SUELOS ECUATORIALES

Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo

https://doi.org/10.47864/se552025p131140

Remediación química de suelos contaminados en Aguachica, Cesar por el apoderamiento ilícito de hidrocarburos

Chemical remediation of contaminated soils in Aguachica, Cesar due to the illicit appropriation of hydrocarbons

Rosalina González Forero[1*], Sergio Vélez Rey[1]
Alejandro Islas García[2], Jhoan Torres Vergara[3], Alejandro Melo Molina[3]

[1*] Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.
[2] Universidad La Salle México, Ciudad de México, México.
[3] Policía Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Vol. 55 (1 y 2) de 2025 | pp: 131-140 | ISSN 0562-5351 E-ISSN 2665-6558 | REC.: 23/08/2026 - ACEP.: 10/09/2026

RESUMEN

En Colombia, el delito de apoderamiento ilícito de hidrocarburos dejó para el año 2024, 173 hurtos en el departamento del Cesar, principalmente en el municipio de Aguachica. Donde los daños han sido incalculables en los ecosistemas, ya que durante el hurto se instalan válvulas en el oleoducto o poliducto afectado, generando derrames en las zonas aledañas al mismo, debido a la naturaleza tóxica, peligrosa e inflamable de los materiales involucrados, que depositan en suelos y fuentes hídricas cercanas. El protocolo de intervención actual involucra la detección de los tramos de fuga por diferencia de presión en la tubería, dando aviso a la Policía Nacional de Colombia Grupo de Operaciones Especiales Hidrocarburos conocido como GOES-H, el cual identifica el punto exacto, asegura la zona y se comunica con el operador de Ecopetrol, quien envía una cuadrilla, los cuales realizan una excavación en el área para reparar la tubería y vuelven a colocar el suelo removido de forma disturbada y con todo el hidrocarburo mezclado. Desafortunadamente, no hay un protocolo ambiental de recuperación de suelos contaminados y municipios como Aguachica en el departamento del Cesar, están muy afectados en este recurso. Debido a lo anterior, la Universidad de La Salle en alianza con la Dirección de Carabineros/Grupo GOES-H, decidieron caracterizar y analizar soluciones al daño ambiental generado, utilizando técnicas de Remediación Química, para ello, se realizaron muestreos selectivos en puntos de contaminación identificados, análisis fisicoquímico y microbiológico de dichos suelos y también de puntos cercanos de no contaminación; posteriormente, se hizo el diseño, montaje y estudio de la eliminación tóxica, utilizando un degradador molecular comercial de hidrocarburos, el cual, después del tratamiento, mostró una reducción de hidrocarburos del 64%, tras una semana de acción, lo que evidencia una buena y rápida remoción del material peligroso, sin embargo, aspectos como estratificación, textura y la presencia de lixiviados generados, son aspectos ambientales necesarios a considerar, ya que el recurso suelo requiere de una intervención adicional para su remediación completa.

Palabras clave: Aguachica-Cesar, Contaminación Ambiental, Remediación Química.

ABSTRACT

In Colombia, the crime of illegal appropriation of hydrocarbons resulted in 173 thefts in the department of Cesar in 2024, primarily in the municipality of Aguachica. The damage to ecosystems has been incalculable, as valves are installed on the affected oil or multi-product pipeline during the theft, causing spills in the surrounding areas due to the toxic, hazardous, and flammable nature of the materials involved, which are deposited in nearby soils and water sources. The current intervention protocol involves detecting leaks by measuring pressure differences in the pipeline and notifying the Colombian National Police's Special Operations Group for Hydrocarbons (GOES-H). GOES-H identifies the exact location, secures the area, and contacts the Ecopetrol operator, who dispatches a crew. This crew excavates the area to repair the pipeline and replaces the removed soil, which is still contaminated with hydrocarbons. Unfortunately, there is no environmental protocol for the remediation of contaminated soil, and municipalities like Aguachica in the department of Cesar are severely affected in this regard. Therefore, La Salle University, in partnership with the Carabineros Directorate/GOES-H Group, decided to characterize and analyze solutions to the environmental damage generated by using chemical remediation techniques. To this end, selective sampling was carried out at identified contamination points, along with physicochemical and microbiological analyses of the soils and nearby uncontaminated areas. Subsequently, the design, implementation, and study of toxic removal were conducted using a commercial molecular hydrocarbon degrader. After treatment, a 64% reduction in hydrocarbons was observed after one week, demonstrating good and rapid removal of the hazardous material. However, aspects such as stratification, texture, and the presence of generated leachate are necessary environmental considerations, as the soil resource requires further intervention for complete remediation.

Keywords: Aguachica-Cesar, Environmental Pollution, Chemical Remediation.

INTRODUCCIÓN

El apoderamiento ilícito de hidrocarburos en Colombia se tipificó como delito, en el año 2006 (República de Colombia , 2000) y desde ese entonces, 20 años después, es totalmente vigente, ha sido recurrente y las afectaciones al recurso suelo son una gran preocupación. Del total de válvulas encontradas para 2024 el 78% fue en el Departamento del Cesar y de ellas, el 38% en el municipio de Aguachica (Policía Nacional de Colombia, 2024). Estas válvulas ilícitas, según Ecopetrol (2017) son dispositivos rudimentarios y artesanales que los delincuentes usan para robar hidrocarburos y producen derrames que en algunos casos generan piscinas. En la siguiente figura se aprecian los tanques, válvulas y piscinas que son inhabilitadas por la Policía Nacional:



Figura 1. Tanques, válvulas y piscinas que son inhabilitadas por la Policía Nacional. **Fuente**: Policía Nacional de Colombia (2025).

Suelos Ecuatoriales 55 (1 y 2): 131-140. https://doi.org/10.47864/se552025p131140

Como se aprecia en la figura 1, un fenómeno consecuente al apoderamiento ilícito es la contaminación de suelos y ecosistemas circundantes. Ya que según Adeniran et al., 2024, los hidrocarburos son sustancias orgánicas compuestas principalmente por átomos de hidrógeno y carbono, que se encuentran comúnmente en productos derivados del petróleo como la gasolina, el diésel y el ACPM. Los cuáles al ser liberados en el ambiente, a través de diversas actividades humanas tales como la eliminación inadecuada de residuos o los derrames incontrolados, pueden permanecer en el medio ambiente durante períodos prolongados, lo que resulta en impactos perjudiciales en la calidad del aire, el agua y el suelo. En Colombia, la infraestructura de transporte de hidrocarburos ha sido blanco frecuente de actividades ilegales, como perforaciones clandestinas y conexiones ilícitas, que derivan en derrames de crudo y otros combustibles, estas acciones ilícitas amplifican los riesgos ecológicos y sociales al generar suelos degradados, pérdida de productividad agrícola y daños prolongados a los ecosistemas (Policía Nacional, 2020; Cenit, 2020). Asimismo, los riesgos a la salud de las personas que viven en las zonas afectadas, ya que ocasionan afecciones respiratorias crónicas, daños hepáticos y neurológicos (Gutiérrez et al., 2023). Además, que estos en el momento del derrame ocupan los espacios porosos del suelo, afectando su estructura y productividad, con la consecuente pérdida de biodiversidad; y al ser el suelo el soporte del agua, generalmente estos hidrocarburos alcanzan los cuerpos de aguas subterráneos y superficiales cercanos, contaminando reales y potenciales fuentes de agua potable lo que genera efectos perjudiciales para los organismos acuáticos y seres humanos (Omeiza, et al., 2023).

Teniendo en cuenta estos aspectos, la alianza Universidad de La Salle y DICAR/GOES-H, en un esfuerzo importante, por la naturaleza de las condiciones del delito, realizaron un muestreo de suelos recientemente contaminado con hidrocarburos y buscaron remediar este recurso con técnicas de remediación química, ya que son rápidas y eficientes en la eliminación de sustancias tóxicas, donde el propósito de la investigación fue información técnica confiable que sirva como herramienta para la toma de decisiones institucionales y ambientales, fortaleciendo la capacidad del Estado y de la Policía Nacional para enfrentar los efectos del apoderamiento ilícito de hidrocarburos desde una perspectiva científica, preventiva y de restauración ecológica. Además, se busca contribuir al desarrollo de estrategias replicables en otras regiones del país, orientadas a la recuperación de suelos contaminados y a la mitigación de riesgos ambientales asociados a este tipo de delitos.

METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la secuencia metodológica realizada en el presente estudio que abarca las fases de muestreo de suelo, análisis de laboratorio, impacto y pruebas de remediación ambiental a nivel laboratorio, para zonas afectadas por el apoderamiento ilícito de hidrocarburos en el Municipio de Aguachica-Cesar.

Muestreo

Con el fin de caracterizar los suelos, se realizó un muestreo selectivo, ya que los puntos eran muy característicos en la contaminación y este tipo de muestreo se utiliza cuando hay diferencias marcadas en color, disrupción en su estructura y otras características especiales (Universidad Europea del Atlántico, 2020). Este punto contaminado se denominó Aguachica 2, de Latitud (Y): 8.506 y Longitud (X): -73.640. Físicamente era un suelo seco, duro, con presencia de actividad ganadera en la zona aledaña. Adicionalmente, se tomó una

muestra de un punto cercano no removido por el operador de Ecopetrol, al que se denominó Aguachica 1(punto blanco), tomado en una zona no contaminada, con el fin de establecer impactos generados al recurso. Se tomaron 2 Kg de cada muestra. En la Figura 2. Se aprecian imágenes del muestreo realizado:



Figura 2. Muestreo de suelos en la zona de estudio. **Fuente**: Autores.

Análisis Fisicoquímico de las Muestras

Con el fin de establecer la composición fisicoquímica de las muestras, se tomó contacto con la Empresa Colombiana de Petróleo (Ecopetrol), y a través del Instituto Colombiano del Petróleo ICP, se llevaron a cabo los análisis para determinar tanto las concentraciones de hidrocarburos como características del suelo, tales como su contenido de nitrógeno, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico y otras variables clave, para definir el estado de degradación del ecosistema y así identificar el nivel de afectación ambiental. Estos análisis se realizaron en el departamento de Santander por la cercanía a los puntos de muestreo.

Remediación Ambiental

Con el fin de brindar solución a la afectación anteriormente encontrada, en un esfuerzo para la mejora de las comunidades afectadas, la DICAR/GOES-H asumiendo su función de “proteger a todos los ciudadanos Colombianos, en su vida honra y bienes” (Policía Nacional de Colombia, 2012), y la Universidad de La Salle, decidieron utilizar la técnica de Remediación Química, por su capacidad de transformar los contaminantes en sustancias menos tóxicas o más estables, aplicando reactivos químicos. Generalmente estos procesos buscan una oxidación química in situ en el suelo, para degradar rápidamente contaminantes orgánicos como combustibles, disolventes y pesticidas (Martín, 2023). Su eficacia depende de la distribución homogénea del oxidante y de la presencia de sustancias que puedan consumirlo de manera no productiva, como la materia orgánica del suelo (WSP, 2023). Para realizar el procedimiento y brindar una solución acorde con la realidad y el mercado nacional, se contactó una empresa comercial, la cuál asistió la remediación con un agente químico que se denominará DE.

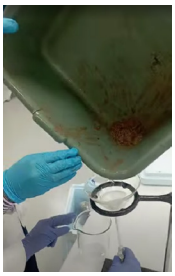
Para el caso particular la proporción utilizada es 50 gr de suelo: 20 mL DE: 100 mL de Agua, aplicando al suelo por aspersión inicialmente el agente químico y luego el agua, posteriormente se homogeniza la muestra, es de anotar que para el caso particular de este suelo se observó sobresaturación y hubo que realizar el drenaje de excesos de agua. Una de las ventajas de este agente químico es que no requiere un tipo de agua especial, puede emplearse agua de la llave, y en aplicaciones a gran escala, es posible utilizar agua de río o de la fuente más cercana disponible. Posterior a la homogenización, el suelo es extendido en una bandeja, ya que la aireación es fundamental en el proceso de oxidación para optimizar su eficiencia. Después de realizar

Suelos Ecuatoriales 55 (1 y 2): 131-140. https://doi.org/10.47864/se552025p131140

estas etapas se esperan 24 horas y se hace un volteo al suelo con el propósito de optimizar la aireación. En la Figura 3, se aprecia la secuencia fotográfica del procedimiento realizado:



Mezcla de reactivos



Remoción de Excesos



Extensión del Suelo



Aireación de Muestra

Figura 3. Proceso de remediación química. **Fuente**: Autores.

Una vez seco el suelo, la muestra fue llevada a un laboratorio certificado en análisis de hidrocarburos en la ciudad de Bogotá, al laboratorio Dr. Calderón, para establecer el contenido final de hidrocarburos. Adicionalmente al agua de exceso se le practicaron los ensayos de pH y Demanda Química de Oxígeno, con el fin de establecer un impacto ambiental al recurso agua y al suelo remediado se le practicaron los ensayos de Materia Orgánica por el método de Walkley Black, Nitrógeno Total por el método de Kjeldahl y Fósforo Disponible por el método de Melich 1, en el Laboratorio de la Universidad de La Salle.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se aprecian estos resultados obtenidos a las muestras tomadas en los puntos de muestreo tanto para el Punto Blanco (Aguachica 1), como para la muestra contaminada (Aguachica 2). Los análisis realizados evidencian diferencias marcadas entre la muestra contaminada y su blanco. La muestra Aguachica 2, presenta una alta concentración de hidrocarburos que supera 3.5 veces de la original y condiciones fisicoquímicas que muestran una reducción a la mitad en nutrientes importantes del suelo como el nitrógeno y el fósforo disponible (pasando de 1270 mg N/Kg a 600 y de 7,47 mgP/Kg a 4.1), el pH subió de 5.53 a 7.38, lo que tiene lógica, en razón al alto contenido de hidrocarburos y su naturaleza neutra. Además, comparando la concentración de hidrocarburos en suelo que es 2810 mg/Kg con los efectos tóxicos que indica la ATSRD (2016), donde se menciona que a concentraciones 100 ppm hay toxicidad en seres humanos, se evidencia, una situación altamente preocupante, ya que los funcionarios del GOES-H deben llegar al lugar, asegurarlo, esperar varias horas, incluso días a que llegue la cuadrilla, acompañar el procedimiento, estando expuestos todo este tiempo.

Tabla 1. Resultados del análisis fisicoquímico de suelos.

	IDENTIFIC. MUESTRA			Aguachica 1	Aguachica 2 12:10 hs
	Método	**Unidad**	**codigo interno**	**B**	**K**
			Fecha	**----**	**26/07/2024**
ANÁLISIS DE LABORATORIO					
ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS					
GYA-HIDROCARBUROS EN SUEL-LOD	EPA 3545 A - EPA 9071 B, Modificado.	% Masa		0,082	0,281
PH O ACIDEZ ACTIVA EN SUELOS R 1:5	ISO 10390	Uni. pH		5,53	7,38
		°C		21,9	21,9
CONDUCTIVIDAD EN SUELOS	NTC 5596 B	mS/cm		58,4	76,6
		°C		24,9	24,7
NITROGENO KJELDAHL EN SUELO	Método Kjeldahl-Modificado. Métodos Analíticos de Laboratorio de Suelo, IGAC, Capítulo III Modificado	mg N/Kg		1270	600
NITROG AMONIACAL INTERCAMBIABLE SUELOS	Destilación: Análisis Químico de Suelos, M. L. Jackson – Volumétrico; SM 4500 NH3 C. Modificado	mg NH4-N/Kg		<12,4	<12,4
NITRATOS EN SUELOS POR DETECCION UV	Lectura método de la Espectrometría molecular, Análisis de Aguas, J. Rodier, 9ªedición, 2011.	mg NO3-N/Kg		<5,00	<5,00
CAPACIDAD INTERCAMBIO CATIONICO	NTC 5268	meq/100 g		10,6	12,7
FOSFORO DISPONIBLE EN SUELOS	NTC 5350, numeral 5.5 y 6.4	mg/Kg		7,47	4.1
TEXTURA EN SUELOS	NTC 6299 B				
ARENA		% Masa		50,5	53
ARCILLA		% Masa		19	24,2
LIMO		% Masa		30,4	22,9
TEXTURA		N/A		Franco	Franco arcilloso arenoso
ANÁLISIS CROMATOGRAFICOS					
AROMATICOS VOLAT. EN AGUAS POR GC/FID-HS (CROMATOGRAFO DE GASES)	EPA 5021 A, EPA 8015 D U.S. EPA SW-846 METHOD 8000D "Determinative Chromatographic Separations". Revision 5, Mar. 2018.				
BENCENO		microg/Kg		<20,0	<20,0
TOLUENO		microg/Kg		<20,0	<20,0
ETILBENCENO		microg/Kg		<20,0	<20,0
m+p-XILENO		microg/Kg		<20,0	<20,0
o-XILENO		microg/Kg		<20,0	<20,0
1,3,5-TRIMETILBENCENO		microg/Kg		<20,0	<20,0
1,2,4-TRIMETILBENCENO		microg/Kg		<20,0	<20,0
NAFTALENO		microg/Kg		<20,0	<20,0

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
ISO: Organización Internacional de Normalización
NTC: Normas Técnicas Complementarias
IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi
SM: Standard Methods
NS: No analizado

Fuente: Modificado de Instituto Colombiano del Petróleo ICP (2024).

Impacto Ambiental

Como se pudo evidenciar en los análisis realizados, el contenido de nutrientes se reduce a la mitad, mientras que el contenido de hidrocarburos se aumenta en 3.5 veces, esto afecta la fertilidad del recurso (Adams, R. Zavala-Cruz, J y Morales-García F., 2008), lo anterior, porque la mayoría de las interacciones biota-suelo son basadas en las cargas iónicas del mismo y cuando los hidrocarburos que son sin carga, ocupan los espacios porosos impiden dicha interacción (Roy y McGill, 1998). Como consecuencia de la reducción de nutrientes, se afecta seriamente la biota, ya que la concentración de hidrocarburos de manera antrópica se da por un vertido se incrementa en su concentración de 0,082% al 0,281%, alcanzando niveles que, según

Suelos Ecuatoriales 55 (1 y 2): 131-140. https://doi.org/10.47864/se552025p131140

Adams, R. Zavala-Cruz, J y Morales-García F. (2008) causan afectación importante.

Posterior a la remediación descrita en la metodología, el suelo fue analizado en el Laboratorio Dr. Calderón para establecer el contenido de Hidrocarburos Totales. A continuación, se aprecian los resultados tras dos días de tratamiento en la Tabla 2:

Tabla 2. Resultados del análisis de hidrocarburos en la muestra de suelo remediado.

Parámetro	Reporte	Unidades	Método analítico
Hidrocarburos totales	1021,42	mg/kg	EPA 9071 B, SM 5520 F Modificado

Fuente: análisis del Dr. Calderón LABS (2025)

Como se observa la concentración disminuyó de 2820 mg/Kg a 1021,42 mg/Kg, lo que indica una remoción de 63,65% en la eficiencia, que para dos días de acción resulta muy conveniente y con muy buenos valores, comparada con otros métodos como la Biorremediación, que tarda meses en generar resultados similares. Lo anterior, es aún mejor de lo reportado por Lee & Lee (2012), Lominchar et al. (2017) y Uloaku et al. (2022), quienes indican eficiencias para remediación química entre el 18 y 53%, aunque es de anotar que sus tiempos de reacción fueron después de 5 horas.

Es importante mencionar que el valor de 1021,42 mg/kg todavía es un resultado que puede superar umbrales aceptables para usos agrícolas o residenciales según diferentes guías/normas, como la mexicana (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012), donde se encuentran límites de referencia para suelos agrícolas en torno a 1000 mg/kg o menos, por lo que hay que optimizar el ensayo, a lo realizado con la sugerencia de la empresa.

En cuanto a los análisis de impacto ambiental asociado al recurso hídrico se observó que el pH de la muestra líquida arrojó un pH de 6 y una Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 639 mg/L, con un volumen remanente de 20 mL, es decir 17% del volumen total añadido, lo anterior indica que es importante un sistema de captación y tratamiento, ya que este remanente se constituye en vertimiento y de acuerdo a la Resolución 631 de 2015 (Alcaldía de Bogotá, 2015), el máximo valor para verter en términos de DQO está en 200 mg/L. El pH está en el límite aceptable de 6 a 9 unidades. Lo anterior muestra que, aunque por el lado del recurso suelo se obtengan niveles buenos en la remediación, el líquido remanente se convierte en un tema ambiental que habría que manejar, para no infringir la Ley. Otro aspecto sería optimizar la cantidad de agua a agregar, con ensayos piloto, de tal forma que no se generen vertimientos. Lo anterior, para cada suelo remediado.

Los resultados de los valores para Carbono Orgánico, Nitrógeno Total y Fósforo Disponible del suelo tratado, sin tratar y blanco se compararon (tabla 3).

Tabla 3. Resultados del análisis de hidrocarburos en la muestra de suelo remediado.

Parámetro	Punto Blanco (Aguachica 1)	Punto Contaminado (Aguachica 2)	Suelo Remediado
% Carbono Orgánico	0.97	6.35	1,34
Nitrógeno Total mgN/Kg	1270	600	980
P disponible mgP/Kg	6.52	57.26	27.07

Fuente: Universidad de La Salle (2025).

El % de carbono orgánico aumenta dramáticamente con la adición del hidrocarburo y es lógico debido a que el derrame es un material orgánico oxidable, que reduce en la remediación a valores típicos de la zona, en cuanto al nitrógeno total se observa una disminución en el derrame atribuida a dilución del material por el solvente añadido que aumenta al remover el mismo en la remediación y el contenido de fósforo, se asume proveniente del hidrocarburo que al no degradarse completamente, queda como remanente en el suelo.

CONCLUSIÓN

Es evidente la existencia de un impacto ambiental significativo en suelos contaminados con hidrocarburos, donde su valor aumentó en 3.4 veces al valor de referencia, con implicaciones al ecosistema por la pérdida de funciones ecosistémicas como la disponibilidad de nutrientes y aún más pudiendo afectar a la salud de las personas cercanas a los lugares, o quienes investigan dicho delito como los funcionarios del GOES-H, al tener que trabajar en la presencia de estos materiales. También se demostró como la técnica de Remediación Química es efectiva, es muy rápida y solo en dos días reduce en un 65% la concentración del material tóxico, sin embargo, tal como se aplicó generó vertimientos remanentes que deben considerarse y remediarse igualmente. Por otro lado, se observa recuperación de condiciones químicas en comparación al blanco después de la remediación, por lo que la técnica con algunos ajustes podría recomendarse en campo.

Se recomienda para futuras investigaciones, utilizar más concentraciones de agente oxidante y menos volúmenes de agua para optimizar la remediación a valores aceptados por normatividad existente y a la eliminación de vertidos remanentes, así como también monitoreos posteriores al componente biótico para establecer recuperación del ecosistema y trabajos conjuntos entre la academia y la institucionalidad para lograr resultados efectivos en zonas que así lo requieren.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo agradecen especialmente a la Policía Nacional de Colombia, Dirección de Carabineros y Protección Ambiental, Universidad de La Salle, Bogotá, Universidad La Salle, México y a la Empresa Disol-Eco Colombia por su apoyo y soporte en la realización del proyecto.

REFERENCIAS

Adams, R. Zavala-Cruz, J y Morales-García F. (2008). Concentración Residual de Hidrocarburos en Suelo del Trópico. II: Afectación a la Fertilidad y su Recuperación. *INCI*, 1-15.

Adeniran, M., Oladunjoye, K., Doro. O. (2024). Electrical resistivity imaging of crude oil contaminant in coastal soils – A laboratory sandbox study *J. Appl. Geophy*., 230, 10.1016/j.jappgeo.2024.105516

Alcaldía de Bogotá. 2015. Resolución 631 de 2015. Tomado de. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=70346

ATSRD. (2016). *Hidrocarburos totales de petróleo [Total Petroleum Hydrocarbons (TPH)]*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs123.html#:~:text=Las%20exposiciones%20a%20cantidades%20ficientemente,exposici%C3%B3n%20cesa%2C%20los%20s%C3%ADntomas%20desaparecen.

Cenit, 2020. Informe de Gestión Sostenible 2020. Recuperado de: https://cenit-transporte.com/wp-content/uploads/2021/03/informe-de-gestion-sostenible-2020-1.pdf

Dr. Calderón Labs. (2025). *Informe de Ensayo de Suelo AS-118101, AS-118102 y AS-118103.* Bogotá.

Dr. Calderón Labs b. (2025). *Informe Ensayo Suelo AS-117564, AS-117565, AS-117566, AS-117567, AS-117564.* Bogotá.

Ecopetrol. (13 de Julio de 2017). *¿Qué son las válvulas ilícitas?* Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=Adt7iJrY3z8&t=5s

Gutiérrez-Hernández, R., Alvarado-Alanís, J., Flores-Flores, E., Ruíz de Chávez, D., Lazalde-Ramos, B. (2023). Efectos en la salud ante exposición a hidrocarburos. Ibn Sina, , Vol. 14, Núm. 2, págs. 1-13

ICP. (2024). Informe de Laboratorio. Policía Nacional Dirección de Carabineros

Lee, H, Lee Y. (2012). Feasibility analysis of the remediation of fuel oil-contaminated soil and groundwater around the railroad station of Y city, Korea with surfactant-aided soil flushing Asia-Pac. J. Chem. Eng., 8 (3) , pp. 461-472

Lominchar, M.A., *et al.* (2017). Remediation of soil contaminated by PAHs and TPH using alkaline activated persulfate enhanced by surfactant addition at flow conditions, J. Chem. Technol. Biotechnol., 93 (5) (2017), pp. 1270-1278

Martín, M. (2023). *Remediación por residuos de la fabricación... suelos contaminados* [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. DOCTA UCM. https://docta.ucm.es/entities/publication/20b90ca4-41cb-4a8b-b661-55fa84f9b46e

Omeiza, A., Adeniyi, H., Shettima, N. (2023). Investigation of groundwater vulnerability to open dumpsites and its potential risk using electrical resistivity and water analysis Heliyon., 8 Article e09855, 10.1016/j.heliyon.2023.e13265

Policía Nacional (2020). Operativos contra el contrabando de hidrocarburos. Obtenido de Policía Nacional de Colombia: https://www.policia.gov.co/noticia/capturadas-26-personas-que-instalaban-valvulas-ilicitas-al-poliducto-generando-danos-al

Policía Nacional de Colombia. (2012). *Funciones y Deberes*. Obtenido de https://www.policia.gov.co/quienes-somos#:~:text=Prevenir%20situaciones%20y%20comportamientos%20que,posible%2C%20limitarla%20al%20m%C3%ADnimo%20necesario.

Policía Nacional de Colombia. (2024). *Informe de Gestión*. Obtenido de https://www.policia.gov.co/sites/default/files/descargables/INFORME%20ANUAL%20DE%20GESTION%20POLICIA%20NACIONAL%202024.pdf

Policía Nacional de Colombia. (5 de Septiembre de 2025). *Golpe a las economías ilícitas y fortalecimiento a la protección de bosque nativo en zona selvática*. Obtenido de https://www.policia.gov.co/noticia/golpe-las-economias-ilicitas-fortalecimiento-proteccion-bosque-nativo-en-zona-selvatica

República de Colombia . (2000). *Ley 599 DE 2000*. Obtenido de https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=6388&dt=S

Roy JL, McGill WB (1998). Characterization of disaggregated nonwettable surface soils found at old spill site. *Can. J. Soil Sci. 78*: 331-344

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Secretaría de Salud. (2013). *NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para muestreo en sitios contaminados*. Diario Oficial de la Federación. http://www.dof.gob.mx

Uloaku M., Samuel J., Abbey, A., Ifelebuegu, A. (2022). A systematic review on the effectiveness of remediation methods for oil contaminated soils, Environmental Advances, Volume 9, ISSN 2666-7657, https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100319.

Universidad Europea del Atlántico (2020). Recuperación de Suelos Contaminados. Muestreo de Suelos

Universidad de La Salle. (2025). Resultados ed Laboratorio

WSP. (2023, 20 de abril). *Técnicas de remediación de suelos*. https://www.wsp.com/es-pe/insights/tecnicas-de-remediacion-de-suelos