel, Vicente TORRES-RODRÍGUEZ. Mapa de amenaza de contaminación por derrames de hidrocarburos en una región tropical de México. Unidad de Geotermia, Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), A.P. 1-475, Cuernavaca, Mor., México.
2. ITOF. Estadísticas historias sobre derrames a nivel mundial.
3. ECOPETROL Los derrames de hidrocarburos y su manejo, un resumen. Asuntos Ambientales. Vicepresidencia de refinación y transporte, división técnica.. 1989.
4. ICP. "Los derrames de petróleo en ecosistemas tropicales". 2002.
5. ECOPETROL, Plan Nacional de Contingencia, Sistema nacional de equipos y expertos en control de derrames y escapes de hidrocarburos. Tomo I, Descripciones Básicas. 1996.
6. Engineering Our Future, Slickbusters: Substances, Surfaces and Separations, Unit 3, page 1-99.
7. FERRANTE Dan; Sorption Processes, Groudwater Pollution Primer, Civil Enginnering Dept, Virginia Tech.
8. LEE Beom-Goo, HAN James S., and ROWELL Roger M; Oil Sorption By Lignocellulosic Fibers;.; Capítulo 35, pag, 424-433

9. ARVANITIDIS Nikos; Northern greece's industrial minerals: production and environmental technology developments. *Journal of Geochemical exploration* 62 1998 217–227.
10. BETZ Michael A Simple Way to Eliminate Oils from Water. *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 7, Nos. 5–6, pp. 319–320, 2002
11. CASTRO CAYCEDO, José Fernando, Informe sobre impactos ambientales, económicos y sociales de la voladura de oleoductos en Colombia. 1997
12. DAVYDOVICH Vitaly; Method for Cleaning Surfaces Contaminated by Crude Oil or Petroleum Product Spills, Sorbant for Cleaning Surfaces and Method for Producing the Same. Ivanov,. Patente EP 956,751, Noviembre 17 de 1999.
13. EDWARD H. Owens; Response strategies for Spills on land. *Spill Science & Technology*. Vol 7, Nos 3 4, p.p. 115 –117. 2002
14. GHALAMBOR Ali; Composting technology for practical and safe remediation of oil spill residuals. University of Southwestern Louisiana. 1998.
15. HORST U. Oebius; Physical Properties and Processes that Influence the Clean Up of Oil Spills in the Marine Environment.. *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 5, No. 3/4, pp. 177 - 289
16. INAGAKI Michio Sorption and recovery of heavy oils using carbonized fir fibers and recycling,
17. McKAY Gordon; Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewaters. CRS Press. Department of chemical engineering. Hong Kong University of Science and technology. Kowloon, hong Kong.1996
18. NFESC; Evaluation of bio-based industrial. Products for navy and dod use. Usa absorbents., Technical Report. Naval Facilities Engineering Service Center . March 1999.
19. TEAS Ch., KALLIGEROS S., Zanikos F., Stoumas S., Lois E., ANASTOPOULOS G; Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spill clean up., *Spill Science &Technology Bulletin* Vol 8. Pg 259 – 264.