
Capacidad de retención de hidrocarburos empleando subproductos industriales

C. Lezama-Cervantes^{1,2*}, A. Tintos-Gómez¹, M. Patiño-Barragán³, G. Hernández-Zárate⁴, J.C. Chávez-Comparan¹, C. O. Pinzón-Guerrero¹, C. Gómez-Clavijo¹ y J. E. Zamora-Castro⁵.

¹Facultad de Ciencias Marinas - Universidad de Colima. Km. 20carr. Manzanillo-B. de Navidad. Manzanillo, Col. C. P. 28860. México.

²Colegio Julieta Fierro. Privada Limón 2B 54. B III. Valle de las Garzas. Manzanillo, Col. C. P. 28219. México.

³Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas. Universidad de Colima. Manzanillo, Col. México.

⁴Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos. Instituto Tecnológico de Boca del Río Veracruz. México.

⁵Departamento de Ciencias Básicas e Ingenierías. Universidad del Caribe. Cancún. Q. Roo. México.

Oil retention capacity of industrial by-products

Abstract

Crude oil derivatives have been responsible to relevant damage to environmental and public health. Recently, biotechnology has been explored the use of new materials that offer environmentally friendly technologies as a sustainable strategy that will enhance the conditions to mitigate contaminated sites. This study was performed to evaluate the potential useful of the natural sorbents for diesel fuel, motor oil SAE 20W-50, and cooking oil removal from water. Six types of sorbents were investigated: Palm sawdust, pine sawdust, banana extrude were tested as cellulosic type of sorbents; human hair, canine hair and chicken feathers were tested as chitinous sorbents. A statistical analysis ($p < 0.05$) showed that Pine and canine hair sorbents have the highest index sorption regarding to by-products sorbents. The overall assessment showed that chitinous sorbents present a superior sorption capacity than cellulosic materials. Both chitinous and cellulosic sorbents showed the best sorption efficiency ($p \leq 0.05$) to motor oil, followed to cooking oil. The diesel fuel was the hydrocarbon that showed the lowest sorption potential (5.33, 4.02, and 3.39, respectively). A significant difference was observed ($p \leq 0.05$) at the slurry index, followed the next order: pine dust \leq chicken feathers \leq Moss \leq canine hair. On other hand, some by-products showed medium index sorption, however these always have a good retention levels. The results suggest that the use of by-products tested area feasible technology of low-cost, and environmentally safe to remediation of contaminated sites by oil derivatives.

Key words hydrocarbons, spills, spill cleanup.

Resumen

El petróleo y sus derivados pueden ocasionar daños al ambiente y a la salud pública. Para mitigar y restablecer estos ambientes, el hombre con la tecnología actual ha buscado materiales amigables con el ambiente. Por ello, este estudio evalúa el uso de materiales naturales para recuperar del agua; diesel, aceite de motor y aceite de girasol. Los materiales investigados son subproductos industriales como: aserrín de palma, aserrín de pino y extrusado de plátano como sorbentes de tipo celulósico y cabello humano, plumas de pollo y pelo canino como sorbentes quitinosos. El análisis estadístico de los resultados ($p \leq 0.05$) mostró que el aserrín de pino y el cabello humano presentaron los índices de sorción más altos de los subproductos propuestos. En general se observó que los derivados de origen quitinoso presentaron una mayor capacidad de retención que los materiales celulósicos. Ambos materiales mostraron un índice de retención significativamente mayor ($p \leq 0.05$) con relación al aceite de motor, seguido por el aceite de girasol, en contraste el diesel presentó el menor potencial de retención (5.33; 4.02 y 3.39, respectivamente). Los

*Autores de correspondencia

Email: clezama@ucol.mx, Tel-Fax. 3143311205 ext. 53223

materiales evaluados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el porcentaje de escurrimiento, siguiendo el orden: aserrín de pino \leq plumas de pollo \leq musgo \leq pelo canino. Algunos materiales a pesar de presentar un índice de retención intermedio, poseen una alta capacidad para evitar el escurrimiento del combustible. Los resultados sugieren que estos productos residuales representan una tecnología económica y segura para la biorremediación de sitios contaminados por hidrocarburos.

Palabras clave: derrames de petróleo, limpieza de derrames, recuperación de petróleo.

Introducción

A nivel mundial la actividad petrolera ha simbolizado prosperidad y oportunidad, pero también representa contaminación, debido a derrames tanto accidentales como imprudenciales. Las áreas de mayor afectación frecuentemente son las más susceptibles de la biosfera; ríos (superficiales y subterráneos), lagos, lagunas, mares y muy particularmente los humedales (Lushnikov *et al.*, 2006). La industria petrolera afecta a estos ecosistemas desde la fase exploratoria y persiste a lo largo de todo el proceso productivo. También se impactan zonas agrícolas y habitacionales, lo que incide en la salud humana. Para mitigar una contingencia por derrame de hidrocarburos, el tiempo de reacción para contener y recuperar el material es el factor cardinal. En el ámbito terrestre en México (como en otros países), la respuesta operativa es rápida pero de acuerdo a Prince *et al.* (2003) el éxito de esta etapa depende también de la disponibilidad de materiales absorbentes y del equipo de recuperación, y a pesar de esto, la situación puede descontrolarse en derrames de magnitud considerable (IOSC, 2008).

Los materiales empleados para la sorción de hidrocarburos son usualmente derivados orgánicos inertes como poliéster, poliestireno, polipropileno, rayón y nylon (Choi y Moreau, 1993), materiales que por su persistencia pueden representar un problema ambiental mayor (Zetterberg *et al.*, 1999; Khan *et al.*, 2004) que el mismo hidrocarburo. La mayoría de los materiales sorbentes a nivel industrial son productos de alto valor comercial, lo que limita su uso. En el presente trabajo se analiza la capacidad de retención de diversos sub-productos de bajo valor agregado, abundantes en la región de Colima (México) tales como el vástago de plátano y el aserrín de palma entre otros, comparando su efectividad con la espuma de poliéster (dacron) y musgo del género *Sphagnum* utilizados como controles. Subproductos de la caña de azúcar, coco

y lirio acuático han sido probados exitosamente para remediar suelos y recuperar hidrocarburos del suelo (Ortiz *et al.*, 2006 y García-Torres *et al.*, 2011). El análisis de retención de los materiales propuestos fue desarrollado a partir de protocolos aplicados al proceso de sorción de hidrocarburos con modificaciones para probar su efectividad sobre compuestos del petróleo y aceite vegetal.

Materiales y método

Derivados agroindustriales evaluados.

Se probaron seis subproductos industriales con elevada disponibilidad en los municipios de Colima, Tecmán y Manzanillo (Colima, México), tres de ellos de origen celulósico: aserrín de pino (*Pinus sp.*) nombrado como Pin, aserrín de palma (*Cocos nucifera*) etiquetado como Palm, extrusado de vástago de plátano (*Musa paradisiaca*) llamado Ban, y tres de origen quitinoso; cabello humano (Hhair), pluma de pollo (Feath) y pelo canino (DogH). Como controles se utilizaron la espuma de poliéster (dacron; * TM Dupont) llamado Dac y el musgo del género *Sphagnum* (*TM Simple Green) denominado como Moss. Estos últimos son industrialmente usados en la recuperación de hidrocarburos (Khan *et al.*, 2004; Ortiz *et al.*, 2006; Ibarra *et al.*, 2010).

Hidrocarburos seleccionados

Para la prueba de sorción se utilizaron dos compuestos derivados del petróleo; diesel (gasoil o gasóleo), nombrado como Die y aceite de motor multigrado (clasificado como SAE 20W-50) denominado para este trabajo como MotO, ambos manufacturados por Petróleos Mexicanos (PEMEX), así como también aceite para cocinar nuevo (aceite de girasol), nombrado como Sunf.

Caracterización de los insumos.

Los materiales propuestos fueron colectados en las zonas industriales donde se produjeron entre los

meses de marzo y octubre de 2008. Se colocaron en bolsas herméticas y fueron transportadas vía terrestre al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Marinas UCOL (Manzanillo, Col., México). Con el propósito de eliminar la humedad, los materiales fueron tratados a 60 °C por 24 horas y posteriormente fueron caracterizados en base a la:

- 1) flotabilidad, en una mezcla de aceite de motor: diesel: aceite de girasol (1:1:1);
- 2) flamabilidad (prueba ASTM-D1230 -para materiales textiles);
- 3) densidad (método gravimétrico-volumétrico);
- 4) clasificación granulométrica y
- 5) la disponibilidad, basada en la accesibilidad del recurso, capacidad de almacenaje en el sitio de producción y el costo asociado hasta su traslado al laboratorio.

Los combustibles seleccionados (distribuidos por PEMEX) fueron analizados *in vitro* para determinar su densidad, mientras que la viscosidad y punto de combustión fueron extraídas de fichas técnicas (Die; HDSS PR-323 y MotO; API SM).

Fase experimental.

La prueba de retención se basó en los protocolos ASTM F-726 y CAN/CSGB-183.2-4, que estiman la capacidad de sorción de los materiales a granel en un tiempo de 1 y 15 min. Como una modificación al método, los materiales de prueba se colocaron en el interior de una bolsa (almohada) elaborada de organza (textil sintético de poliéster/nylon, malla 140 ó 0.104 mm) a doble capa, de 15 cm de largo y 2 cm de diámetro, se pesaron vacíos y llenos de cada uno de los sorbentes a una precisión de 0.001 g. Se planteó que el peso del relleno no presentara una variación máxima de 0.5 g entre almohadillas del mismo material y que entre todos los materiales el peso del relleno oscilara alrededor de 8.0 ± 1.5 g. Para probar la capacidad de retención de las almohadillas, los combustibles fueron vertidos en contenedores rectangulares de 3.8 litros de capacidad, formando una capa de 4.5 ± 0.2 cm, sobre la cual se introdujeron las almohadillas por cuadruplicado ($n = 4$), dejándolas flotar sobre el combustible por 15.0 ± 0.3 min. Transcurrido este tiempo, las almohadillas fueron extraídas, puestas a escurrir por 15 segundos, se colocaron sobre papel aluminio (pre-pesado) y nuevamente fueron pesadas.

La capacidad de retención se estimó a partir de la siguiente ecuación: $CR = (pi - ps) / ps$, donde CR; es la capacidad de retención (g combustible/g sorbente), pi; peso del sorbente impregnado de

combustible (g) a 1 ó 15 min y ps; el peso del sorbente seco (g).

Adicionalmente, todas las almohadillas fueron dejadas en reposo durante un periodo de 15 min, al término del cual nuevamente fueron pesadas. La diferencia gravimétrica refiere la pérdida por escurrimiento del sorbente que es expresada con la ecuación: $E = (pi - piH) / pi \times 100$, donde E; es el escurrimiento (%), pi; peso del sorbente impregnado de combustible (g) a 1 ó 15 min y piH; peso del sorbente (g) con combustible remanente al término de 15 min.

Análisis estadístico.

Para explorar la capacidad de retención de los materiales, se diseñó una matriz con 3 combustibles, 8 sorbetes, de 4 repeticiones y una vez que los datos acreditasen homogeneidad de varianza y normalidad o una transformación estándar (Zar, 1984), se analizó la variabilidad del índice de sorción de los subproductos mediante una ANDEVA uni-factorial (Yamane, 1999) y para análisis *a posteriori* se aplicó el discriminante múltiple de Student-Newman-Keuls. La capacidad de retención a diversos tiempos y entre los dos protocolos explorados, se ponderó a través del coeficiente de correlación (r) (Yamane, 1999; Miller and Miller, 2002). Estos análisis se realizaron con una confianza del 95% ($\alpha = 0.05$), usando el software Statistical 5.5 (StatSoft, Inc. OK, USA.).

Resultados y discusión

Materiales probados como sorbentes.

Las propiedades físicas de los sorbentes se reportan en la Tabla 1. Todos los materiales probados mostraron una flotabilidad superior al 92.8% en la mezcla de aceite de motor: diesel: aceite de girasol (1:1:1), lo cual sugiere la posibilidad de una aplicación aceptable en contingencias por hidrocarburos que acontecieran en aguas abiertas, de ocurrencia común (SAIC, 2003).

Ninguno de los subproductos celulósicos probados resultaron flamables, en contraste a los derivados quitinosos y espuma de poliéster (Tabla 1), cuya flamabilidad resultó significativamente más alta ($p \leq 0.05$). Sin embargo, la mayor velocidad de ignición fue registrada con el dacron (Dac). Esto revela un menor potencial ignífugo de las fibras vegetales propuestas, a diferencia de los materiales de naturaleza antropogénica empleados para este

Tabla 1. Características de subproductos industriales probados para retener hidrocarburos.

Material evaluado	Característica			
	Flamabilidad*	Malla‡	Densidad (g cm ⁻³)	Disponibilidad
Celulósicos				
Aserrín de palma (Palm)	No	-18/+70	0.125	Muy alta
Aserrín de Pino (Pin)	No	-18/+70	0.139	Alta
Extrusado de vástago (Ban)	No	-18/+70	0.095	Muy alta
Quitinosos				
Cabello humano (Hhair)	Si	-	0.126	Media/ Baja
Cabello Canino (DogH)	Si	-	0.118	Media/ Baja
Plumas de pollo (Feath).	Si	-	0.158	Baja
Controles				
Polyester -Dacron (Dac)	Si	-	0.089	Alta
Musgo - <i>Sphagnum</i> (Moss)	No	-18/+70	0.131	Baja/ Muy baja
Cubierta (almohadillas)				
Poliéster	Si	-	-	Alta

*Prueba estándar para materiales textiles.

‡Pasa la malla 18 (1.0 cm) pero se retiene en la 70 (0.211 cm).

propósito (Choi y Moreau, 1993; Khan *et al.*, 2004).

Los materiales sorbentes vegetales fueron seleccionados para pasar por una malla de 1.0 cm y ser retenidos en una malla de 0.21 cm (-18/+70), este proceso permitió homogenizar el área y volumen de contacto físico de cada material con los combustibles. Los materiales quitinosos así como del poliéster -por sus características físicas- fueron probados en su estado natural.

La densidad de todos los materiales probados osciló entre 0.089 y 0.158 g cm⁻³ (Tabla 1), estos valores fueron consistentes registrando una variación máxima en las plumas de pollo con una variabilidad del 26.1% en peso, dispersión inevitable debida al tamaño heterogéneo de las plumas.

La disponibilidad de los materiales resultó variable (Tabla 1), desde muy alta para los subproductos celulósicos; Palm y Pin, intermedia para los quitinosos; Hhair y DogH, a baja con Feath y muy baja con el control musgo. La totalidad de los derivados vegetales resultaron con una excelente disponibilidad a nivel regional (Colima, México), en contraparte la baja o muy baja disponibilidad de los materiales quitinosos fue la limitada capacidad o posibilidad de almacenar los subproductos. Muchos de los sorbetes comerciales utilizados en la sorción de hidrocarburos tienen un costo elevado (3M, SlickBar; Choi y Moreau, 1993; Khan *et al.*, 2004) asociado a desarrollos tecnológicos patentados, o

tienen otras aplicaciones por lo cual su valor agregado es mayor, como en el caso del *Sphagnum* que es muy utilizado en hidroponía (Hebert y Hebert, 2008; Ibarra *et al.*, 2010). Esto sugiere la factibilidad de industrializar algunos subproductos agroindustriales de bajo costo que permitan hacer frente a las contingencias que se presentan de manera cotidiana en regiones portuarias, donde se trasiegan y transportan hidrocarburos (Anónimo, 2009a; Anónimo 2009b).

Combustibles de prueba.

Los combustibles a partir de los cuales se evaluó la capacidad de retención presentan una densidad (Tabla 2) que es equiparable a hidrocarburos ligeros y medianos (SAIC, 2003), también los valores de la viscosidad corresponden a esta clasificación. Estas variables, así como la temperatura de combustión, son similares a los hidrocarburos que se transportan vía terrestre y marítima tanto en México como en otras naciones y son un buen ejemplo del nivel de riesgo ígneo que representan estos hidrocarburos.

Fase experimental.

La capacidad de retención en los materiales probados revela una tendencia general para recuperar combustibles tanto para 1 min como a 15 min y debido a que el protocolo (ASTM F-726) establece una condición estática, es común observar en periodos de 1 min valores de retención menores

Tabla 2. Parámetros específicos de los combustibles utilizados en la prueba de retención.

Combustible	Característica		
	Densidad* (g·cm ⁻³)	Viscosidad (cP)	Punto de Combustión (°C)
Derivados fósiles			
Diesel (Die)	0.843	3-4	96
Aceite de motor (AAut)	0.927	195-210	>294
Aceite Vegetal			
Aceite de cocina (Sunf)	0.912	165-175	>271

*Evaluada a 25°C.

que, a 5 min, lo cual indica un estado de sub-saturación de los subproductos, esto es particularmente notable con el aceite de motor (AAut) y girasol (Sunf), en los cuales los subproductos Pin, DogH, Feath y Moss permanecen parcialmente saturados a 1 min, pero aumentan significativamente su capacidad de retención a 15 min en más del 27.8% ($p \leq 0.05$). Esto coincide con SAIC (2003) al probar la sorción a 1 y 15 min con combustibles densos (3, 290 y 2050 cP), pero difiere de forma parcial con Ortiz *et al.*, (2006) quienes señalan que materiales como fibra de caña, de coco y de lirio, se saturan en menos de 1 min. Lo anterior sugiere que algunos derivados vegetales pueden saturarse en poco tiempo (por su estructura y red filamentosa), sin embargo, el aserrín de pino (Pin) y el musgo (Moss) así como los subproductos de origen quitinoso (DogH, Feath y Hhair) requieren más tiempo. Por esta razón y para tener la certeza de medir una retención total en todos los materiales probados, se decidió analizar solamente los índices de retención a un tiempo de 15 min y desarrollar el protocolo estadístico para este periodo de tiempo (Tabla 3).

Los índices de retención de los materiales probados se muestran en la Tabla 3. En promedio los subproductos celulósicos y quitinosos registran valores más altos de retención en el aceite de motor (MotO), seguido por el aceite de girasol (Sunf) y finalmente por el diesel (Die) (respectivamente 5.33, 4.02 y 3.39 g combustible/g de material), sin embargo solo los derivados quitinosos muestran valores estadísticamente altos en MotO ($p \leq 0.05$, Tabla 3), mientras que en Die y Sunf, la retención de todos los subproductos probados fue similar. Esto sugiere que sustratos vegetales presentan una mayor retención de hidrocarburos pesados como el MotO que con los ligeros como Die. Esta observación es concordante con Teas *et al.*, (2001),

Bayat *et al.*, (2005) y Ortiz *et al.*, (2006).

Los bajos valores de retención de los subproductos vegetales registrados en este ensayo también se explican por su naturaleza hidrofílica o polar, la cual le impide saturarse de los combustibles probados, cuya específica conformación no polar (Beom-Goo *et al.*, 1999) conduce a obtener valores de sorción exigüos.

Lo contrario ocurre con los derivados quitinosos, que presentan una conformación de naturaleza similar a los combustibles, y registran una capacidad de sorción promedio más alta que los vegetales, como ocurre con el MotO, con valores de 6.05 g combustible/g de material, significativo a todos los materiales probados ($p \leq 0.05$). A pesar de lo anterior, el aserrín de pino muestra una retención consistente y estadísticamente superior en los combustibles Die y Sunf (4.56 y 7.72 respectivamente; $p \leq 0.05$) e importante en MotO (5.65) aunque no significativo ($p > 0.05$). Estos valores de retención pueden ser explicados a partir del hecho de que en muchos materiales el proceso de retención ocurre en base a una cinética dependiente principalmente de la estructura o arreglo del material (Ortiz *et al.*, 2006) y que estos factores actúan de forma sinérgica en el Pin, aunado a lo anterior se agrega la naturaleza típica del aserrín de pino, que contiene residuos de aceites los cuales originan un material oleofílico (Choi y Moreau 1993; Beom-Goo *et al.*, 1999) logrando una capacidad de retención superior.

La capacidad de retención (CR) obtenida utilizando almohadillas (protocolo ASTM F-726 modificado) se muestra en la figura 1. Estos valores de la CR fueron muy consistentes comparados con a los obtenidos con los materiales a granel ($r = 0.935$), y a pesar de registrarse valores inferiores en las almohadillas, las diferencias no fueron

Tabla 3. Índice de retención promedio (\pm DE; n=4) de subproductos agroindustriales y controles probados en la retención de combustibles*.

Material	Capacidad de retención (CR) sobre:		
	Diesel (Die)	Aceite de motor (MotO)	Aceite de cocina (Sunf)
Celulósicos			
Aserrín de palma (Palm)	2.97 (0.28) ^b	3.58 (0.20) ^a	2.32 (0.35) ^a
Aserrín de Pino (Pin)	4.56 (0.17) ^c	5.65 (0.31) ^c	6.81 (0.38) ^c
Extrusado de vástago (Ban)	2.18 (0.27) ^a	4.56 (0.13) ^b	4.46 (0.22) ^b
Quitinosos			
Cabello humano (Hhair)	4.23 (0.24) ^c	7.72 (0.21) ^d	3.93 (0.16) ^b
Cabello Canino (DogH)	3.28 (0.28) ^b	5.67 (0.15) ^c	4.18 (0.32) ^b
Plumas de pollo(Feath).	3.14 (0.53) ^b	4.70 (0.34) ^b	2.40 (0.27) ^a
Controles			
Polyester -Dacron (Dac)	5.97 (0.54) ^d	8.60 (0.39) ^e	7.57 (0.53) ^d
Musgo - <i>Sphagnum</i> (Moss)	5.46 (0.39) ^d	7.79 (0.37) ^d	6.59 (0.17) ^c
Cubierta (almohadillas)			
Poliéster [‡]	0.19 (0.07)	0.45 (0.10)	0.34 (0.09)

* Los valores de la capacidad de retención por combustible (columna) que comparte letra superíndice no son significantes ($P > 0.05$).

[‡] Textil sintético con una porosidad de 0.1mm (malla 140). No incluido para en el escrutinio estadístico.

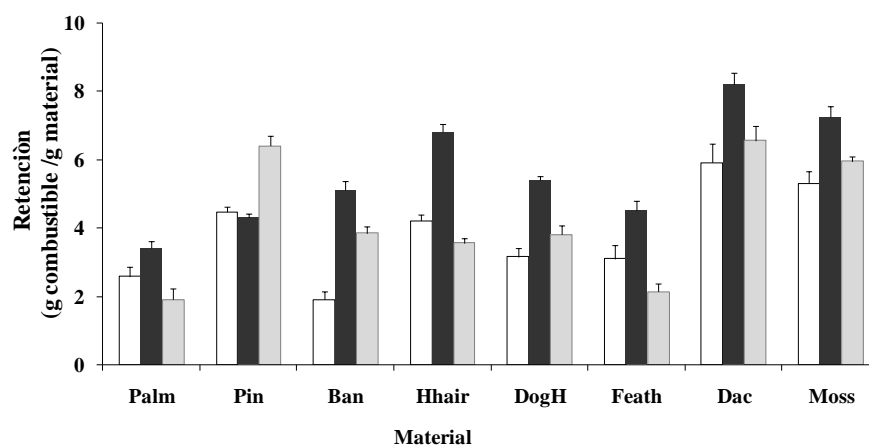


Figura 1. Capacidad de retención de los subproductos y controles utilizados para la recuperación de diesel -Die (□), aceite de motor -MotO (■) y aceite de cocina - Sunf (▒). Las líneas verticales encima del histograma indica la desviación estándar (n=4).

significativas ($p > 0.05$), estos índices representan entre el 76.3 y el 111.6 % de la capacidad de retención registrada con el protocolo ASTM F-726 (Tabla 3).

Lo anterior indica que el protocolo propuesto (materiales empacados) es reproducible y permite valorar de forma axiomática la capacidad de retención, y por tanto puede constituir un modelo

apropiado para evaluar los sorbetes propuestos toda vez que mimetiza la aplicación de sorbentes como; almohadillas, “snakes” o “booms”, tal como ocurre en una contingencia real.

Comparativamente, la retención de los materiales control superó a la mayoría de los sorbentes propuestos, como se observa al probar con Diesel: Dac y Moss > Pin y Hhair, para el aceite MotO: Dac

>Moss y Hhair y en el caso del aceite Sunf: Dac > Pin y Moss. ($p \leq 0.05$; Tabla 3 y Fig.1).

A pesar de estas diferencias significativas, los tres subproductos agroindustriales con mayor capacidad de retención en los tres combustibles probados representan entre el 53 y 90% de la capacidad del dacron, mientras que con respecto al musgo la relación oscila entre el 58 y 103% (Tabla 3; Fig. 1). Lo anterior indica que algunos residuos industriales, que representan un problema de manejo para su disposición y confinamiento, como el vástago de plátano (Ban), el cabello humano y el canino (Hhair y DogH) así como el aserrín de pino (Pin), puedan ser utilizados eficientemente en la recuperación de combustibles o derivados hidrofóbicos, logrando con ello conferir un valor agregado a estos subproductos, circunstancias similares a las propuestas por Choi y Moreau (1993), Khan *et al.*, (2004) y Bayat *et al.*, (2005). Los niveles de retención encontrados en este trabajo pueden reflejar índices comparativamente inferiores a los materiales control, no obstante estos índices de retención pudieran ser mejorados mediante tratamientos físicos o químicos como sugieren Teas *et al.*, (2001), Ramos *et al.*, (2004), Oliveira *et al.*, (2005) y Ortiz *et al.*, (2006) o bien mediante la integración de dos o más materiales. Por otro lado, el uso de estos materiales alternativos que resultan 100% biodegradables, puede coadyuvar en la reducción del impacto ambiental que representan los materiales sintéticos comúnmente usados en la

recuperación del petróleo y sus derivados (Choi y Moreau, 1993; Zetterberg *et al.*, 1999; Khan *et al.*, 2004).

El manejo de las almohadillas utilizadas en el ensayo para evaluar la capacidad de retención, posibilitó también -una vez extraída la almohadilla- estimar el escurrimiento del combustible al término de 15 min (Fig. 2), estos valores representan un indicador de la pérdida potencial de combustible durante el transporte o almacenaje de los unidades de recuperación, de la misma forma en que ocurriría durante el manejo, transporte o confinación de los materiales usados durante una contingencia.

Una alta capacidad de retención o sorción de los materiales favorece el proceso de mitigación y limpieza de hidrocarburos, sin embargo el escurrimiento debe ser evaluado, en virtud de la incapacidad de algunos materiales para retener el combustible como se aprecia en la figura 2, con el Dac en diesel (Die) con una pérdida superior al 35% (en masa), el Hhair con Die y MotO (más del 29%), la fibra de vástago de plátano (APLa y Ban) con una pérdida cercana al 30% en todos los combustibles y el Palm con el aceite de cocina (Sunf).

Los subproductos que registraron el menor escurrimiento promedio con respecto a todos los materiales probados en los tres combustibles fueron Pin \leq Feath y Moss \leq DogH ($p \leq 0.05$). Una posible explicación a estos valores proviene de su hidrofobicidad, observada desde la prueba de flotabilidad en agua, logrando estos subproductos

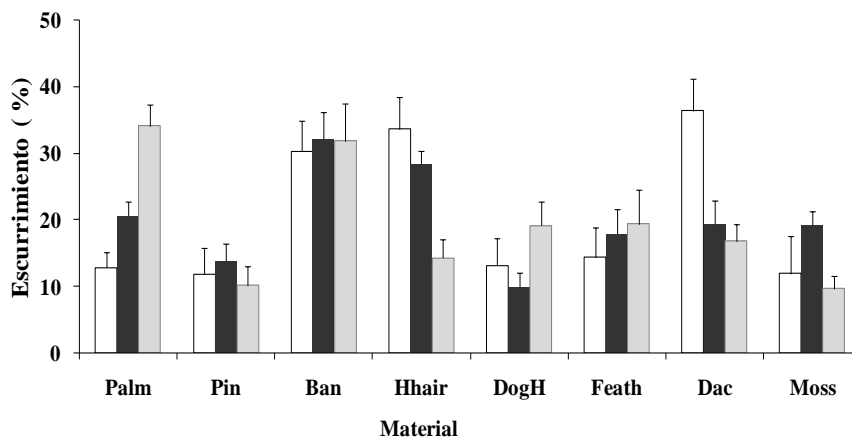


Figura 2. Peso promedio de las almohadillas rellenas de subproductos y controles después de 15 min de haberse extraído del contenedor con combustible, revelan el peso perdido por escurrimiento sobre diesel -Die (□), aceite de motor -MotO (■) y aceite de cocina -Sunf (■). Las líneas verticales sobre el histograma indica la desviación estándar DE (n=4).

los índices más altos. Aunado a esto, el arreglo de las fibras en DogH y la configuración en el Pin y Moss, produce un efecto capilar específico, que permite retener más combustible durante un mayor tiempo (Choi y Moreau, 1993).

Los resultados indican que los materiales celulósicos y quitinosos propuestos, a pesar de tener capacidad de retención menor a los controles, retienen por más tiempo el material combustible recuperado, en contraposición al dacron (poliéster). El aserrín de pino (Pin) supera en esta prueba tanto al musgo como al dacron (Fig. 2; $P \leq 0.05$). Estos resultados coinciden con el trabajo de sorción dinámica de Khan *et al.*, (2004) al probar poliéster y otros materiales. Lo anterior sugiere que en la selección de materiales sorbentes no solo la capacidad de retención /sorción debería ser considerada, sino también debe hacerse referencia a la pérdida por escurrimiento, la cual puede ocurrir durante el manejo del material sorbente durante la contención-recolección *in situ* o durante su eventual transporte a la zona de disposición (IOSC, 2008).

Conclusiones

Los resultados indican que los derivados quitinosos presentan en términos generales una mayor capacidad de retención que los celulósicos y así mismo ambos registran un mayor índice de sorción hacia los combustibles de mayor densidad/viscosidad como los aceites de motor y de cocina (MotO y Sunf).

De los sorbentes probados, el aserrín de pino (Pin) y el cabello (Hhair) recuperan más combustible que el resto de materiales propuestos y el Pin presenta el menor índice de escurrimiento promedio de todos los materiales, incluyendo a los sorbentes comerciales (dacron y musgo).

Seguramente el valor futuro de los subproductos utilizados permitiría su aplicación en la sorción de hidrocarburos, a pesar de su posible demanda industrial les asigne un cierto valor agregado.

Agradecimientos

Al programa Ramón Álvarez-Buylla de Aldana (convenios 638/08 y 627/09) que de forma concurrente patrocina la fase operativa de este trabajo y al personal de la Coordinación de Investigación Científica y de la Facultad de Ciencias Marinas que coadyuvaron en la ejecución

de este proyecto.

Bibliografía

- Anónimo 2009a. Hemeroteca del Diario de Colima. Edición no. 18742 del 3 de Septiembre de 2009. p. B1. En: <http://www1.ucof.mx/hemeroteca/> (Acceso en Febrero 1 de 2011).
- Anónimo 2009b. Archivo Histórico. Edición del 6 de Septiembre de 2009. Sección 7. En: <http://www.ecosdelacosta.com.mx>. (Acceso en Diciembre 8 de 2011).
- Bayat A, Aghamiri S., Moheb A. y Vakili-Nezhaad G. 2005. Oil Spill Cleanup from Sea Water by Sorbent Materials. *Chemical Engineering & Technology*. 28: 1525-1528.
- Beom-Goo L., Han J. S. y Rowell R. M. 1999. Oil sorption by lignocellulosic fibers. En: *Kenaf Properties, Processing and Products*. Mississippi State University, Ag & Bio Engineering. USA. P. 423-433.
- Choi H. M. y Moreau J. P. 1993. Oil sorption behavior of various sorbents studied by sorption capacity measurement and environmental scanning electron microscopy. *Microscopy Research and Technique* 25: 447-455.
- García-Torres R., Ríos-Leal E., Martínez-Toledo A., Ramos-Morales F. R., Cruz-Sánchez J. S y Cuevas-Díaz M. del C. 2011. Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27: 31-39.
- Herbert S. y Herbert M. 2008. *Aquaponics in Australia. The Integration of Aquaculture and Hydroponics*. Australia 150 pp.
- Ibarra J. T., Anderson C. B., Altamirano T. A., Rozzi R. y Bonacic C. 2010. Diversity and singularity of the avifauna in the austral peat bogs of the Cape Horn Biosphere Reserve, Chile. *Cien. Inv. Agr.* 37: 29-43.
- IOSC -International Oil Spill Conference. 2008. Guía Internacional Propuesta para la Evaluación de Planes y Preparativos para Respuesta a Derrames de Hidrocarburos. Informe Técnico IOSC-009. Washington, D.C. USA. 77 pp.
- Khan E., Virojnagud W. y Ratpukdi T. 2004. Use of biomass sorbents for oil removal from gas station runoff. *Chemosphere* 57: 681-689.
- Lushnikov S. V., Frank Y. A. y Vorobyov D. S. 2006. Oil decontamination of bottom sediments experimental work results. *Earth Sci. Res. J.* 10: 35-40
- Miller J. y Miller J. 2002. *Estadística y quimiometría para química analítica*. Edit. Prentice- Hall. Madrid. 278 p.
- Oliveira K., Albala R., Ramos M., Pinto C., Freire M. y Valenzuela-Díaz F. 2005. Brazilian Organoclays as Nanostructured Sorbents of Petroleum- Derived Hydrocarbons. *Materials Research*. 8: 77-80.
- Ortiz, D., Andrade F., Rodríguez G. y Montenegro L. 2006. Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. *Revista Ingeniería e Investigación* 26: 20-27
- Prince R. C., Lessard R. R. y Clark J. R. 2003. Bioremediation of Marine Oil Spills. *Oil Gas Sci. Technol.* 58: 463-468.
- Ramos M., Franco J., Pinto C., Valenzuela F. y Büchler P. 2004. Sorption of oil Pollution by Organoclays and a Coal/ Mineral Complex. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 21: 239-245.
- SAIC -Science Applications International Corporation. 2003. Recoverit Sorbet Testing. Proy: SOR-01-059 Final report. Canada. 6 pp.

- Teas Ch., Kalligeros S., Zankos F., Stourmas S., Lois E. y Anastopoulos G. 2001. Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spills clean up. *Desalination*. 140: 259-264.
- Yamane, T. 1999. *Estadística*. Edit. Harla. México. 771pp.
- Zetterberg, A., Fejes J., Anderson S. y Svenson A. 1999. Sorbents for oil and chemical spill development of methodology to assess environmental impact. *International Oil Spill Conference*. No. 464.5 pp.
- Zar, J. H. 1984. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall. USA. 718 pp.