

Uso de microemulsiones en la limpieza de suelos contaminados con crudo.

Pérez, Víctor^{*a}, Sánchez, Marcell^b, Coronel, Víctor^b, Pereira, Juan^a, Álvarez, Ruth^c

^aLaboratorio de Petróleo, Hidrocarburos y Derivados, Departamento de Química, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo.

^bGerencia de ID, Industrias VENOCO, Guacara-Carabobo.

^cDepartamento de Bioquímica, Escuela de Ciencias Biomédicas, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

Resumen.-

El presente estudio se basó en las propiedades detergentes de las microemulsiones sobre suelos contaminados con petróleo. Se emplearon surfactantes iónicos como el dodecil sulfato de sodio (SDS) y dodecil benceno sulfonato de sodio (SDBS). El Kerosene fue usado como fase aceite, y como aditivos, 1-pentanol y 1-Butanol. Las microemulsiones como sistemas, fueron evaluadas sobre un suelo contaminado con petróleo proveniente de la población de Yaracal, Estado Falcón. Los sistemas evaluados, fueron puestos en contacto con el suelo, agitando mecánicamente por 04 horas. La microemulsión con SDS, resultó ser la de mayor desempeño, con un 95,43 %, resultado confirmado mediante la técnica de espectroscopia de Infrarrojo, con la cual fueron caracterizadas las muestras de suelo antes y después del tratamiento con los sistemas SOW. Este procedimiento viene a ser una alternativa de remediación para zonas afectadas por derrames de crudo, e incluso puede ser aplicable en la limpieza de aceite presente en diversos sustratos sólidos.

Palabras clave: surfactantes, Microemulsiones, Detergencia, Remediación.

Use of microemulsions for cleaning of crude oil-contaminated soils.

Abstract.-

This study was based on the detergent properties of microemulsions on crude oil-contaminated soils. Were used as the ionic surfactant sodium dodecyl sulfate (SDS) and sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS). Kerosene was used as the oil phase, and as additives, 1-pentanol and 1-butanol. Microemulsions as systems were evaluated on a soil contaminated with oil from the Yaracal district, Falcón State. The systems evaluated were put in contact with soil, shaking mechanically for 04 hours. The microemulsion with SDS, was found to be the highest performance, with 95.43 %, a result confirmed by infrared spectroscopy technique, which were characterized with soil samples before and after treatment with the systems surfactants-oil-water. This procedure can be an alternative remediation for areas affected by oil spills, and can even be applied in cleaning oil in various solid substrates.

Keywords: Surfactant, Microemulsions, Detergency, Remediation.

Recibido: 20 de mayo 2012

Aceptado: 28 septiembre 2012

1. Introducción

El suelo y subsuelo, constituyen un recurso natural difícilmente renovable que desempeña muchas funciones, como medio filtrante durante la recarga del manto acuífero y la protección de los mismos. También, están integrados al escenario donde ocurren los ciclos biogeoquímicos,

* Autor para correspondencia

Correo-e: vmperez@uc.edu.ve (Pérez, Víctor)

hidrológicos y las redes tróficas, además de ser el espacio donde se realizan las actividades agrícolas, ganaderas y ser soporte de la vegetación [1]. Durante mucho tiempo, nadie se preocupaba por el destino de los residuos generados, dando por hecho que la naturaleza limpiaba el ambiente, pero según fue cambiando el origen y la composición de los residuos, y al aumentar su cantidad y complejidad, esta capacidad (degradativa y amortiguadora) empezó a verse alterada [2].

Los sistemas surfactante-aceite-agua, en inglés SOW, son sistemas dispersos conformados por un surfactante adsorbido en una interfase líquido-líquido, que es capaz de disminuir la tensión interfacial y facilitar la dispersión de un líquido en el otro [3]. La adecuada combinación de los componentes de un sistema SOW (formulación), puede permitir el manejo de la estabilidad de sistemas inmiscibles, y logra solubilizar aceite en agua, lo cual puede ser aplicable no solo para la extracción y transporte de crudo pesado y extrapesado, sino que también pudiera ser aplicable, debido a sus propiedades de detergencia, para la remoción de crudo en la superficie de suelos contaminados por derrames [4]. Las propiedades de los sistemas SOW, han sido aplicadas desde los años 70 en la recuperación mejorada de petróleo. Después de las recuperaciones primaria y secundaria, el yacimiento contiene todavía 60-80 % (promedio 72 %) del crudo originalmente en sitio [3]. Por lo que se fueron desarrollando tecnologías que permitieran extraer la mayor cantidad del crudo restante en los yacimientos.

Entre los desarrollos tecnológicos, se tienen las investigaciones realizadas con surfactantes, con las que se demostró la eficiencia de las microemulsiones para reducir las tensiones existentes entre el crudo y el sustrato atrapado en los yacimientos y facilitar su extracción [5]. Por otra parte, se han desarrollado hasta la fecha una gran variedad de formulaciones con diversas aplicaciones, como la remoción de contaminantes orgánicos en sustratos sólidos. En el año 2000, [6] estudiaron la relación entre alcohol y surfactante, al formular sistemas para remediación de medios porosos contaminados con crudo. Algunos investigadores, han realizado estudios con surfactantes de origen

biológicos y sintéticos, para comparar su eficiencia en el tratamiento de suelos contaminados con crudo [7]. Otros aceites como el Diesel, también han sido removidos con surfactantes en solución [8]. La presencia de las estructuras de autoasociación de los surfactantes del tipo microemulsión y micelar permiten incrementar la solubilización de sustancias en su interior [9]. La adecuada combinación de aditivos químicos puede lograr el efecto de supersolubilización para aceites muy lipofílicos (alto parámetro de número de alcanos equivalente, sus siglas en inglés EACN). Los alcoholes de larga de cadena carbonada, como el 1-octanol, son excelentes para este propósito [10, 11]. En la presente investigación, se buscó establecer la relación más apropiada para formular sistemas SOW que permita retirar la mayor cantidad de crudo presente en una fase sólida (suelo) y su posterior separación del sistema emulsionado, para así presentar una alternativa de remediación químico-ambiental, basada en los principios termodinámicos que rigen los fenómenos interfaciales.

2. Metodología

Materiales, reactivos y equipos: Baño con agitación mecánica, equipo de extracción Soxhlet, espectrofotómetro de IR (Shimadzu) y Tensiómetro de Anillo de DuNOUY, Cole Parmer, modelo 21. Surfactantes; SDS (Clariant) y SDBS (Henkel), NaCl (Merck), Kerosene, 1-pentanol, 1-Butanol, (ambos comprados a Sigma-Aldrich) agua destilada. Las muestras de suelos fueron tomadas de la zona de Yaracal, se trabajaron con muestras contaminadas con crudo y muestras sin contaminar para fines del control. En la Tabla 1 se muestran algunas de sus características. El crudo Yaracal es un Crudo liviano (30° API) zona ubicada en el Mene de San Lorenzo, en el Estado Falcón en Venezuela (ver Figura 1). Estos pozos fueron abandonados por PDVSA, y con los años recuperaron su presión natural, dando inicio a su afloramiento nuevamente y afectando los suelos de su alrededor, ver Figura 2.

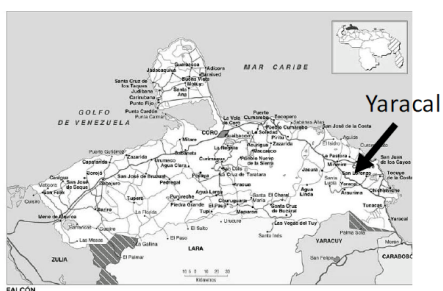


Figura 1: Ubicación geográfica de la zona de Yaracal en el Estado Falcón.

Tabla 1: Análisis textural del suelo virgen y suelo contaminado [12].

IDENTIFICACIÓN DEL SUELO	ARCILLA (%)	LIMO (%)	ARENA (%)	TEXTURA
Suelo virgen	41,2	26,0	32,0	Arcillosa Franco
Suelo contaminado	23,2	14,8	62,0	Arcillo Arenosa



Figura 2: Condición ambiental en que se encuentra el área afectada por derrame de crudo, Yaracal-Falcón.

2.1. Determinación del contenido de crudo en el suelo contaminado.

Se determinó la cantidad de hidrocarburo presente en las muestras de suelo, antes y después del tratamiento de remoción, por extracción con Soxhlet empleando una mezcla de solventes (Cloroformo-Metanol), ($CHCl_3-CH_3OH$) en relación 7:3, respectivamente. Dicha mezcla combina la capacidad solubilizadora y polaridad necesaria para remover hidrocarburos presentes en sólidos

inorgánicos [13]. Las muestras fueron pesadas antes y después del tratamiento para obtener el contenido de crudo por gravimetría. En esta etapa, se empleó la técnica de IR para caracterizar las muestras de suelo virgen, contaminado y tratado, obteniendo las bandas características. Así también, se caracterizó por IR una muestra del crudo Yaracal.

2.2. Barridos de formulación.

Los barridos de formulación permiten identificar los cambios de afinidad del surfactante por la fase acuosa y la fase aceite. Además se puede detectar la aparición de las microemulsiones en los sistemas bajo estudio. Para la evaluación de los sistemas surfactante-aceite-agua preparados con dodecil sulfato de sodio (SDS) y dodecil benceno sulfonato de Sodio (SDBS), se realizó un barrido de salinidad. Los resultados se muestran en la Tabla 1 [14]. En esta etapa, se logró obtener el barrido de comportamiento de fase y los respectivos sistemas trifásicos, donde se verificó la ubicación del surfactante en las fases mediante el uso de un haz de luz láser.

2.3. Aplicación de las formulaciones.

La muestra de suelo, fue tratada inicialmente por un método de tamizado (tamaño del orificio de malla, $0,078 \text{ } \mu\text{m}^2$) [14], para homogenizar el tamaño de las partículas de suelo y garantizar un comportamiento uniforme en todas las pruebas realizadas. Aproximadamente 250,0 mg del sustrato sólido en estudio, se puso en contacto con 2,00 mL de cada sistema SOW formulado. Los ensayos se realizaron en tubos de ensayo con tapa, agitando por espacio de cuatro horas. Luego de culminado el tiempo de tratamiento, fue extraído el líquido sobrenadante (Figura 5) y se filtró el sólido. Lavando con agua hasta lograr remover todo el resto del SOW aplicado, esto se verificó mediante la medición de la tensión superficial (γ) teniendo por ejemplo una variación de esta propiedad fisicoquímica en las aguas de lavado, de $(48,0 \pm 0,2)$ a $(72,5 \pm 0,2)$ dinas/cm. Cabe destacar, que fueron tratadas muestras contaminadas y no contaminadas del suelo en estudio con los sistemas formulados. Luego del

tratamiento, las muestras fueron analizadas por una técnica instrumental para verificar la eficiencia de la detergencia y solubilización de los SOW. Cada experimento fue realizado por triplicado para asegurar reproducibilidad de los resultados. Es importante mencionar que los experimentos del presente trabajo tienen por finalidad encontrar la formulación adecuada para la remoción del crudo presente en un suelo contaminado. Por esta razón son realizados los ensayos a escala de laboratorio. En futuros trabajos se evaluarán el escalamiento de estas formulaciones químicas.

3. Resultados y Discusión.

Es importante mencionar, que el suelo contaminado (SC) con crudo, correspondió a una muestra puntual, tomada alrededor de uno de los pozos marginales, de la zona del Mene de San Lorenzo, en Yaracal Estado Falcón. Donde se encuentran aproximadamente doscientos (200) pozos marginales abandonados. En un estudio realizado por Barrios y col. [12], se evaluaron las condiciones del suelo contaminado y no contaminado, así como, sus propiedades fisicoquímicas (Tabla 1). En la Figura 1, se indica la ubicación del punto muestreado para llevar a cabo la investigación. Mientras que, la Figura 2, muestra las condiciones en que se encuentra impactado el ambiente en dicha zona. El interés de esta investigación se centra en evaluar en los sistemas formulados, su poder detergente y de solubilización, y el desempeño en la remoción del crudo presente en la muestra de suelo tratado.

Para la determinación de las sustancias orgánicas presentes en el suelo (incluyendo el crudo para el suelo contaminado) se empleó una mezcla de solventes orgánicos por extracción Soxhlet. Como se explicó antes el cloroformo puede solubilizar todos los componentes del petróleo, incluyendo los asfaltenos y resinas. El metanol debido a su polaridad permite desorber del sustrato inorgánico tales componentes presentes en el petróleo. Cabe destacar que dicha mezcla, logró remover también, la materia orgánica vegetal (MOV) que contenía el suelo (Figura 3). Se determinó que el suelo de referencia (SR), no contaminado, contiene (8,51

$\pm 0,05$)% de materia orgánica vegetal (MOV), mientras que en el SC se obtuvo un valor de $(18,55 \pm 0,05)$, donde $(10,04 \pm 0,05)$ % es de materia orgánica de tipo hidrocarburo (Tabla 2). Estos resultados fueron confirmados con el trabajo de Barrios y col. [12].

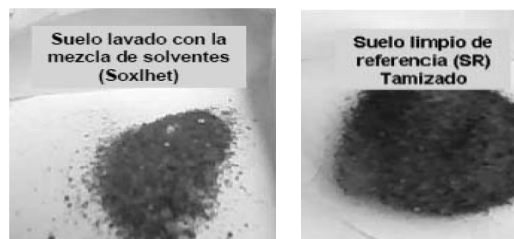


Figura 3: Comparación del color del suelo lavado con la mezcla de solventes y el suelo de referencia (limpio).

Tabla 2: Contenido inicial de materia orgánica, para el suelo de referencia y contaminado, por extracción con solvente.

SUELO	PERDIDA DE MASA POR EXTRACCIÓN (m \pm 0,0001)g	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (C \pm 0,05) %p/p	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA TOTAL (C \pm 0,05) %p/p
REFERENCIA	0,0859	8,51	8,51
CONTAMINADO	0,1872	10,04	18,55

Resultados Experimentales.

Winsor estudió la formulación fisicoquímica de los sistemas SOW desde el punto de vista de sus interacciones y comportamiento de fase [15]. En su notación propuso Winsor I, cuando el surfactante tiene mayor afinidad por la fase acuosa, Winsor II cuando es por la fase aceite, y Winsor III cuando la afinidad del surfactante es la misma por ambas fases. La formulación de sistemas Surfactante-Aceite-Agua (SOW) bajo condiciones de alta concentración de surfactante, según diversas publicaciones [3], [5] permite la formación de microemulsiones al alcanzar el equilibrio y la formación de sistemas trifásicos. Estos, son sistemas monofásicos y termodinámicamente estables, que son independientes de las fases acuosa y orgánica [13]. En todos los sistemas formulados, se logró desplazar el respectivo surfactante estudiado, desde la fase acuosa, pasando

por varios sistemas que formaron trifásico y el sistema óptimo (Winsor III), hasta llegar a la fase orgánica (Figura 4). Se pudo observar en uno de los tubos de cada barrido, un trifásico con volúmenes iguales de fases acuosa y oleosa (relación WOR=1) y una tercera fase intermedia correspondiente a la microemulsión, esto en condiciones óptimas de salinidad (4,9 % p/v para SDS y 2,2 % p/v para SDBS). En este caso, se logra obtener una interacción del surfactante, similar con la fase acuosa y la fase aceite, donde se encuentra una desviación hidrofílica y lipofílica igual a cero (HLD=0) [16]. En otras palabras, es justamente, en el sistema trifásico donde se igualan las interacciones entre el surfactante con el aceite y por otra parte con el agua, éste se considera el sistema óptimo. Para facilitar la comprensión del tema, se establece como nomenclatura de identificación de los sistemas formulados: 2 abajo (2a): correspondiente a la solución micelar que contiene el surfactante en la fase acuosa. 2 arriba (2A), para la solución micelar con el surfactante en la fase orgánica en los sistemas con dos fases. Mientras que la fase intermedia en los sistemas óptimos (tres fases), será denominada microemulsión [3].

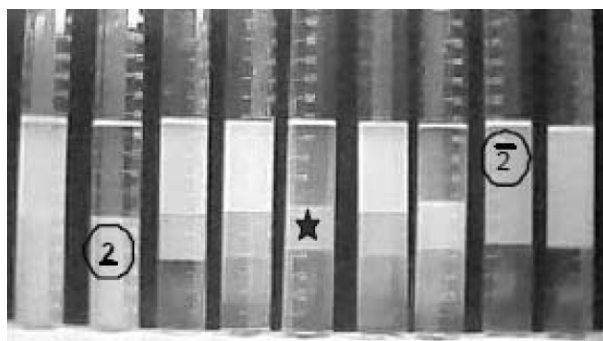


Figura 4: Barrido de formulación obtenido experimentalmente para SDS, donde se indica la ubicación del surfactante en los sistemas formulados, Winsor I; Winsor III (óptimo*) y Winsor II, respectivamente

Para el dodecil benceno sulfonato de sodio (SDBS) al 1 % p/v (a partir de una solución al 10 % p/v), se puede apreciar el paso del surfactante de forma similar que para el SDS. Por lo que, se utilizó una mezcla de alcoholes (1-pentanol y 1-Butanol, en relación 1:1) para poder desplazarlo

Tabla 3: Contenido de salinidad (% p/v), para la formulación óptima de los sistemas con dodecil sulfato de sodio (SDS) y dodecil benceno sulfonato de sodio (SDBS) al 1 % p/v.

Surfactante	Salinidad formulación óptima (C±0,02) %p/v
SDS	4,90
SDBS	2,20

a la fase acuosa y realizar el barrido de salinidad correspondiente. La Figura 5 [13], muestra el paso del surfactante, desde la fase acuosa hasta la fase oleosa (2,2 % p/v de sal), pasando por la microemulsión óptima*. En la Tabla 3, se presentan los contenidos de sal requeridos para lograr obtener los sistemas trifásicos óptimos, para cada surfactante.

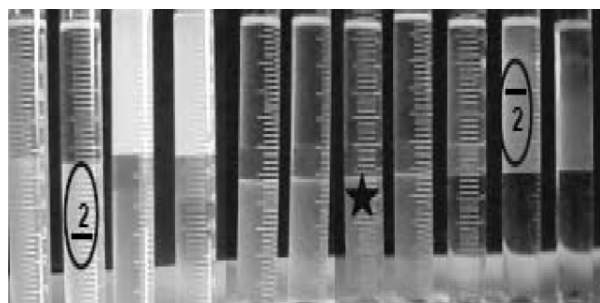


Figura 5: Barrido de salinidad para el SDBS al 1 %, donde se indica la ubicación del surfactante en los sistemas en estudio, Winsor I; Winsor III (óptimo *) y Winsor II, respectivamente.

Entonces la ubicación de los óptimos para cada sistema es importante porque nos permite saber la naturaleza de las formulaciones a evaluar en las pruebas de remoción. Por ejemplo, a la formulación óptima se toma solo la fase media que es la microemulsión y para los sistemas Winsor I se preparan emulsiones de aceite en agua agitando todo el tubo completo. Cuando se agita un tubo en Winsor II se logra una emulsión de agua en aceite.

En la Figura 6 podemos observar la coloración presente en el trifásico que corresponde a la acción de la microemulsión y al sistema Winsor II. Y la ausencia de esta coloración indica la poca o nula efectividad de la fórmula en la remoción. Esto representa una ventaja ya que por

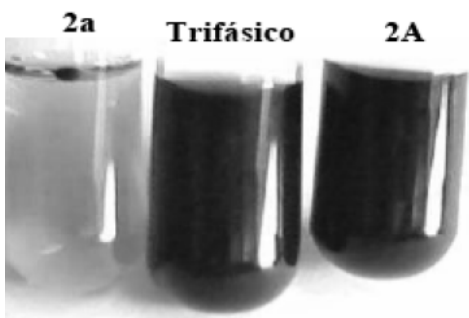


Figura 6: Solubilización del crudo en los sistemas SOW formulados (de izquierda a derecha: 2a, trifásico y 2A).

simple inspección visual podemos saber cuándo una fórmula podría mostrar buen desempeño en la remoción de crudo de suelos contaminados.

En la Figura 7 (a y b), se visualizan cualitativamente el desempeño de los sistemas SOW aplicados, donde se presentan las diferentes muestras de suelo tratadas con los sistemas formulados, confirmando los resultados de la Tabla 4.

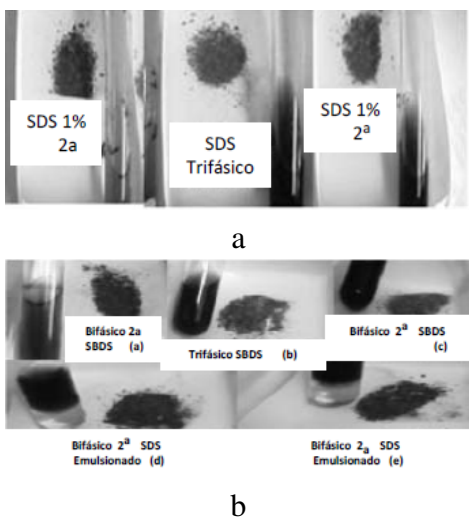


Figura 7: a) Resultado del tratamiento del suelo con los sistemas SOW formulados con SDS. b) Resultado del tratamiento del suelo con los sistemas SOW formulados con SBDS.

Es importante resaltar, que se logró confirmar los resultados obtenidos, mediante observación directa de la muestra tratada, y adicionalmente empleando la técnica instrumental de espectroscopia de Infrarrojo. En la Figura 8 (a y b), se pueden observar los espectros de IR para muestras de SR, SC y el suelo tratado con los sistemas óptimos* formulados con SDS y SBDS, respectivamente.

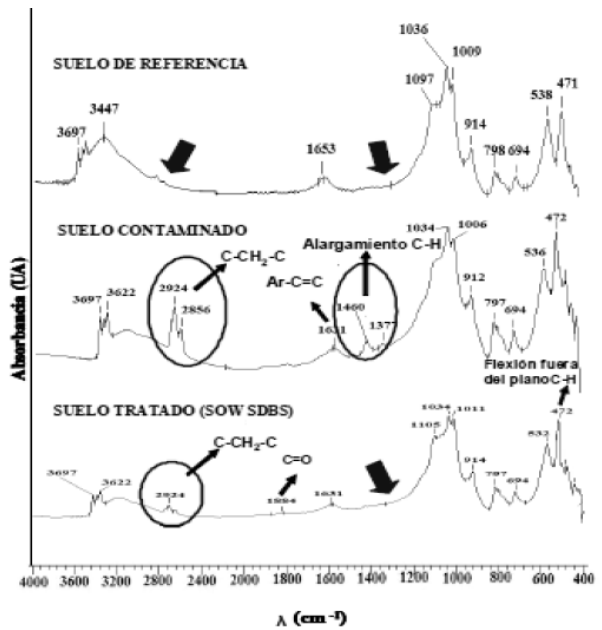
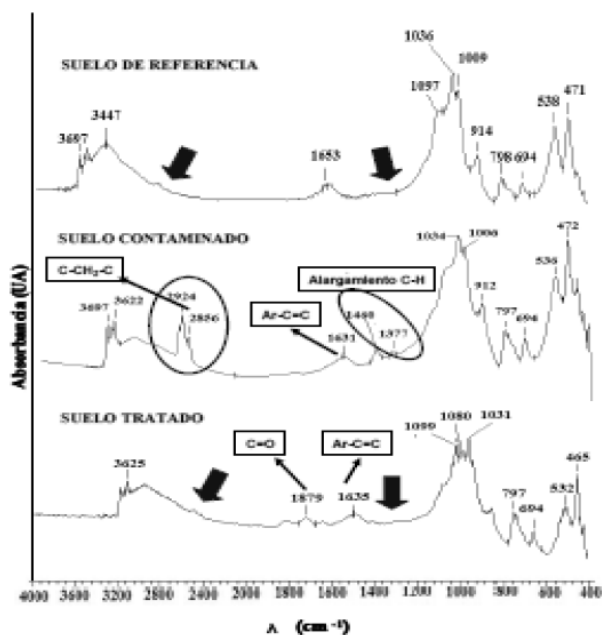


Figura 8: (a y b). Espectros de absorción infrarrojo realizado a los suelos SR, SC y tratados con el SOW óptimo del SDS y el SBDS, respectivamente.

Particularmente, el SC presenta varias bandas características a 2924; 2856; 1460 y 1377 cm^{-1} , las cuales no se observan para el SR. Luego del tratamiento con el SOW correspondiente, dichas bandas desaparecen del SC. En la Tabla 4, se presentan los resultados de desempeño obtenidos en la aplicación de los sistemas SOW formulados

Tabla 4: Resultados obtenidos en el tratamiento del suelo contaminado con los distintos sistemas SOW formulados con SDS y SDBS.

FORMULACIÓN SOW	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA REMOVIDO (C±0,05) %p/p	DESEMPEÑO DE LOS SISTEMAS SDS APLICADOS (D±0,05) %	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA REMOVIDO (C±0,05) %p/p	DESEMPEÑO DE LOS SISTEMAS SDBS APLICADOS (D±0,05) %
2 ^a (Emulsión)	5,00	49,76	2,46	24,47
2 ^a (Winsor II)	6,34	63,13	4,33	43,11
Microemulsión	9,58	95,43	5,18	51,55
2 ^a (Winsor I)	9,11	90,72	3,96	39,42
2 ^a (Emulsión)	4,61	45,95	2,56	25,54

Resultados Experimentales.

[14].

Entonces los resultados sugieren que en el sistema de microemulsión con SDS se lograron alcanzar estructuras de autoasociación del surfactante (micelas, cristales líquidos, etc) que permitieron incrementar la solubilización del crudo Yaracal en este sistema. El rol del alcohol como anfífilo en lograr las transiciones de polaridad y potencial la película del surfactante, es un tema que debe ser objeto de futuras investigaciones. Finalmente, la remoción de petróleo de suelos contaminados empleando sistemas SOW promete ser una vía alternativa ambiental y que además permitiría recuperar el petróleo solubilizado.

4. Conclusiones

Se observó para cada sistema SOW formulado, el tubo con la formulación óptima (HLD=0).

El contenido de crudo determinado en el suelo contaminado fue igual a 10,04 %, y el contenido de materia orgánica vegetal para el suelo de referencia fue de 8,51 %. Para los surfactantes utilizados (SDS y SDBS), se obtuvo la formulación óptima en 4,90 % y de 2,20 % de sal respectivamente. Mientras que la microemulsión del SDS, presentó el mayor desempeño 95,43 %, en comparación al resto de las formulaciones. También, se encontró para los sistemas preparados con dodecil benceno sulfonato de sodio (SDBS) un bajo desempeño alrededor de 50,00 %. El sistema de microemulsión con SDS logró alcanzar estructuras de autoasociación del surfactante que permitió incrementar la solubilización del crudo

Yaracal en este sistema. Finalmente, la remoción de petróleo de suelos contaminados empleando sistemas SOW promete ser una vía alternativa ambiental y que además permitiría recuperar el petróleo solubilizado.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer el apoyo del departamento de química de FACYT, específicamente a los laboratorios de Petróleo, Hidrocarburos y Derivados y Análisis Instrumental. Al CDCH-UC N° 2010-003, así como a industrias Venoco por su colaboración en el desarrollo de la investigación.

Referencias

- [1] Saval, B. S. 1995. Acciones para la Remediación de Suelos en México. Segundo Minisimposio Internacional sobre Contaminantes del Agua y Suelo. Instituto de Ingeniería. UNAM.
- [2] Gutiérrez, E. (1990). Los Residuos Sólidos Peligrosos: ¿Un Riesgo sin Solución? Ciencias. No. 20 UNAM.
- [3] Salager, J-L., Microemulsions. Handbook of Detergents - Part A: Properties, G. Broze Ed., Surfactant Science Series vol. 82, Chapter 8, pp 253-302, Marcel Dekker New York (1999).
- [4] Bourrel, M., (1983) The Rules for Achieving High Solubilization of Brine and Oil by Amphiphilic Molecules, society of petroleum engineers journal 23, 327-338.
- [5] Bourrel, M. and Schechter, R.S. (1988). Microemulsions and Related Systems, M Dekker, New York.
- [6] Tien, Truong H., Bettahar, M., Kumagai, S. (2000) Optimization of the Surfactant/Alcohol Formulations for the Remediation of Oily Contaminated Porous Media, Environ. Sci. Technol. 34, 3977-3981.

- [7] Urum K., Pekdemir T., Çopur M. (2004) Surfactants treatment of crude oil contaminated soils, *Journal of Colloid and Interface Science*. 276, 456–464.
- [8] Couto Hudson J.B., Massarani G., Biscaia Jr. E. C., Sant’Anna Jr G. L. (2009) Remediation of sandy soils using surfactant solutions and foams, *Journal of Hazardous Materials*. 164, 1325–1334.
- [9] Salager, J-L. Antón, R. E. Sabatini, D. A. Harwell, J. H. Acosta, E. J. Tolosa, Laura I. (2005) Enhancing Solubilization in Microemulsions—State of the Art and Current Trends. *Journal of surfactants and detergents*, 8, 3-21.
- [10] Uchiyama, H. Acosta, E. Tran, S. Sabatini, D. A. and Harwell J. H. (2000), Supersolubilization in Chlorinated Hydrocarbon Microemulsions: Solubilization Enhancement by Lipophilic and Hydrophilic Linkers. *Ind. Eng. Chem. Res.* 39, 2704-2708.
- [11] Acosta, E. Uchiyama, H. Sabatini, D. A. and Harwell, J. H. (2002). The Role of Hydrophilic Linkers. *Journal of Surfactants and Detergents*, 5, 151-157.
- [12] Barrio, L., Polychroniadis, C., (2009) “Evaluación del proceso de biorremediación de un suelo en la degradación de hidrocarburos saturados y aromáticos empleando bioestimulación”. Trabajo especial de grado, Universidad de Carabobo. Venezuela.
- [13] Pereira, Juan C. (2000) “Caracterización estructural de asfaltenos provenientes de crudos venezolanos” Tesis de Maestría, Universidad Central de Venezuela. Venezuela.
- [14] Pérez, V. (2009) “Estudio de la formulación de sistemas surfactante-aceite-agua como alternativa en la remediación de suelos contaminados con crudo liviano de Yaracal-estado falcón” Trabajo Especial de Grado, Universidad de Carabobo, Venezuela.
- [15] PA Winsor. (1954). *Solvent Properties of Amphiphilic Compounds*. London: Butterworth.
- [16] Salager, J., Antón, R., Anderez, J., Aubry, J., (2001) Formulación de microemulsiones por el método de HLD (traducción) *Techniques of Ingenuity*, artículo J2-157, 1-20.