



## EVALUACION A ESCALA DE BANCO DE MATERIALES ABSORBENTES PARA RECOGIDA DE HIDROCARBUROS EN SUELOS

***Miguel Ángel Díaz Díaz; Lester Rivas Trasancos; Jessell Acosta Sanchez; Sandra Miller Palmer; Roberto Romero Silva; Danai Hernández Hernández; Cristina Laffita Rodriguez***

*Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), Churruca # 481, Cerro, La Habana, Cuba.  
[lester@ceinpet.cupet.cu](mailto:lester@ceinpet.cupet.cu), Telf. (537) 6487337, Fax. (537) 6426021.*

### RESUMEN

Las regulaciones ambientales mundiales recientes para el vertimiento de petróleo en suelos y aguas, han obligado a la aplicación de soluciones utilizando materiales sorbentes, las cuales son caras. Por este motivo, existe la tendencia a buscar materiales de fibras naturales, por su alta capacidad de absorción y biodegradabilidad. Este trabajo se ejecuta por el desconocimiento de la eficiencia de los materiales absorbentes para la recogida de hidrocarburos en suelos y su objetivo, evaluar a escala de banco la eficiencia de dos de estos materiales. Se realizaron pruebas en recipientes abiertos con 2 kg de suelo contaminado con 50000 ppm de crudo ligero. Se utilizaron dos materiales: Bagazo modificado experimento 1, suministrado por CUBA 9 (dosis 4, 10 y 20 g) y Biorize (material venezolano), suministrado por PDVSA – INTEVEP (dosis 4 g). Se preparó otro experimento con suelo contaminado a 75 000 ppm de crudo pesado, dosis de absorbente bagazo modificado (13 g) y BIORIZE (20 g). El material fue recogido después de 60 minutos de aplicación. Se determinó gravimétricamente la cantidad de crudo absorbido por el incremento del peso y el contenido de hidrocarburos totales (HCTP) remanente según APHA 5520.

Se determinó que la capacidad de sorción promedio obtenida para el bagazo modificado, es aceptable comparada con algunos de los productos comerciales conocidos, siendo la del Biorize muy inferior. Se recomienda evaluar en banco la aplicación de estos materiales para recogida de hidrocarburos en derrames en aguas y continuar el desarrollo de nuevos materiales basados en turba, zeolitas y Sphagnum.

### ABSTRACT

Recent global environmental regulations for the oil spill in soil and water, have forced the implementation of solutions using sorbent materials, which are expensive. For this reason, there is a tendency to search natural fiber materials because of its high absorbency and biodegradability. This work is performed by the lack of efficiency of the sorbents for the collection of hydrocarbons in soil and its target; evaluate in bench scale the efficiency of two of these materials. Tests were conducted in open containers with 2 kg of soil contaminated with 50,000 ppm of light crude. We used two materials: bagasse modified experiment 1, provided by CUBA 9 (dose 4, 10 and 20 g) and Biorize (material Venezuela) supplied by PDVSA - INTEVEP (dose 4 g). Another experiment was prepared with contaminated soil with 75 000 ppm of heavy oil, bagasse modified sorbent dose (13 g) and BIORIZE (20 g). The material was collected after 60 minutes of application. Gravimetrically determined quantity of oil absorbed by the increase of weight and total hydrocarbon content (HCTP) remaining under 5520 APHA. It was determined that the average sorption capacity obtained for the modified bagasse is acceptable compared with some known commercial products, being Biorize the lowest. Bench scale is recommended to evaluate the application of these materials for collection of oil spills in water and continue the development of new materials based on peat, Sphagnum and zeolites.



## INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo representa uno de los aspectos de alteración del medio ambiente debida en gran parte al hombre y no debe ser desestimado, pues la función del suelo no es sólo proveer directa o indirectamente la nutrición a miles de millones de personas que habitan en nuestro planeta, sino que también es un factor determinante de los equilibrios que implican a toda la biosfera (Vega de Kuyper, 2007).

La contaminación de los sistemas acuíferos y suelos ecológicamente sensibles con petróleo es un problema ambiental global muy importante. Se estima que más de 8 millones de toneladas métricas de petróleo se liberan anualmente al medio ambiente global por derrames, fugas, afloramientos naturales, producción costa afuera, transportación, aguas residuales industriales y escurrimientos urbanos (Allan, 2005).

Las regulaciones ambientales a nivel mundial en los últimos diez años han obligado a la aplicación de soluciones a estos vertidos los cuales de por sí son extremadamente caros. La combinación de los cambios regulatorios ambientales, unido a los esfuerzos por adquirir en el mercado sorbentes para la eliminación de derrames petroleros con menor costo / beneficio, y el interés renovado de la industria por reducir y/o eliminar los derrames ha generado un interés por las tecnologías de punta en el terreno de los sorbentes. Eficiencia, costo y conveniencia son los de mayor importancia. Por esta razón, en el mundo existe una tendencia actual, según su disponibilidad, de buscar materiales adsorbentes de fibras naturales como astillas de madera, cortezas de árboles, cáscaras de cocos, pajas de arroz entre otras; por su alta capacidad de adsorción y biodegradabilidad.

El producto desarrollado por CUBA 9 para la recogida y absorción de hidrocarburos (Armada et al., 2009), ha sido utilizado a pequeña escala. Es un material absorbente obtenido a partir de bagazo, para ser empleado en el tratamiento a derrames de hidrocarburos en cuerpos de agua y suelos y una vez utilizado, aprovecharlo en la agricultura como fertilizante orgánico después de acondicionar el mismo (composting) o directamente como combustible.

En estudios realizados en México (García-Torres, R. et al., 2011), la cachaza resultó ser una alternativa para ser utilizada en los procesos de remoción de contaminantes en suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo, con resultados semejantes a los alcanzados con el bagazo de caña de azúcar. La cachaza además de funcionar como enmendante, presenta la ventaja de aportar microorganismos al suelo con la capacidad de biotransformar los tóxicos, y aporta nutrientes en mayor concentración que los encontrados en bagazo de caña de azúcar, en especial fósforo.

La combinación de agentes acondicionantes, unidos a un agente transportador como la **turba de cuero** (©YouTube, LLC, 2008) acondicionado en granulometría y humedad, permite llevar el poder de absorber hidrocarburos y sus derivados a los sitios donde se necesite controlar derrames sobre suelo o agua y/o tratar medios contaminados con aceites, fuel de pesos moleculares moderados o medios, aceites de máquinas pesadas, aceites lubricantes pesados, etc. Este producto es oleofílico e hidrofóbico, liviano, de fácil transporte y almacenamiento. No inflamable. Una vez absorbido, el hidrocarburo no escurre ni es liberado nuevamente. Alta capacidad de absorción. Relación aproximada en peso 1:8 (absorbe aproximadamente 8 veces su peso).

**SEPIOL. S.A.** (2008) ha desarrollado un absorbente industrial de sepiolita mineral de alta pureza; un producto imprescindible en fábricas, talleres y áreas de trabajo en las que el derrame de líquidos pueda ocasionar accidentes, fermentaciones, deterioros y malos olores. Especialmente indicado para la absorción de hidrocarburos. En su forma calcinada con granulometría fina puede absorber hasta más de 120 g de aceite/ g de adsorbente.



La combinación de agentes condicionantes, unidos a un agente transportador permite llevar el poder de absorber hidrocarburos y sus derivados a los sitios donde se necesite controlar derrames y/o tratar medios contaminados con aceites, fuel de pesos moleculares moderados o medios, contaminación de hidrocarburos en el suelo, aceites de maquinas pesadas, aceite lubricante pesado, etc. El **OIL CAPTURE-1500** utiliza como agente transportador aserrín de cuero acondicionado en granulometría y humedad. Es un producto orgánico absorbente que no contiene químicos, liviano y de fácil almacenamiento, alta capacidad de absorción, oleofílico e hidrofóbico, no inflamable.

Un material absorbente de petróleo, totalmente biodegradable, ha sido patentado (Silva Tilak, 2002) y utilizado para la limpieza de derrames en suelos. El mismo consiste en partículas de cáscara de coco de ¼ -1 pulgada de tamaño en forma de gránulos que se dispersan sobre la superficie del derrame. Posteriormente se raspa, recoge y se trata para recuperar el petróleo y reutilizar el absorbente.

Una composición aplicable para absorber petróleo en la superficie del suelo ha sido desarrollada (Raible, 1991) a partir de una mezcla de partículas de fibra de madera (20-70% peso) y un derivado hidrófobo del algodón (80-30% peso).

Los derrames de petróleo en suelo pueden limpiarse mediante un proceso (Simmons, 1990) que aplica virutas de madera previamente secadas a menos de 30% peso de agua con aire, en horno o con calor.

**Biomatrix Gold** (BIOTECDES, 2008) es la planta llamada Sphagnum Peat Moss (turba), compuesta de rizoides. Contiene millones de células (barril celular) con un vaso capilar único. Es un producto muy versátil que hace posible su uso en vertidos industriales y derrames incontrolados en el suelo, agua y subsuelo. Durante un proceso calorífico se activa la turba revertiendo sus características normales convirtiéndose en Biomatrix Gold, que es extraordinariamente hidrófobo (no absorbe agua) y atractivo a los hidrocarburos y sus derivados. Análisis de Laboratorios independientes han demostrado que este producto no permite la lixiviación (dejar escapar) de los contaminantes una vez absorbidos. Una vez absorbido el contaminante, forma un manto vegetal en la superficie fácil de recoger y que no se hunde. El producto recupera suelos inservibles/contaminados, al encapsular los hidrocarburos y no permitir lixiviación, provoca la degradación de los contaminantes un 25% más rápido, convirtiéndolos en nutrientes.

Las características del *Sphagnum* que a nivel microscópico está compuesto por pequeñas celdas y al ser debidamente tratadas, permite un adecuado alojamiento para la supervivencia de las bacterias fijadoras del nitrógeno de las cepas del *Rhizobium*. Cabe destacar en relación a la investigación de absorción de hidrocarburos, las cualidades superlativas que ninguna otra materia orgánica, tampoco otra turba de cualquier otro origen, puede competir y es el de su capacidad de absorción de agua.

El *Sphagnum* es un musgo criollo que puede absorber 23 gramos de hidrocarburos en cuestión de segundos y está en camino de convertirse en una excelente alternativa para limpiar los derrames de petróleo que dejan en ríos y suelos las voladuras de oleoductos en Colombia (UNIMEDIOS, 2008). La sorprendente capacidad de absorción de esta capa vegetal y otras especies orgánicas, como la fibra de coco, fue comprobada por ingenieros químicos de la Universidad Nacional de Colombia (Ortiz et al., 2006). Mediante un tratamiento superficial en horno (secado controlado), carbonizaron esas estructuras y lograron cambiar las propiedades de la especie al convertirla en un material hidrófobo.

El término sorbente se utiliza para denominar materiales que trabajan con dos principios: absorción (permite que el material opere como esponja y recolecte el aceite por acción capilar) y adsorción (los materiales en los que prima este mecanismo dependen de una extensa área superficial y afinidad química del material adsorbente sobre el aceite derramado).



En Cuba aparece la especie *Sphagnum* palustre como la más abundante, localizada fundamentalmente en las reservas ecológicas de Pinar del Río y en Moa, la cual pudiera tener aplicación como material absorbente de hidrocarburos.

El objetivo de este estudio ha sido evaluar a escala de banco la aplicación de materiales absorbentes para recogida de hidrocarburos en suelos y análisis de factibilidad técnico - económica.

### **Problema Científico:**

La eficiencia de los materiales absorbentes para la recogida de hidrocarburos en suelos.

### **Objetivo General:**

Evaluar a escala de banco la eficiencia de los materiales absorbentes para la recogida de hidrocarburos en suelos.

### **Objetivos Específicos:**

1. Evaluar los materiales absorbentes (Bagazo modificado CUBA 9 y Biorize material absorbente INTEVEP - PDVSA)
2. Determinar gravimétricamente la cantidad de crudo absorbido por cada material para distintas dosis y tipo de crudo.
3. Determinar el contenido de hidrocarburos totales (HCTP) remanente según método APHA 5520.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la evaluación de materiales absorbentes para la recogida de hidrocarburos se realizaron pruebas a escala de banco en recipientes abiertos de 12 cm de altura y 40 cm de diámetro, donde se colocó 2 kg de suelo limpio de jardín esparcido, el cual fue contaminado con una cantidad de crudo para la aplicación posterior del absorbente. Las pruebas se realizaron con crudos ligero y pesado, en los cuales fueron ensayados dos materiales absorbentes:

- ✓ Bagazo modificado experimento 1
- ✓ Biorize

El material absorbente bagazo modificado fue suministrado por CUBA 9 y el Biorize (material absorbente venezolano) fue suministrado por PDVSA - INTEVEP.

Se preparó un suelo contaminado con 50 000 ppm de crudo ligero, donde se probaron 3 dosis del absorbente bagazo modificado (4, 10 y 20 g) después de 60 minutos de haber simulado el derrame. El volumen de suelo impactado fue de 425, 470 y 520 cm<sup>3</sup>, respectivamente. Se realizó una corrida con una dosis de 4 g de Biorize, donde el volumen de suelo impactado fue de 425 cm<sup>3</sup>.

Se preparó un suelo contaminado con unos 75 000 ppm de crudo pesado, donde se probaron dosis de absorbente de bagazo modificado (13 g) y de BIORAIS (20 g) después de 60 minutos de haber simulado el derrame. El volumen de suelo impactado fue de 425 y 736 cm<sup>3</sup> para el bagazo modificado, 340 y 623 cm<sup>3</sup> para el Biorize.

El material absorbente se dispersó de forma manual sobre el área impactada, fue recogido después de un tiempo 60 minutos de su aplicación y se determinó gravimétricamente la cantidad de crudo absorbido por el incremento del peso.



El suelo tratado se homogenizó y se tomaron muestras para determinar el contenido de hidrocarburos totales (HCTP) remanente según método APHA 5520.

Se realizó una visita a áreas de interés científico de la provincia Pinar del Río con vistas a la búsqueda de *Sphagnum palustre* para elaborar material absorbente de hidrocarburos, pero no se pudo recolectar las muestras dado que no se encontró la especie en los lugares recomendados por el Jardín Botánico Nacional. Esta especie ha sido afectada por la sequía en la zona, dado que las precipitaciones es la mayor fuente de nutrientes para esta especie, según refiere la literatura consultada, y se pudo constatar el significativo descenso de los niveles de agua en las lagunas visitadas.

### Diseño de un experimento superficie de respuesta (compósito central)

Se elaboró un diseño de experimentos de compósito central con 3 factores de diseño. Para esto se utilizaron los programas **Design Expert 5**, versión 5.0.7 de Stat – Ease Corporation (1997) y **STATISTICA** versión 8.0 de Stat Soft (2008). Los factores de diseño seleccionados fueron: concentración inicial de HCTP, dosis aplicada de absorbente y tipo de absorbente.

#### Resumen del diseño

Tipo de estudio: Superficie Respuesta  
Diseño Inicial: Compósito central  
Modelo de diseño: Cuadrático

Experimentos: 10  
Bloques: sin bloques

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para el material absorbente bagazo modificado, se aprecia en la tabla 1 que los resultados obtenidos en la aplicación sobre suelo contaminado con crudo ligero (pruebas 1-3) resultaron inferiores a los alcanzados por otros autores con materiales similares. La mayor absorción se logró en la aplicación donde apareció menor volumen de suelo impactado.

Tabla I. Resultados obtenidos para suelo contaminado con crudo ligero.

Prueba	Volumen de suelo impactado (cm <sup>3</sup> )	HCTP después de tratamiento (mg/kg suelo)	Cantidad de HC removida (g)	Absorción g HC/g absorbente
1	425	40220	21.54	5.39
2	470	44250	13.48	1.35
3	520	42930	16.12	0.81
4	425	41800	18.38	4.60
Blanco		990		

El material absorbente bagazo modificado (prueba 1) fue superior al BIORIZE (prueba 4) en la aplicación sobre igual dosis de absorbente y volumen de suelo impactado contaminado con crudo ligero.

Para el material absorbente bagazo modificado (pruebas 1 y 2), se aprecia en la tabla 2 que los resultados obtenidos en la aplicación sobre suelo contaminado con crudo pesado resultaron superiores a los alcanzados por otros autores con turba de cuero como material absorbente, aunque bastante inferiores a los reportados para el absorbente hidrófobo obtenido a partir de *Sphagnum*. Con



relación al BIORIZE (pruebas 3 y 4), el material absorbente bagazo modificado mostró una absorción dos veces superior aplicado sobre suelo contaminado con crudo pesado.



Tabla II. Resultados obtenidos para suelo contaminado con crudo pesado.

Prueba	Volumen de suelo impactado (cm <sup>3</sup> )	HCTP después de tratamiento (mg/kg suelo)	Cantidad de HC removida (g)	Absorción g HC/g absorbente
1	425	10470	128.66	9.86
2	736	14240	121.12	9.32
3	340	27870	93.86	4.69
4	623	23360	102.88	5.14
Blanco		180		

Los materiales sorbentes trabajan mediante dos principios: la adsorción, donde las moléculas de hidrocarburos se adhieren a la superficie, y la absorción, que permite acumular y retener hidrocarburos en los espacios capilares característicos de las estructuras de los materiales. Se debe tener en cuenta que en la sorción de hidrocarburos ligeros (35<sup>o</sup> API), el fenómeno predominante es la absorción, mientras que en la sorción de hidrocarburos medios (30<sup>o</sup> API) se presentan dos fenómenos: la absorción y la adsorción, por lo que la capacidad de sorción para este tipo de hidrocarburo es mayor que la sorción de un hidrocarburo ligero.

En la sorción de hidrocarburos pesados (25<sup>o</sup> API), el fenómeno predominante es la adsorción, debido a que la viscosidad del hidrocarburo facilita el taponamiento de las estructuras de entrada a los espacios capilares, lo que impide que ocurra la absorción de forma significativa (Ortiz G. *et al.*, 2006). 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, debido a que la cera y el hidrocarburo son químicamente similares, además de adherirse por la superficie irregular que presenta el material. De la misma forma, la sorción dentro de la fibra ocurre por difusión a través de un movimiento capilar interno.

En la figura 1 se aprecia los resultados dosis – respuesta de absorbente para el bagazo modificado ensayado y se aprecia que el máximo se obtuvo con la menor cantidad de absorbente aplicada, así como que no se obtuvo una absorción significativa con el incremento de las dosis.

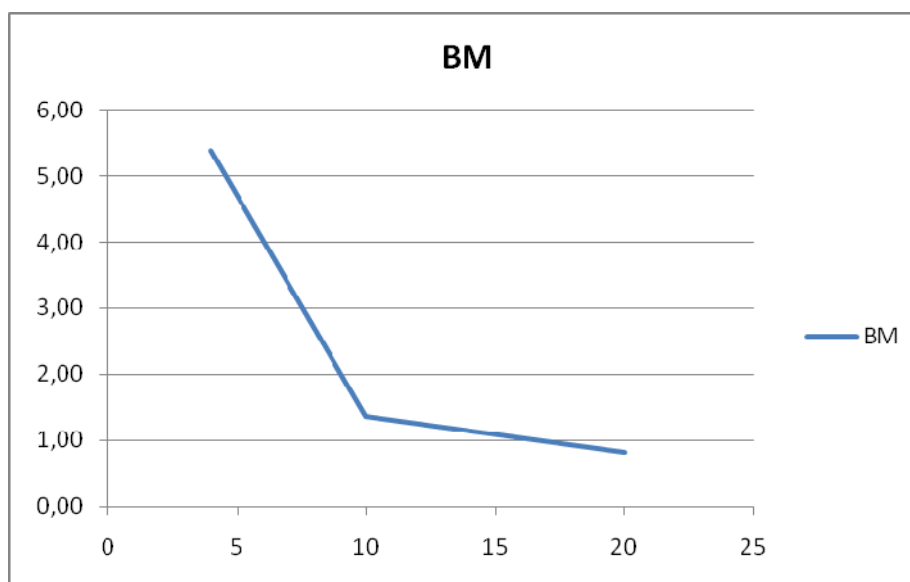


Figura 1. Dosis – respuesta de absorbente bagazo modificado.



## Análisis del experimento compuesto central (superficie de respuesta)

### Resumen del diseño

<b>Tipo de estudio</b>	Superficie Respuesta	<b>Experimentos</b>	10
<b>Diseño Inicial</b>	Compósito central	<b>Bloques</b>	sin bloques
<b>Modelo de diseño</b>	Cuadrático		

Respuesta	Nombre	Unidades	Obs	Mínimo	Máximo	Modelo
Y1	Absorción	g HC/g absorb	10	0.81	9.86	Cuadrático

Factor	Nombre	Unidades	Tipo	Bajo Real	Alto Real
A	Absorbente		Numérico	-1.00	1.00
B	conc.	ppm	Numérico	50000	75000
C	dosis	g	Numérico	4	20

### Evaluación de Matriz de Diseño para el Modelo Lineal Superficie Respuesta

#### Grados de libertad para la Evaluación

Modelo	3
Residuales	6
Ajuste	6
Error Puro	0
Corr Total	9

Tabla III. Matriz de Correlación de Coeficientes de Regresión

	A	B	C
A	1.000		
B	0.000	1.000	
C	0.000	-0.414	1.000

Tabla IV. Matriz de Correlación de Factores [r de Pearson]

	A	B	C
A	1.000		
B	0.000	1.000	
C	0.000	0.414	1.000

La matriz de correlación de factores nos muestra una relación de interés para las interacciones de la dosis de absorbente con la concentración inicial de HCTP en el suelo contaminado.

### Evaluación de Matriz de Diseño para el Modelo Cuadrático Superficie Respuesta

#### Grados de libertad para la Evaluación

Modelo	7
Residuales	2
Ajuste	2
Error Puro	0
Corr Total	9





**Predicción Varianza Máxima = 0.909**

**Predicción Varianza Promedio = 0.800**

**Eficiencia G = 88.0 %**

**Criterio de escalado D-óptimo = 0.916**

Tabla V. Matriz de Correlacion de Coeficientes de Regresion

	Intercepto	A	B	C	C <sup>2</sup>	AB	AC	BC
Intercepto	1.000							
A	0.000	1.000						
B	0.716	0.000	1.000					
C	-0.550	0.000	-0.836	1.000				
C <sup>2</sup>	0.233	0.000	0.669	-0.911	1.000			
AB	0.000	0.417	0.000	0.000	0.000	1.000		
AC	0.000	-0.690	0.000	0.000	0.000	-0.414	1.000	
BC	-0.709	0.000	-0.907	0.785	-0.618	0.000	0.000	1.000

Tabla VI. Matriz de Correlacion de Factores [r de Pearson]

	A	B	C	C <sup>2</sup>	AB	AC	BC
A	1.000						
B	0.000	1.000					
C	0.000	0.414	1.000				
C <sup>2</sup>	0.000	0.208	0.865	1.000			
AB	-0.200	0.000	0.000	0.000	1.000		
AC	0.625	0.000	0.000	0.000	0.191	1.000	
BC	0.000	0.690	-0.166	-0.126	0.000	0.000	1.000

### Análisis de la sorción

Ecuación final para el modelo lineal en términos de factores reales:

$$\text{Absorción} = - 4.74 + 1.599E-04 * \text{conc.}$$

Ecuación final para el modelo cuadrático en términos de factores reales:

$$\text{Absorción} = - 4.74 - 6.89 * \text{Absorbente} + 1.599E-04 * \text{conc.} + 1.230E-04 * \text{Absorbente} * \text{conc.}$$

Con relación a la sorción de hidrocarburos, se aprecia en el modelo lineal obtenido que es favorecida con el incremento de la concentración inicial de HCTP como factor fundamental. De forma similar se comporta en el modelo cuadrático, donde se refleja además un efecto incrementado por el tipo de absorbente. En las tablas 7 – 10 (ver anexos) se dan los resultados completos de la evaluación de la matriz de diseño y el análisis de varianza (ANOVA) para los modelos lineal y cuadrático de superficie respuesta.



## Soluciones numéricas de Optimización

Como se aprecia, se encontró una solución numérica en la cual ninguno de los tres factores individualmente tiene efecto sobre los resultados de optimización.

Soluciones	Absorbente*	conc.*	dosis*	Deseada
1	1.00	75000	9.41	0.970

\* no tienen efecto sobre los resultados de la optimización.

## Predicción de puntos

Factor	Nombre	Nivel	Nivel bajo	Nivel alto
A	Absorbente	0.00	-1.00	1.00
B	conc.	60000	50000	75000
C	dosis	13.40	4	20

	Predicción	95% CI bajo	95% CI alto	95% PI bajo	95% PI alto
Absorción	4.85	3.60	6.11	0.68	9.02

Para la sorción de hidrocarburos, con una dosis de absorbente de 13.40 g y una concentración inicial de HCTP en el suelo contaminado de 60000 mg/kg se puede alcanzar hasta una capacidad de sorción de 4.85 g HC/g absorbente cuando se utiliza el bagazo modificado, que fue el material de mejores resultados.

Desde el punto de vista económico, no se cuenta con suficiente información para establecer las variantes más factibles de aplicación en el país, aunque la tendencia mundial es emplear materiales de rápida y fácil aplicación, fundamentalmente materiales adsorbentes obtenidos de fibras naturales, por su alta capacidad de adsorción y biodegradabilidad, que logran elevada eficiencia de remoción de hidrocarburos y permiten su recuperación.

## CONCLUSIONES

1. Se han obtenido las capacidades de sorción para dos materiales absorbentes (uno de ellos cubano), lo cual permite su posible aplicación en un derrame de petróleo en suelos.
2. Los mejores resultados se han obtenido con el material absorbente bagazo modificado.
3. La capacidad de sorción promedio obtenida para el material bagazo modificado se considera aceptable comparado con algunos de los productos comerciales conocidos.
4. La capacidad de sorción promedio obtenida para el Biorize resultó muy inferior a la obtenida con bagazo modificado.

## RECOMENDACIONES

- Evaluar a escala de banco la aplicación de materiales absorbentes para recogida de hidrocarburos en derrames en aguas.
- Continuar el desarrollo de nuevos materiales basados en turba, zeolitas y *Sphagnum*.
- Revisar y/o implementar programas de prevención de la contaminación en la industria petrolera enfocados a reducir los riesgos de derrames de petróleo y sus derivados para evitar la contaminación de las aguas y suelos.



## BIBLIOGRAFÍA

- Allan, K. A. Environmental Geochemistry. Master Sci. degree Thesis. Texas A & M Univ. 2005.
- Armada, A., E. Barquinero, C. Menéndez, M. Díaz, E. Capote y J. Díaz. Procedimiento de obtención de un material adsorbente, biodegradable para el tratamiento a residuos y derrames de petróleo y el producto obtenido. Patente 23392 (Solicitud 2007-0125). ONIITEM. 2009.
- ASTM. F 726-99. Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents. 2001.
- ASTM. D 5831-96 (Reapproved 2001). Standard Test Method for Screening Fuels in Soils. 2001.
- BIOTECDES. Biomatrix Gold, una solución 100% natural, biodegradable. Madrid, 2008.
- García-Torres, R. et al. Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. Rev. Int. Contaminación. Ambiental 27(1): 31-39, 2011.
- Oil Capture 1500. © YouTube, LLC. 2008.
- Ortiz, D. P., F. Andrade, G. Rodríguez, L. C. Montenegro. Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. Ingeniería e Investigación. vol. 26 no. 2, May/Aug. 2006.
- Raible, R.L. US 4925343. B01J20/24. 1991.
- SEPIOLSA. Absorbente industrial de máximo rendimiento. España, 2008.
- Silva Tilak, V. US 6391120. B08B3/02. USA, 2002.
- Simmons, J.J.. US 4959154. C02F1/68C. 1990.
- UNIMEDIOS. Planta antiterrorista. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.unal.edu.co/>. 2008.
- Vega de Kuyper, J. C. Química del Medio Ambiente. 2ª Edición, Alfaomega SA, México, 2007.