

## RESUMEN

### Caracterización y cuantificación del proceso de atenuación natural de aceite mineral de motor en suelo proveniente de bosque nublado tropical

#### **Autores:**

*Katherine Cantelmi<sup>1</sup>, Mariana Nisi<sup>1</sup>, Adelitza Strubinger<sup>2</sup>, Maiela Rangel<sup>3</sup>, Miguel Villegas<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Departamento de Estudios Ambientales, Universidad Metropolitana, <sup>2</sup> Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, <sup>3</sup> Departamento de Procesos y Sistemas, Universidad Simón Bolívar

#### Justificación y antecedentes.

El aceite mineral es una mezcla compleja de hidrocarburos y de aditivos químicos. Siendo el aceite un producto de gran utilidad para medios de transporte y maquinaria industrial, a medida que se degrada por uso, sus propiedades físico-químicas cambian, y es necesario reemplazarlo periódicamente. El aceite usado contiene diferentes elementos como agua, metales pesados, compuestos organoclorados, entre otros. Todos estos compuestos hacen que el aceite mineral, al derramarse, se convierta en un desecho peligroso para el suelo y comience un proceso de degradación. En sus inicios se pierden los compuestos químicos más volátiles, de lo cual son responsables las condiciones abióticas. Más adelante ocurre la biodegradación: los microorganismos transforman contaminantes mediante reacciones metabólicas, transformando tanto compuestos orgánicos como inorgánicos. Los procesos de biodegradación son mediados por microorganismos nativos del suelo, y las modificaciones químicas ocurren de forma secuencial (Gabinete de Salud Laboral y Medio Ambiente, 2006). La selección del tipo de suelo para este trabajo se realizó considerando que en suelos ricos en materia orgánica, como los suelos de bosques nublados tropicales, se encuentra una alta actividad microbiana (Haynes, 2005). Por otra parte, la bioremediación tiene como objetivo degradar o transformar compuestos peligrosos, utilizando microorganismos, en otros menos dañinos como: CO<sub>2</sub>, agua, sales inorgánicas y/o biomasa (US-EPA, 2000). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (1999) describe la atenuación natural monitoreada como un proceso confiable (enfocado en el contexto de la limpieza de un suelo cuidadosamente controlado y monitoreado) para alcanzar objetivos de remediación bajo tiempos y costos razonables en comparación con otros métodos más activos. La atenuación natural incluye una variedad de procesos físicos, químicos o biológicos que, bajo condiciones favorables, actúan sin intervención del hombre para reducir la masa, toxicidad, movilidad, volumen o concentración de

contaminantes en el suelo o las aguas subterráneas. Los microorganismos degradan con facilidad las cadenas lineales, especialmente las que contiene menos de 28 carbonos. Varnero (2006) y Posada (2000) afirman que la mineralización del carbono orgánico, medido como el desprendimiento de CO<sub>2</sub> en un período dado, es un índice adecuado de la actividad microbiológica. Dicho proceso corresponde a la respiración del suelo y puede ser medido en un laboratorio con muestras de suelo no alteradas (respiración endógena), o bien agregándole compuestos orgánicos o minerales con la finalidad de observar su impacto en el suelo.

### Objetivo

Estudiar y comparar el proceso de atenuación natural de aceite mineral de motor virgen y usado en suelo de bosque nublado tropical, caracterizándolo mediante la variación en la composición de sus grupos químicos funcionales, y cuantificando su biodegradación a través de la producción de dióxido de carbono.

### Métodos utilizados.

Este estudio se realizó a escala de laboratorio en muestras de suelo de bosque nublado tomadas del bosque aledaño al Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Altos de Pipe, estado Miranda. El suelo fue previamente tamizado (mesh #3) para obtener partículas de radio menor o igual a 5,3 mm. Fue caracterizado con respecto a pH con la ayuda de un pH metro, conductividad con empleando un conductímetro; contenido de materia orgánica y humedad, por diferencia de peso y el empleo de estufa y mufla, en todos los casos siguiendo la metodología de Beton (2002). Se emplearon muestras comerciales de aceite mineral de motor Supra PDV 15W-40, tanto virgen como usado. La muestra de aceite usado se obtuvo de un automóvil particular (marca Nissan, modelo PathFinder, año 2005) con 5.000 km de uso, siendo este el valor máximo recomendado por el fabricante (PDV, 2009). Las muestras de aceite mineral virgen y usado fueron caracterizadas, determinándose su acidez y contenido de agua mediante el uso de un Espectrómetro IR portátil FluidScan. La viscosidad y el peso específico de ambos aceites fue determinada con un viscosímetro de Brookfield y un hidrómetro, respectivamente. La distribución de tamaño de partícula suspendida en ambos aceites (virgen y usado) se determinó con un equipo Lasernet Fines-C.

Para los subsiguientes análisis que se realizaron fueron preparadas 2 mezclas de suelo+aceite, con aceite mineral de motor virgen y usado, respectivamente, ambas a una concentración de 5% p/v de aceite. Se incluyeron como control, muestras de suelo sin aceite en los análisis

Con la finalidad de analizar y comparar la degradación del aceite en las muestras de suelo mediante el seguimiento de la variación en la composición de sus grupos

químicos funcionales, se empleó la técnica de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR), en un espectrómetro FT-IR Spectrum 100 (Perkin Elmer). Este análisis se realizó tres veces por semana durante 15 semanas a muestras de suelo+aceite virgen y suelo+aceite usado incubadas en capsulas de Petri, a temperatura ambiente (22,1 °C - 25,8 °C) bajo atmósfera húmeda, con el fin de minimizar la pérdida de humedad por evaporación.

Con el objetivo de cuantificar la respiración de las comunidades microbianas en las muestras de suelo se empleo la técnica de respirometría, siguiendo el método de Alef y Nannipieri (1995) modificado por Paolini (S.F). Este método se basa en la cuantificación del CO<sub>2</sub> producto de la respiración de los microorganismos presentes en el suelo. El CO<sub>2</sub> que se genera en un periodo de tiempo determinado es atrapado en una solución de NaOH, que se titula con HCl. Las muestras de suelo+aceite virgen y suelo+aceite usado se colocaron en bioreactores (frascos de vidrio de 250 ml) (por quintuplicado) que fueron incubados a temperatura ambiente (22,1 °C - 25,8 °C) por 15 semanas.

#### Resultados y Conclusiones.

Se encontraron diferencias importantes, más no radicales, en las propiedades físico-químicas del aceite mineral virgen y usado. Se observó un aumento del 35% en la viscosidad cinemática del aceite usado con respecto al aceite virgen. En cuanto a gravedad específica, se observa una disminución de 3,4% en el aceite usado con respecto al aceite virgen. El contenido de agua en el aceite usado fue 77% mayor que el encontrado en el aceite virgen. Se observó un aumento del 364% en concentración de partículas suspendidas de diámetro superior a 4 micrones para el aceite usado con respecto al aceite virgen. Estas variaciones se pueden interpretar como consecuencias del uso del lubricante y de procesos de oxidación asociados (Salas y Alfonso, 2011). Por otro lado, la disminución observada en el índice de acidez (número T.A.N.) entre aceite virgen y usado de un 25% indica que, para el kilometraje máximo recomendado por el fabricante (5.000 km de uso), el aceite mantuvo propiedades químicas dentro de rangos tolerables de uso.

Respecto a los resultados obtenidos a través del análisis de los espectros infrarrojos de las mezclas suelo+aceite virgen y suelo+aceite usado, incubadas y monitorizadas durante 15 semanas, se tomaron como marcadores a las señales espectrales que corresponden a los grupos funcionales metilo (CH<sub>3</sub>) y metileno (CH<sub>2</sub>), componentes terminales e internos, respectivamente, de las cadenas de alcanos del aceite. Para las mezclas suelo+aceite virgen y suelo+aceite usado se observó una disminución mayor al 80% en la concentración de grupos metilos y grupos metileno entre la semana 1 y la semana 15. Esta disminución se atribuye a procesos oxidativos del aceite por parte de los microorganismos nativos del suelo, como parte de su metabolismo. Por otra parte, inicialmente (Semana 1) la señal

correspondiente a los grupos funcionales metileno ( $\text{CH}_2$ ) es más intensa que la de los grupos funcionales metilo ( $\text{CH}_3$ ), es decir,  $(\text{CH}_2) > (\text{CH}_3)$  tanto para la mezcla suelo+aceite virgen como para la mezcla suelo+aceite usado. En el caso de la mezcla suelo+aceite virgen, esta diferencia se va reduciendo progresivamente hasta la semana 5, cuando se invierte esta relación, es decir,  $(\text{CH}_3) > (\text{CH}_2)$ , y la señal correspondiente a los grupos metilo ( $\text{CH}_3$ ) va siendo cada vez mayor con respecto a la de los grupos metileno ( $\text{CH}_2$ ) hasta el final de periodo estudiado (Semana 15). En el caso de la mezcla suelo+aceite usado, este comportamiento cambia en la semana 2, cuando la señal espectral de los metilos ( $\text{CH}_3$ ) pasa a ser mayor que la señal de los metilenos ( $\text{CH}_2$ ). Los cambios observados en esta relación  $(\text{CH}_3):(\text{CH}_2)$ , tanto para la mezcla suelo+aceite virgen como para la mezcla suelo+aceite usado, se atribuyen a que la oxidación secuencial de las cadenas carbonadas reduce progresivamente la longitud de las cadenas carbonadas mientras incrementa la cantidad de cadenas cada vez más cortas. El hecho de que el cambio en la relación  $(\text{CH}_3):(\text{CH}_2)$  ocurrió en un periodo de tiempo menor para la mezcla con el aceite usado (Día 2 Vs. Día 5) puede interpretarse como consecuencia de la degradación previa en su estructura debida al impacto de su uso como lubricante en el motor, lo cual a su vez se corresponde con las diferencias observadas en sus propiedades físico-químicas con respecto al aceite virgen.

En términos de la biodegradación estimada del aceite añadido inicialmente al suelo, la técnica de respirometría muestra, al final del periodo de incubación (15 semanas), una degradación total acumulada de 20% del aceite mineral virgen y 31% de aceite mineral usado. La diferencia, nuevamente, se atribuye a la degradación previa en la estructura del aceite usado, que aparentemente facilita su biodegradación. En base a los resultados obtenidos, ambas cinéticas de degradación se ajustaron a polinomios de 3° grado ( $R^2 > 9,7$ ): extrapolando en base a dichos polinomios se obtiene una proyección de degradación total (100%) del aceite virgen añadido en un lapso de aproximadamente 34 semanas, y de aproximadamente 29 semanas para el aceite mineral usado. La cinética de la biodegradación observada mediante respirometría se corresponde con los sucesivos cambios observados en el espectro infrarrojo para ambos aceites. El presente trabajo de investigación aporta información base sobre la capacidad de atenuación natural de suelo de bosque nublado, en condiciones de laboratorio, ante derrames de aceite mineral en bajas concentraciones, y evidencia una mayor biodegradabilidad del aceite mineral usado con respecto al aceite virgen.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alef, K., Nannipieri, P. (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. London.
- Beton, J (2002). *Agronomic handbook. Management of Crops, Soils, and Their Fertilit.* CRC Press. United States.
- Gabinete de Salud Laboral y Medio Ambiente. (2006). *Guia para gestión de aceites usados.* Equipo de Salud Laboral y Medio Ambiente de CC.OO. Navarra, España.
- Haynes, R. J. (2005). *Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview.* *Advances in Agronomy*, 85, 221-268.
- Orupold, K., Masirini, A. y Tenno, T. (2001). *Estimation of biodegradation of phenolic compounds on activated sludge by respirometry.* *Chemosphere* (44): 1273-1280
- Paolini, J. (S.F). *Actividad biológica (Liberación de CO2).* Centro de Ecología. Instituto Venezolano de Investigación Científica (IVIC).
- PDV. (2009). *Guía Completa de Productos.* Recuperado de [http://www.pdvsa.com/index.php?tpl=interface.sp/design/readmenuprinc.tpl.html&newsid\\_obj\\_id=175&newsid\\_temas=33](http://www.pdvsa.com/index.php?tpl=interface.sp/design/readmenuprinc.tpl.html&newsid_obj_id=175&newsid_temas=33)
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (2003). *Biodegradación de suelos contaminados con hidrocarburos policíclicos aromáticos.* Recuperado de [http://digital.csic.es/bitstream/10261/97108/1/Biodegradacion\\_suelos\\_contaminados\\_curso\\_edafolo.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/97108/1/Biodegradacion_suelos_contaminados_curso_edafolo.pdf)
- Salas, C. y Alfonso, G. (2011). *Evaluación experimental de un proceso de depuración multietapa para aceites lubricantes usados. (tesis de pregrado).* Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14576>
- USDA (1999). *Soil Taxonomy, Agriculture Handbook.* Editorial McGraw-Hill, segunda edición, Londres.

US-EPA (2000). Engineered Approaches to In Situ Bioremediation of Chlorinated Solvents. Fundamentals and Field Applications, Vol. EPA-542-R-00-008.

Varnero, M. (2006). Biodiversidad de Chile, Patrimonios y desafíos. Editorial CONAMA, primera edición. Chile.