

Recibido: 6 de octubre 2015. Aceptado: 28 de septiembre 2015.

Evaluación de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) sobre suelos urbanos en Maicao, Colombia

Resumen

Se evaluó la presencia de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y sus efectos sobre propiedades de suelos en el área urbana de Maicao, Colombia. Se seleccionaron 18 sitios, nueve con derrames históricos y nueve sin ellos y se evaluaron dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm). Se extrajeron los TPH de las fracciones mediana (método reflujo en Soxhlet, EPA 3540C) y pesada (método de reflujo en Soxhlet, EPA 3550C). Se identificaron por cromatografía de gases con detector de ionización de flama (CG-FID). Se determinaron parámetros del suelo relacionados con su potencial de adsorción: pH, conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico (CO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), textura, retención de humedad del suelo y estabilidad de agregados. Se estableció alto contenido de todas las fracciones de TPH con efecto diferencial sobre las capas del suelo. No se encontraron cambios significativos para textura ni CE. Hubo incremento en el contenido de CO del suelo (500%), agregación y estabilidad de agregados (200%), ligera disminución del pH, CIC y retención de humedad del suelo (23,5% superficie). Estos resultados señalan la vulnerabilidad de los suelos dentro del casco urbano ante la contaminación por TPH y la exposición de la población humana a estos contaminantes.

Palabras clave: calidad del suelo, contaminación del suelo por hidrocarburos, propiedades físicas del suelo, propiedades químicas del suelo.

Evaluation of total petroleum hydrocarbons (TPH) in urban soil from Maicao, Colombia

Abstract

The presence of total petroleum hydrocarbons (TPH) and their effects on soil properties in urban area of Maicao, Colombia, was evaluated. 18 sites were selected: nine contaminated and nine non-contaminated and two depths (0-30 cm and 30-60 cm) were evaluated. The medium TPH fraction (Soxhlet reflux method, EPA 3540C) and heavy TPH fraction (Soxhlet reflux method, EPA 3550C) were extracted. TPH were identified by gas chromatography with flame ionization detector (GC-FID). Soil parameters related potential adsorption were determined: pH, electrical conductivity (EC), organic carbon (OC), cation exchange capacity (CEC), texture; soil moisture retention, aggregate stability. High contents of TPH was found in all fractions. No significant changes were found for texture and (EC). There was an increase in the content of OC (500%), soil aggregation and aggregate stability (200%); slight decrease pH, CEC and soil moisture retention (23.5% soil surface). These results show the vulnerability of the urban soils to the TPH contamination and exposure of the human population to these contaminants.

Keywords: soil quality, soil contamination by hydrocarbons, physical soil properties, chemical soil properties.

Avaliação de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) em solo urbano em Maicao, Colômbia

Resumo

Foi avaliada a presença de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) e seus efeitos sobre as propriedades do solo na área urbana de Maicao, Colômbia. Foram selecionados 18 localidades, 9 com derrames históricos e 9 sem eles; 2 profundidades (0-30 cm e 30-60 cm). TPH foram extraídos do frações medianas (método do fluxo no Soxhlet, EPA 3540C) e frações pesadas (método reflujo Soxhlet, EPA 3550C). TPH foram identificados por cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (CG/FID). Parâmetros do solo relacionados com potencial de adsorção foram determinados: pH, condutividade elétrica (CE), carbono orgânico (CO), capacidade de troca de cátions (CC), textura; retenção de umidade do solo; estabilidade de agregados. Foi estabelecido um elevado nível de TPH em todas as frações, com efeito diferencial nas camadas superficiais do solo. Não foram encontradas diferenças significativas para a textura e CE. Houve um aumento do CO do solo (500%), a agregação e a estabilidade dos agregados (200%); ligeira diminuição no pH, CC e retenção de umidade do solo (23,5% da superfície). Estes resultados mostram a vulnerabilidade dos solos dentro da cidade pela contaminação com TPH e exposição da população humana a estes contaminantes.

Palavras-Chave: qualidade do solo, contaminação do solo por hidrocarbonetos, propriedades físicas do solo, propriedades químicas do solo.

Introducción

En el municipio de Maicao (11°N, 72°W), La Guajira, Colombia, se realizan actividades de distribución, almacenamiento, comercialización y consumo de hidrocarburos, que debido al manejo inadecuado se han vertido en el suelo (1) generando situaciones de riesgo ambientales (2) y la posible alteración de la calidad del suelo urbano. Para una adecuada gestión de este tipo de contaminación sobre el suelo y con base en la normatividad colombiana relacionada (3-5), es necesario conocer los efectos de los hidrocarburos derivados de petróleo (TPH) sobre las condiciones edáficas. Algunos estudios señalan que el derrame de TPH sobre los suelos altera sus propiedades: pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico (CO), estabilidad de agregados, retención de agua, afectación a los organismos del suelo y reducción en general de sus capacidades y usos potenciales (2,8-13).

Para estudiar los TPH se han clasificado por fracciones de acuerdo a su comportamiento en el agua y el suelo: (i) ligera o volátil (C_5-C_{10}), (ii) mediana ($C_{10}-C_{28}$) y (iii) pesada ($>C_{18}$) (6,7).

Ahora bien, desde la perspectiva química de la adsorción, el suelo es un complejo sólido poroso cuya densidad de carga se explica de acuerdo al modelo de Uehara y Keng (14):

$$\sigma\sigma = \frac{K\epsilon}{4\pi} \cdot \frac{RT}{F} \cdot \ln \frac{H^+}{H_0^+} = \frac{K\epsilon(0,059)}{4\pi} (pHi - pHs) \quad [1]$$

Donde: $\sigma\sigma$: Densidad de carga; K : recíproco espesor nube de iones que rodea a las partículas; ϕ_0 : potencial superficial; ϵ : constante dieléctrica del medio; R : constante de los gases; T : temperatura absoluta; F : constante de Faraday; pHi : punto isoelectrico del suelo; pHs : pH del suelo

De acuerdo a la última expresión (Ecuación [1]), la diferencia entre el punto isoelectrico y el pH del suelo explican la carga neta negativa en la mayoría de los suelos tropicales (15). Usualmente la CIC se ha estudiado en detalle para comprender los procesos de retención de iones por los coloides del suelo (16-19), la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la actividad de los organismos del suelo (20-22). Más

recientemente, se ha estudiado también la presencia de sustancias contaminantes como los hidrocarburos semivolátiles, llamados totales de petróleo TPH, para una gestión sostenible del suelo (2).

Con base en los anteriores planteamientos, se propuso evaluar la presencia de fracciones mediana y pesada de TPH y sus efectos sobre propiedades edáficas en suelos de la zona urbana del municipio de Maicao. De igual manera se busca señalar la posible alteración de la calidad de estos suelos, resultados que constituyen una base para los entes territoriales y las autoridades ambientales en el momento de decidir estrategias de manejo.

Materiales y métodos

Área de estudio

En Maicao (Figura 1), la temperatura oscila entre 27 y 28 °C. La precipitación anual es de 900 mm y la evapotranspiración se estima en 1501 mm, al ser esta última mayor a la precipitación, se evidencia déficit hídrico. Los suelos se caracterizan por ser entre superficiales a moderadamente profundos, bien drenados y de texturas franco arcillosas (23).

Número de muestras y diseño de muestreo

Para estimar el número de sitios de muestreo se siguió la metodología propuesta por NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 (5), sugiriendo un número entre 8 y 9 muestras por tratamiento. Con base en un reconocimiento previo del municipio sobre rutas de desplazamiento y sitios de almacenamiento de combustibles, se seleccionaron sobre un transecto de 1 km 9 sitios puntuales con antecedentes de derrames e incluso conflagraciones. En contraste se seleccionaron otros 9 sitios sin antecedentes de derrames, para tener finalmente 18 sitios muestreados. Como interesaba conocer si los contaminantes afectaban a lo largo del perfil del suelo, se realizaron muestreos en dos profundidades: 0-30 cm y 30-60 cm.

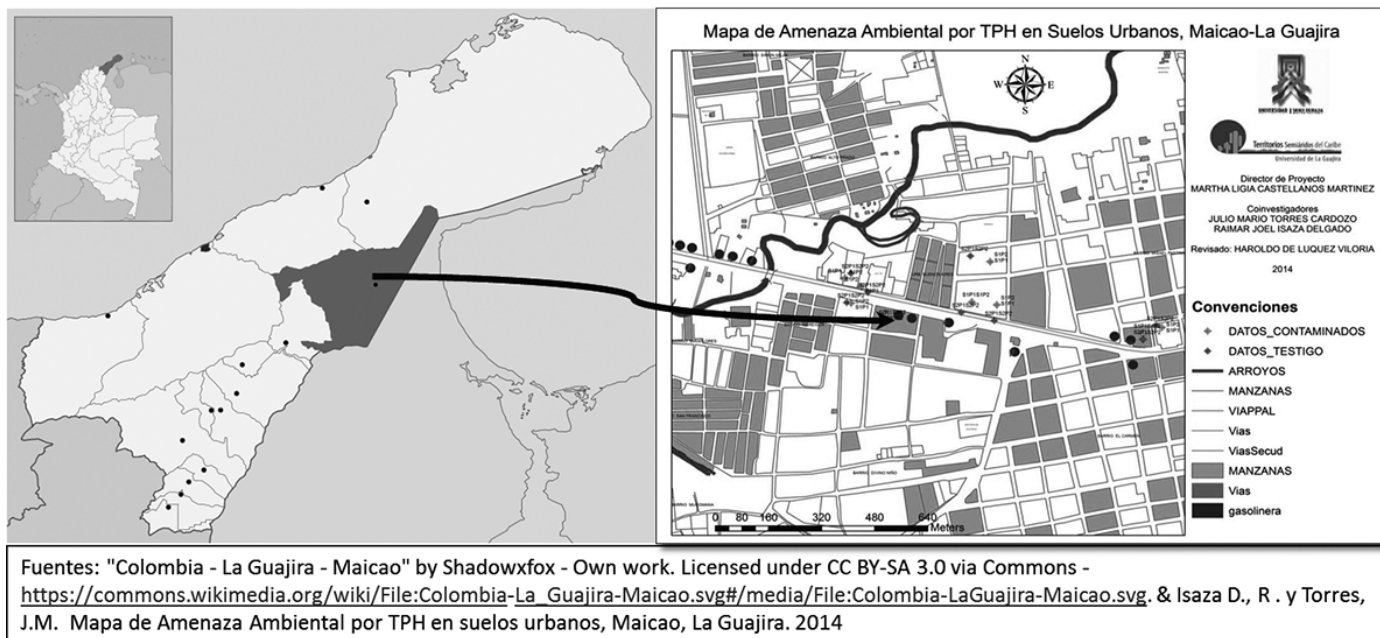


Figura 1. Localización de la zona de estudio, Maicao, La Guajira, Colombia

El diseño de muestreo fue completamente al azar, con los siguientes tratamientos: S1P1 (suelo contaminado a profundidad de 0-30 cm), S1P2 (suelo contaminado a profundidad de 30-60 cm), S2P1 (suelo no contaminado a profundidad de 0-30 cm), S2P2 (suelo no contaminado a profundidad 30-60 cm).

Las muestras se tomaron con un barreno (Edelmar Eijkelkamp) para suelos heterogéneos. En total se tomaron 36 muestras de 1 kg de suelo, de acuerdo a los tratamientos ya señalados. Se empacaron en bolsas plásticas de cierre hermético. Se analizaron en el laboratorio de Ciencias Ambientales de la Universidad de La Guajira sede Riohacha.

Toma de muestras de suelos para determinación de TPH

Con el fin de garantizar la integridad de las muestras para el análisis cromatográfico, se siguió el protocolo establecido por NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 (5), con ajustes en NOM-138-SEMARNAT/SSAI-2012 (6): (i) lavado del barreno con agua desionizada y jabón libre de fosfatos previo el muestreo. (ii) Las muestras fueron manipuladas utilizando guantes de látex quirúrgicos libres de talco. (iii) El barreno fue lavado entre muestreos con el fin de evitar contaminación cruzada. (iv) Luego de ser recolectadas, las muestras de suelo fueron empacadas en bolsas resellables de cierre hermético. (v) Se tomó aproximadamente 1 kg de muestra y se introdujeron en envases de vidrio transparente de boca ancha con tapa rosca, que previo a la toma de muestras, se lavaron con agua hirviendo y detergente libre de fosfatos. (vi) Los envases de vidrio fueron sellados con teflón para evitar el escape de hidrocarburos volatilizables. Así mismo se recubrieron con varias capas de papel aluminio previendo la descomposición fotoquímica de las cadenas carbonadas. (vii) Una vez empacadas y debidamente rotuladas, las muestras fueron refrigeradas a una temperatura aproximada de 4 °C para su posterior análisis.

Tratamiento de las muestras de suelos para análisis físico, químico y determinación de fracciones mediana y gruesa de TPH

Una vez en el laboratorio, todas las muestras de suelo se pusieron a secar al aire hasta lograr peso constante. Posteriormente se pasaron por el tamiz número 10 (2 mm) y se volvieron a empacar y rotular para su posterior análisis (Tabla 1).

Para las determinaciones de contenido de TPH se siguió el procedimiento sugerido por la EPA (25) y las normas mexicanas que se tomaron como referencia (5,6). Se extrajeron los TPH de las fracciones mediana (método reflujo en Soxhlet, EPA 3540C) y pesada (método de reflujo en Soxhlet, EPA 3550C) y se identificaron por cromatografía de gases con detector de ionización de flama (CG-FID), en los laboratorios de servicios ambientales "Envirotec Services, CA" de la ciudad de Caracas Venezuela.

Análisis estadístico

Al conjunto de datos (36 por parámetro de suelos) se aplicaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (distribución normalidad) y de Levene (homogeneidad de varianzas) que llevaron a la adopción de pruebas paramétricas para los posteriores análisis, de acuerdo a los tratamientos estudiados, pruebas de igualdad de medias por ANOVA y Kruskal-Wallis. Se adoptaron pruebas no paramétricas de correlación (Tau-b de Kendall, con significancias de 95%) para establecer naturaleza y grado de relación entre el contenido de TPH y las propiedades del suelo. Se contó con el software IBM SPSS 22 y Excel de Windows 8.0.

Resultados y discusión

Al conjunto de datos provenientes de las 36 muestras de suelos bajo los 4 tratamientos de estudio, se les aplicó la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, cuyos resultados se presentan en la Tabla 2. Sólo pH y humedad del suelo (%) cumplen la condición de la prueba. En la Tabla 3 se presentan los resultados de la prueba para homogeneidad de varianzas aplicada al mismo grupo de datos, en cumplimiento de otro criterio de distribución normal de los errores de los datos. Con base en los resultados de estas pruebas, se realizó la comparación de medias de los parámetros edáficos mediante la prueba paramétrica ANOVA para pH y humedad del suelo (%) y prueba de Kruskal-Wallis para los demás parámetros estudiados.

Tabla 1. Parámetros edáficos evaluados y sus métodos de análisis (24)

Parámetro	Método Analítico
pH	Potenciómetro, Dilución 1:1
Conductividad eléctrica, CE (dS/m)	Extracción de pasta de saturación Conductímetro
CIC (cmol(+)/kg)	Método de acetato de Amonio 1N a pH 7.0
Carbono Orgánico, CO (mg/kg)	Método de Walkley and Black por combustión húmeda y calentamiento externo
Estabilidad de Agregados (diámetro medio ponderado, DMP)	Tamizado mecánico (Yoder)
Retención de humedad (%)	Método gravimétrico
Textura para contenido de arcillas (%), arenas (%), limos (%)	Método de Bouyucos

Tabla 2. Prueba de Kolmogorov-Smirnov (N = 36) a propiedades físicas y químicas de los suelos urbanos del municipio de Maicao, noviembre 2013 (si $p > 0,05$ se acepta H_0)

		pH	CE (dS/m)	CO (g/kg)	Arenas (%)	Arcillas (%)	Limos (%)	Estabilidad_ agregados (DPM)	CIC (cmol(+)/kg)	Retención Humedad (%)	TPH en fracción mediana (ppm)	TPH en fracción pesada (ppm)
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0,127	0,208	0,301	0,173	0,185	0,174	0,321	0,168	0,085	0,262	0,274
	Positivo	0,096	0,208	0,301	0,091	0,185	0,174	0,321	0,168	0,085	0,238	0,226
	Negativo	-0,127	-0,17	-0,269	-0,173	-0,118	-0,081	-0,215	-0,11	-0,078	-0,262	-0,274
Estadístico de prueba		0,127	0,208	0,301	0,173	0,185	0,174	0,321	0,168	0,085	0,262	0,274
Sig. asintótica (bilateral)		0,155	0,000	0,000	0,008	0,003	0,008	0,000	0,012	0,200	0,000	0,000

Tabla 3. Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene (N=36) a propiedades físicas y químicas de los suelos urbanos del municipio de Maicao, noviembre 2013 (si $p > 0,05$ se acepta H_0)

	pH	CE (dS/m)	CO (mg/kg)	Arenas (%)	Arcillas (%)	Limos (%)	Estabilidad_ agregados (DPM)	CIC (cmol(+)/kg)	Retención Humedad (%)	TPH en fracción mediana (ppm)	TPH en fracción pesada (ppm)
Estadístico de Levene	1,103	3,311	5,765	3,078	6,166	1,579	7,105	2,181	0,367	7,459	5,652
df1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
df2	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Sig.	0,362	0,032	0,003	0,041	0,002	0,214	0,001	0,11	0,777	0,001	0,003

En la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis de ANOVA, que señalan diferencias entre los tratamientos del estudio ($p < 0,05$), es decir, la contaminación de hidrocarburos sobre el suelo afectan el pH y la retención de humedad del suelo.

En la Figura 2 se presenta el pH del suelo bajo los tratamientos estudiados, los cuales muestran una ligera disminución en los suelos que han sufrido los vertimientos de TPH (3,5% en la primera capa; 4,9% en la segunda capa). La disminución en los valores de pH concuerdan con lo encontrado en otros estudios (26-28), los cuales señalan que la presencia de hidrocarburos en suelos arenosos (como el que nos compete) facilita la oxidación de las cadenas carbonadas por parte de los microorganismos. A su vez, en el proceso de biodegradación, se produce la libe-

ración de ácidos grasos y compuestos de cadena larga que se comportan como ácidos débiles (29), lo cual podría explicar los resultados de correlación con las fracciones de TPH (fracción mediana -0,271*; pesada -0,249*), CO (-0,279') y estabilidad de agregados (-0,344'').

En la Figura 3 se presenta la retención de humedad del suelo (%) bajo los tratamientos de estudio, los cuales muestran la disminución de la humedad por efecto de los vertimientos de TPH, particularmente en la primera capa del suelo de 23,3%; en la segunda capa la disminución fue de 2,8%. Esta disminución se debe al efecto impermeabilizante que causan los TPH sobre las partículas del suelo por efecto de las características poco polares de sus moléculas, reportado en otros estudios (30), por la capacidad de adsorción de los capilares del suelo (14), además de

Tabla 4. ANOVA de pH y retención de humedad (%) del suelo por los tratamientos S1P1, S1P2, S2P1, S2P2, en Maicao, noviembre 2013 (N=36; si $p < 0,05$ se rechaza H_0)

				Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos (S1P1, S1P2, S2P1, S2P2)	(Combinado)		1,595	3	0,532	4,854	0,007
		Término lineal	Contraste	1,463	1	1,463	13,362	0,001
			Desviación	0,131	2	0,066	0,6	0,555
	Dentro de grupos		3,505	32	0,11			
	Total		5,099	35				
Humedad (%)	Entre grupos (S1P1, S1P2, S2P1, S2P2)	(Combinado)		640,243	3	213,414	3,512	0,026
		Término lineal	Contraste	96,068	1	96,068	1,581	0,218
			Desviación	544,175	2	272,087	4,478	0,019
	Dentro de grupos		1944,333	32	60,76			
	Total		2584,576	35				

la influencia de la textura y la materia orgánica (31) y su influencia sobre la CIC medido mediante correlación (0,286). También se ha planteado que fluidos no acuosos como los TPH pueden quedar atrapados por las arcillas por tener mayor área superficial, formando manchas dentro de las zonas insaturadas por algún tiempo. Así, los sitios donde usualmente se encuentra el agua son ocupados por los TPH sin carga, poco polares, provocando la impermeabilización e hidrofobicidad del suelo (32), circunstancia que incrementa la vulnerabilidad de estos suelos al tensor ambiental sequía.

En la Tabla 5 se presentan los resultados de prueba de medias de Kruskal-Wallis, indicando que existen diferencias en CIC, CO, estabilidad de agregados y las fracciones mediana y pesadas de TPH.

Con relación a la CIC, se ha señalado que es una de las propiedades del suelo más afectadas por los TPH (33), encontrando datos de correlación con la fracción mediana de -0,58** y con la fracción pesada -0,65**, y se explica por la posible adhesión de los TPH a las partículas del suelo (14,15), interfiriendo en la interacción con los cationes intercambiables llevando a su disminución (30,31). En la Figura 4 se observan valores más bajos de CIC en los suelos contaminados, que incluso afecta a la capa de suelo más profunda del estudio (30-60 cm).

El CO del suelo es otra de las propiedades más afectadas por los TPH (correlación fracción mediana 0,55**; fracción pesada 0,40**), pues hubo incremento en la capa del suelo más expuesta (0-30 cm), algo más de 5 veces el contenido original, lo cual se explica por la capacidad

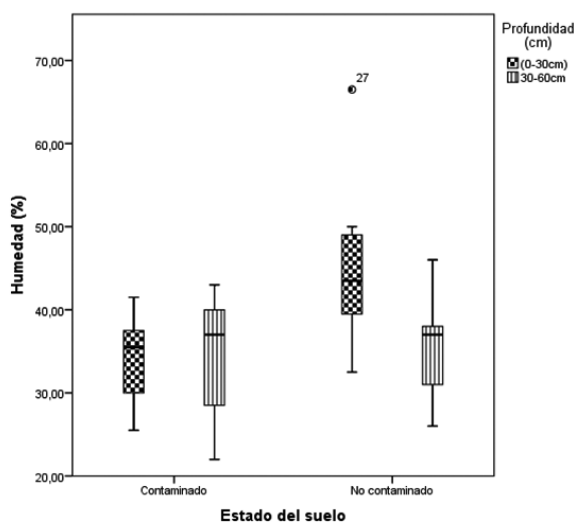


Figura 3. Valores promedio de retención de humedad del suelo, estado contaminado y no contaminado, a dos profundidades (0-30 cm; 30-60 cm), zona urbana de Maicao, noviembre de 2013

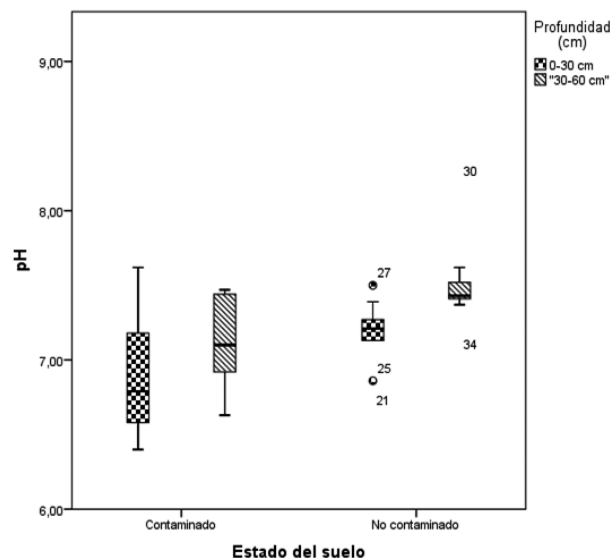


Figura 2. Valores promedio de pH del suelo, estado contaminado y no contaminado, a dos profundidades (0-30 cm; 30-60 cm), zona urbana de Maicao, noviembre de 2013

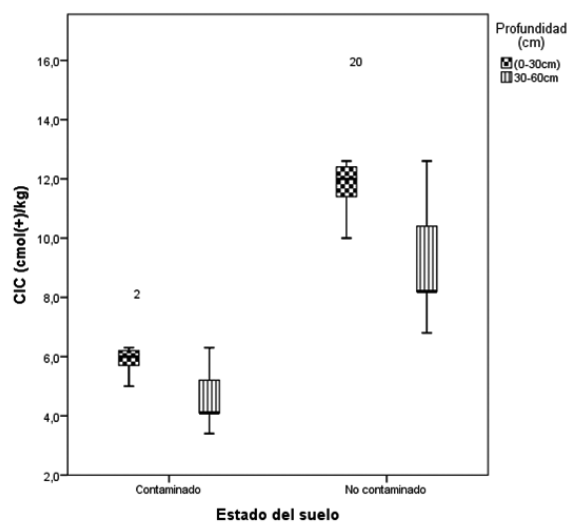


Figura 4. Valores promedio de CIC (cmol(+)/kg) del suelo, estado contaminado y no contaminado, a dos profundidades (0-30 cm; 30-60 cm), zona urbana de Maicao, noviembre de 2013

Tabla 5. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para CE, CO, arenas, arcillas, limos, estabilidad de agregados, CIC, fracciones mediana y pesada de TPH, del suelo por los tratamientos S1P1, S1P2, S2P1, S2P2, en Maicao, noviembre 2013 (N=36; si p < 0,05 se rechaza Ho)

	CE (dS/m)	CO (mg/kg)	Arenas (%)	Arcillas (%)	Limos (%)	Estabilidad agregados (DPM)	CIC (cmol(+)/kg)	TPH en fracción mediana (mg/kg)	TPH en fracción pesada (mg/kg)
Chi-cuadrado	4,599	19,698	7,389	7,271	5,007	16,526	29,974	30,883	31,619
Gl (4 tratamientos -1)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Sig. asintótica	0,204	0	0,06	0,064	0,171	0,001	0	0	0

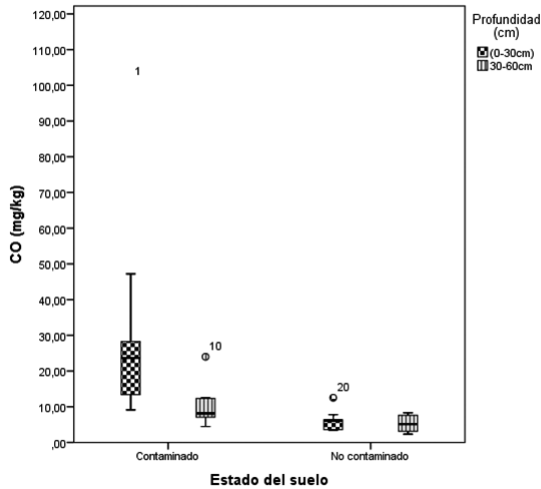


Figura 5. Valores promedio de CO (mg/kg) del suelo, estado contaminado y no contaminado, a dos profundidades (0-30 cm; 30-60 cm), zona urbana de Maicao, noviembre de 2013

de adsorción del suelo de sus capilares y por la carga superficial de las arcillas (28,30,31) (Figura 5). Se observaron correlaciones muy significativas con la estabilidad de agregados (0,453**) y CIC (-0,315**). El incremento en la capa de 30-60 cm (casi el doble) indicaría que hay infiltración de estas sustancias en el perfil del suelo, lo cual lleva a recomendar a seguir evaluando este aspecto al igual que la relación inversa entre CO y CIC por estos resultados, pues el componente orgánico usualmente contribuye al incremento de la CIC (15).

La estabilidad de agregados, que está relacionada con la estructura del suelo, mostró también incremento (200%) en los suelos contaminados por TPH (Figura 6). Se observa una correlación con fracción mediana de 0,474** y la fracción pesada de 0,320**, lo cual se explicaría por el alto índice de viscosidad de los TPH, con efecto cementante y aglomerante entre las partículas del suelo (26,28) por la capacidad de adsorción generada por la CIC.

En la Figura 7 se presenta la concentración promedio de las fracciones mediana y pesada de TPH en cada profundidad por sitio de muestreo. Se encontró mayor concentración de la fracción mediana de TPH en la primera capa del suelo, y la fracción pesada fue mayor en la siguiente capa (30-60 cm). Hubo correlación altamente significativa entre los contenidos de las fracciones de TPH (0,715**).

De acuerdo a la Tabla 5, no se observaron cambios significativos en la textura del suelo, mediante el análisis de su composición granulométrica (arenas, arcillas y limos), y tampoco en la CE, debido a los vertimientos de los TPH.

Conclusiones

Se pudo evidenciar que la contaminación del suelo por los TPH produce cambios en las propiedades físicas y químicas alterando su condición natural, principalmente en las capas expuestas directamente a los vertimientos.

Se encontró una reducción promedio del pH del suelo equivalente a 3,5% y 4,9% en la primera y segunda capa del perfil, respectivamente, por efecto del vertimiento de TPH.

Se evidenció una reducción en la retención de humedad del suelo en la primera capa equivalente a 23,25% y en la segunda una reducción del 2,8%, circunstancia que incrementa la vulnerabilidad de estos suelos al tensor ambiental sequía.

Hubo incremento en el contenido de CO (500%) y de la estabilidad de agregados (200%), y reducción en la CIC (50%) en estos suelos, por lo

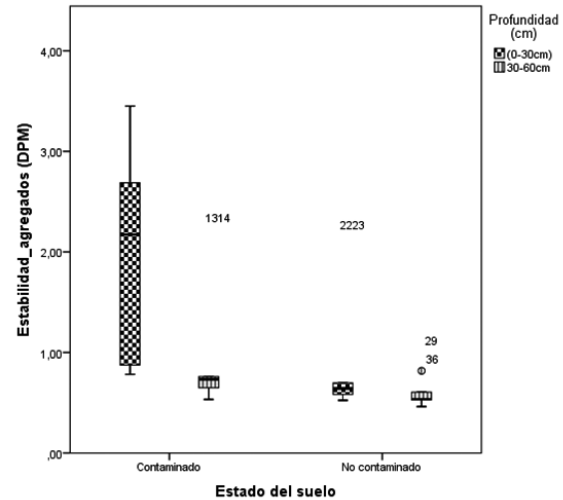


Figura 6. Valores promedio de Estabilidad de agregados (DPM) del suelo, estado contaminado y no contaminado, a dos profundidades (0-30 cm; 30-60 cm), zona urbana de Maicao, noviembre de 2013

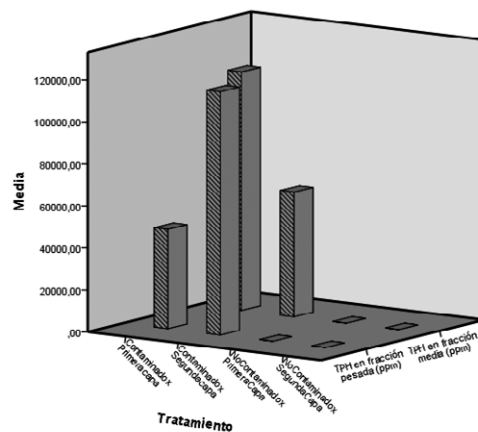


Figura 7. Valores promedio del contenido de TPH, fracciones mediana y pesada (ppm), del suelo, tratamientos contaminado y no contaminado, a dos profundidades (0-30 cm; 30-60 cm), zona urbana de Maicao, noviembre de 2013

cual se recomienda seguir estudiando la implementación de técnicas de descontaminación de los mismos, con base en la capacidad de adsorción.

No se observaron cambios significativos sobre la CE y textura del suelo debido a los vertimientos de TPH.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Universidad de La Guajira a través de INESAG y del Centro de Investigaciones por la realización de este estudio.

Referencias

1. Municipio de Maicao, Departamento de La Guajira. 2012. Plan de desarrollo Maicao de la mano con la gente, rumbo al centenario. Disponible en: http://www.maicao-laguajira.gov.co/apc-aa-files/62306434343132353932663863663238/PDM_JUNIO.pdf. (Consultado 2 de julio de 2015)

2. Pinedo Alonso, J. Evaluación de riesgos en suelos afectados por hidrocarburos de petróleo. Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria, Departamento de Ingeniería Química y Biomolecular, Santander, 2014.
3. República de Colombia. Ministerio del Interior. Decreto 321 de 1999. Plan nacional de contingencia contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas, 1999. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/25-dec_0321_1999.pdf. (Consultado 5 de mayo de 2015)
4. República de Colombia. Decreto 1523 de 2012. Gestión del riesgo de Desastres. 2012. Disponible en: http://www.colombiahumanitaria.gov.co/FNC/Documents/2011/especiales/ley_1523.pdf (Consultado 9 de mayo de 2015)
5. República de Colombia. Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Disponible en: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/08/Decreto-Unico-Reglamentario-Sector-Ambiental-1076-Mayo-2015.pdf>. (Consultado 15 de julio de 2015)
6. Estados Unidos Mexicanos. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. Disponible en: <http://www.bdlaw.com/assets/htmldocuments/Mexico%20-%20NOM-138.pdf>. (Consultado el 13 de junio de 2015)
7. Estados Unidos Mexicanos. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación. Disponible en <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6646/1/nom-138-semarnat.ssa1-2012.pdf>. (Consultado el 14 de junio de 2015)
8. Roy, J.; McGill, W. Investigation into mechanisms leading to the development, spread and persistence of soil water repellency following contamination by crude oil. *Can. J. Soil Sci.* **2000**, *80*, 595-606. DOI: <http://dx.doi.org/10.4141/S99-091>
9. Zavala-Cruz, J.; Gavi-Reyes, F.; Adams-Schroeder, R.; Ferrera-Cerrato, R.; Palma-López, D.; Vaquera-Huerta, H., *et al.* Derrames de petróleo en suelos y adaptación de pastos tropicales en el Activo Cinco Presidentes, Tabasco, México. *Terra latinoamericana.* **2005**, *23* (3), 293-302.
10. Vallejo, V.; Salgado, L.; Roldan, F. Evaluación de la bioestimulación en la biodegradación de TPHs en suelos contaminados con petróleo. *Rev. Colomb. Biotecnol.* **2005**, *2*, 67-78.
11. Adams, R. H.; Álvarez-Ovando, A. L.; Escalante-Espinosa, E.; Gutiérrez-Rojas, M. Dose. Response relationship of organisms in soil with heavily weathered hydrocarbons and changes in fertility parameters. In *13th International Environmental Petroleum Conference*, Proceedings of the International Environmental Petroleum Consortium, San Antonio, Texas, 16-20 October 2006.
12. Benavides, L.; Quintero, G. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova.* **2006**, *4*, 4.
13. CORPO-RISARALDA; UTR. Mejoramiento de la gestión ambiental de las estaciones de servicio de Risaralda- Pereira. 2007.
14. Uehara, G., & Keng, J.-W. Management implications of soil mineralogy in Latin america. In *A. Agency for International Development, Symposium on Management of Tropical Soils, Cali, Colombia: U.S.A.*, 1974; pp 61-92.
15. Garavito Neira, F. Propiedades químicas de los suelos, 2a. ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC: Bogotá, Colombia, 1979.
16. Parfitt, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. In *Adv. Agron.* **1979**, *30*, 1-50. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60702-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60702-6).
17. Bergaya, F.; Vayer, M. CEC of clays: measurement by adsorption of a copper ethylenediamine complex. *Appl. Clay Sci.* **1997**, *12* (3), 275-280. DOI: [http://dx.doi.org/doi:10.1016/S0169-1317\(97\)00012-4](http://dx.doi.org/doi:10.1016/S0169-1317(97)00012-4)
18. Tournassat, C.; Greneche, J.-M.; Tisserand, D.; Charlet, L. The titration of clay minerals: I. Discontinuous backtitration technique combined with CEC measurements. *J. Colloid Interface Sci.* **2004**, *273* (1), 224-233. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2003.11.021>
19. Dohrmann, R. Cation exchange capacity methodology II: a modified silver-thiourea method. *Appl. Clay Sci.* **2006**, *34* (1-4), 38-46. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2006.02.009>
20. Gregory, P.J. Growth and functioning of plant roots. In *Rusell's Soil conditions and plant growth*, 19th ed; Wild A. (Ed). Department of Soil Science: University of Reading Longman Scientific and Technical, 1988; pp 113-167.
21. Schlesinger, W.H. Biogeoquímica: un análisis del cambio global. Joan Riera Ed. Ariel Ciencia S.A: Barcelona, España, 2000; p 580.
22. Lora-Silva, R. Factores que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas. En *Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control*, 2da. Ed; Francisco Silva Mojica Ed. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo: Bogotá, D.C., 2001; pp 29-55.
23. IGAC. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de la Guajira, 1^a ed. Imprenta Nacional de Colombia: Riohacha, La Guajira, Colombia, 2009.
24. IGAC. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi: Bogotá, Colombia, 2006; Vol. 5.
25. EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov>. (Consultado el 22 de enero de 2015)
26. Caravaca, F.; Roldán, A. Assessing changes in physical and biological properties in a soil contaminated by oil sludges under semiarid Mediterranean conditions. *Geoderma.* **2003**, *117*, 53-61. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00118-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00118-6).
27. De la Garza, F. R.; Ortiz, Y. P.; Macias, B. A.; García, C.; Coll, D. Actividad biótica del suelo y la contaminación por hidrocarburos. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales.* **2008**, *4* (2), 49-54.
28. Martínez, V. E.; López, S. F. Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelos arcillosos. *Terra Latinoamericana.* **2001**, *19*, 9-17.
29. Sadzawka, R.; Campillo, R. Problemática de la acidez de los suelos de la XI región. I. Génesis y características del proceso. *INIA.* **1993**, *12* (3), 3-7.
30. Fine, P.; Graber, E. R.; Yaron, B. Soil interactions with petroleum hydrocarbons: abiotic processes. *Soil Technol.* **1997**, *10* 133-153. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0933-3630\(96\)00088-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0933-3630(96)00088-8)
31. Méndez, E.; Castellanos, D.; Alba, G. I.; Hernández, G.; Solís, S.; Levesse, G.; *et al.* Effect in the physical and chemical properties of Gleysol Soil after an electro-kinetic treatment in presence of surfactant Triton x-114 to remove hydrocarbon. *Int. J. Electrochem. Sci.* **2011**, *6*, 1250-1268.
32. Schwillie, F. Groundwater pollution in porous media by fluids immiscible with water. *Sci. Total Environ.* **1981**, *21*, 173-185. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697\(81\)90150-9](http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697(81)90150-9).
33. Pignatello, J.; Xing, B. Mechanisms of show sorption of organic chemicals to natural particles. *Environ. Sci. Technol.* **1996**, *30*, 1-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/es940683g>

Article citation:

Castellanos, M.L.; Isaza, R.J.; Torres, J.M. Evaluación de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) sobre suelos urbanos en Maicao, Colombia. *Rev. Colomb. Quim.* **2015**, *44* (3), 11-17. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n3.55605>