

CARACTERIZACION GEOTECNICA DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS EN CARRASCO, COCHABAMBA, BOLIVIA

GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF CONTAMINATED SOILS BY HYDROCARBONS IN CARRASCO, COCHABAMBA, BOLIVIA

René Mariscal V.¹ y Mauricio Salinas P.¹

RESUMEN

Se presenta la caracterización del perfil de suelo en un sector del campo petrolero Carrasco, ubicado aproximadamente a 270 km al noreste de la ciudad de Cochabamba, Bolivia. En la zona, la emisión continua de desechos provenientes de la refinería del campo petrolero viene afectando un área aproximada de 2500 m², con la formación de almacenamientos superficiales de contaminantes identificados como Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH). El estudio ha sido realizado sobre un canal natural que transporta los desechos de la refinería, estableciéndose que la zona más afectada se encuentra a casi 550 m de la fuente de emisión conformada por un tubo de desechos. Fueron determinadas las características de los estratos de suelo presentes en la zona a través de pruebas de perforación, extracción de muestras a diferentes profundidades, ensayos de resistividad eléctrica y la estimación del grado de infiltración que presenta el suelo evaluado en campo. Asimismo, se ha establecido la concentración del contaminante en el agua subterránea y superficial de las proximidades del canal, con lo cual se muestra el potencial de atenuación que presenta el suelo.

Palabras Clave : Suelos, hidrocarburos, permeabilidad, contaminación, Cochabamba, Bolivia.

ABSTRACT

This paper presents the characterization of the soil profile in Carrasco petroleum field, located 270 km from the city of Cochabamba. The area is contaminate by waste of petroleum coming from the refinery, the contaminants have been identified as Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). The study has been accomplished in a natural channel that transport the contaminants launched to the enviroment by a pipe. In this investigation, the geotechnical work consist of perforation to obtain disturbed an undisturbed samples, electrical resistivity, soundings and field test to determine the infiltration of soils. In the same way, the concentration of TPH in sallow and underground water has been determined, showing the attenuation of the soil.

Key Words : Soils, hydrocarbons, permeability, contamination, Cochabamba, Bolivia.

¹Laboratorio de Geotecnia, Avenida Petrolera km 4.2, Casilla 6760, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba-Bolivia
E-mail: gtumss@bo.net

INTRODUCCIÓN

Los derrames del petróleo o sus derivados en el medio ambiente, se constituyen en uno de los problemas de contaminación medioambiental más severos que afecta al suelo, las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Generalmente, este tipo de contaminación es ocasionado por accidentes industriales como la rotura de tuberías o tanques destinados al transporte y almacenamiento de petróleo. Sin embargo, las emisiones incontroladas de desechos así como las fugas de tanques de almacenamiento subterráneos no pueden ser detectadas inmediatamente, provocando que el material vertido se transforme en un agente de contaminación de gran peligro para el subsuelo y las aguas subterráneas.

El vertido superficial de contaminantes es un problema que puede ser controlado rápidamente debido a que la zona afectada puede ser establecida en forma objetiva a partir de una inspección visual que determina aproximadamente el área contaminada. Sin embargo, existe bastante incertidumbre acerca de la contaminación subterránea que es generada por los procesos de infiltración que realiza la sustancia a lo largo de su recorrido. Para realizar un proceso de recuperación y limpieza de suelos, resulta importante el poder definir en forma aproximada la profundidad contaminada y la tendencia de movimiento que realiza el contaminante. De acuerdo a Lagreca, Buckingham y Evans (1996), la cantidad de suelo contaminado en un proceso de infiltración de contaminantes no puede ser determinada con exactitud. Este dato permanece incierto y puede ser cuantificado solo después de que se culmina un proceso de remoción y recuperación de la zona evaluada.

Cuando los componentes volátiles del petróleo entran en contacto con el medio ambiente, se genera un cambio particular en la estructura química del compuesto, ya que puede pasar de un estado líquido a un estado gaseoso en periodos de tiempos relativamente cortos. Según Kostecki y Calabrese (1991), en los procesos de atenuación, la concentración del contaminante puede disminuir drásticamente dependiendo del tipo de hidrocarburo presente en el suelo. Tras muchos estudios realizados, Barker, Patrick y Major (1987), proponen que la atenuación de los hidrocarburos depende principalmente de su composición química, por ejemplo el tolueno y el xileno son los hidrocarburos más atenuantes comparados con el benceno cuya degradación ha sido calculada en 0.95% por día. En cambio otros

componentes pueden degradar casi un 35% de la concentración inicial. Adicionalmente a los procesos de atenuación físico-químicos, existen los procesos de atenuación biológicos, en los que intervienen los fenómenos de ingestión, respiración y crecimiento de los organismos animales y vegetales que radican en la zona afectada. En algunos casos, se utilizan estos mecanismos para atenuar completamente los hidrocarburos. Lagrega, Buckingham y Evans (1996) determinan que mediante cultivos de microorganismos se puede degradar las concentraciones de hidrocarburos de los fangos de las refinerías de un 70 a un 90% en periodos de tiempo de cuatro a 15 veces más rápidos comparados con métodos de atenuación físico químicos.

Hsai-Yang (1997) plantea que los indicios de contaminación por hidrocarburos pueden ser detectados a partir de la degradación media a severa que presenta el deceso de la flora y la fauna circundante en la zona, así como la coloración del suelo y la emisión de gases con características particulares.

Desde el año 1995, el área comprendida entre los paralelos 17°5' y 17°30' de latitud sur y meridianos 64° 45' y 64° 15' de longitud oeste, correspondiente a la zona de mayor humedad en Cochabamba-Bolivia (Fig. 1), se ha caracterizado por ser el principal productor de petróleo crudo y gas natural de Bolivia. La zona cuenta actualmente con cinco campos petroleros que se conectan internacionalmente mediante una red de gasoductos y oleoductos.

En general, la región de estudio presenta una cobertura vegetal densa, conformada por bosques altos y espesos, típicos de un clima tropical cálido y húmedo. Las características climáticas de la región



Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.

posibilitan gran biodiversidad y riqueza vegetal. Sin embargo, en el campo petrolero Carrasco, se advierten algunos cambios biológicos distribuidos a lo largo de un canal natural ubicado al sudeste del campo, próximo al río Izozog. De acuerdo a un monitoreo superficial se determinó que el canal transporta y asimila los desechos de la refinera ocasionando la contaminación media a severa de la zona.

Como se puede apreciar en las figuras 2 y 3, la muerte de la flora, en uno de los estancamientos superficiales de hidrocarburos justifica la realización de un análisis medioambiental que permita determinar el grado de perturbación de las condiciones físicas y químicas que presenta el suelo y el agua subterránea. Según Nielsen (1994), en muchos casos los problemas de contaminación superficial de hidrocarburos generan un movimiento subterráneo de los contaminantes que resulta muy difícil de ser detectado y evaluado debido a que el compuesto no se manifiesta inmediatamente sino después de haber afectado grandes extensiones de terreno.



Figura 2. Cambios biológicos en un sector del campo Carrasco (canal de desecho).



Figura 3. Presencia de hidrocarburos en el subsuelo del canal de desecho.

CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA

Sistema de contaminación

El sistema de contaminación en las proximidades del campo petrolero está conformado por un tubo de desecho que vierte los residuos provenientes de la refinera y los deposita en un canal natural que transporta y a la vez asimila los compuestos contaminantes que, a través

de un recorrido sinuoso, son depositados en el río Izozog. En la figura 4, se muestra la ubicación general del campo petrolero y la figura 5 presenta un plano parcial de la zona, mostrando la trayectoria del canal de desecho, al igual que los puntos de referencia y acceso más importantes que presenta la región.



Figura 4. Campo petrolero Carrasco.

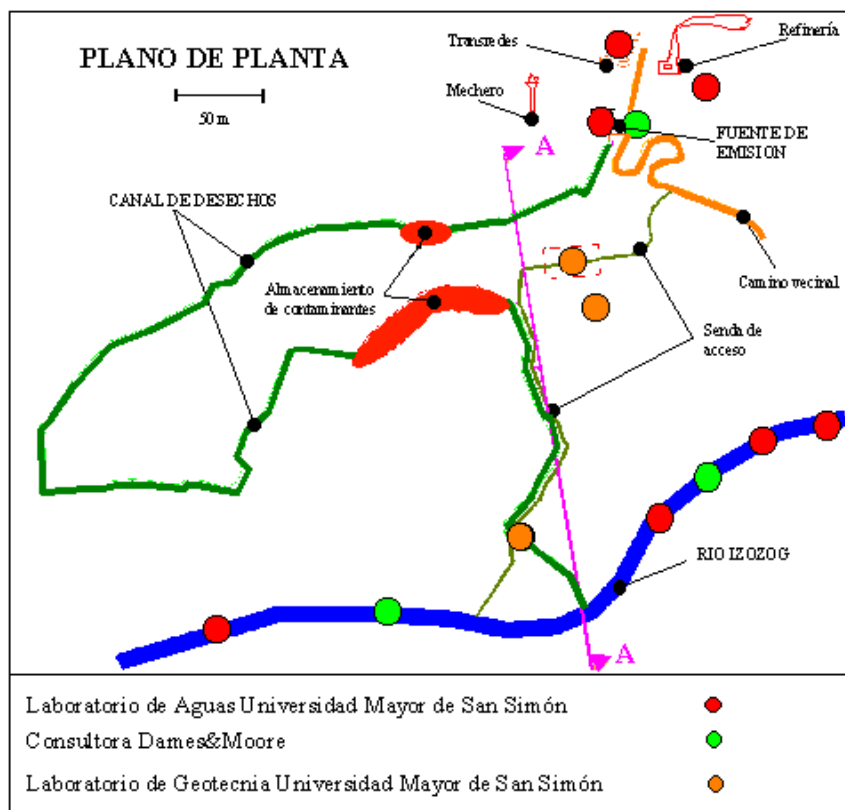


Figura 5. Ubicación de la zona y puntos de muestreo de aguas superficiales y subterráneas.

El canal natural cuenta con una longitud de 1100 m entre la fuente de emisión y el río Izozog. A lo largo de todo el recorrido, se advierte un deterioro medioambiental moderado. Sin embargo, en dos regiones específicas, denominadas reservorio de contaminantes 1 y 2, (Fig. 5) la degradación ambiental es mayor respecto al resto de la zona. Se observa que, en estos puntos la concentración del contaminante es mucho más alta, por lo que se espera un alto índice de infiltración de los compuestos contaminantes en estas regiones.

Análisis de aguas

Realizando una recopilación de información, se ha logrado conocer los resultados de 10 pruebas de aguas superficiales, siete realizadas por el Laboratorio de Aguas de la Universidad Mayor de San Simón y tres efectuadas por la consultora Dames&Moore. Complementando esta información, el Laboratorio de Geotecnia de la Universidad Mayor de San Simón obtuvo tres muestras de aguas subterráneas que fueron evaluadas posteriormente por el Laboratorio de Aguas de la misma universidad. La figura 5 presenta la ubicación de los puntos de obtención de las muestras y el cuadro 1 indica las concentraciones medidas en laboratorio. Los análisis son ubicados en puntos estratégicos como por ejemplo en el depósito dentro la refinería (separador API), donde se almacena el compuesto antes de ser expulsado al medio ambiente, la tubería de emisión del contaminante, las aguas subterráneas próximas al eje del canal y la corriente natural del río Izozog.

La totalidad de los análisis determinan que el contaminante identificado como TPH, presenta concentraciones variables a lo largo del recorrido del canal. De acuerdo a las concentraciones presentadas en el cuadro 1, se observa que la concentración vertida en la fuente de emisión (Fig. 5) es de 292 mg/l, excediendo en 14.6 veces a la concentración máxima permisible en descargas industriales en Bolivia (Dames&Moore 1997). Sin embargo, las aguas subterráneas cercanas al río Izozog alcanzan magnitudes de concentración por debajo el 5% de la concentración inicial, por esta razón, se supone al suelo como el principal elemento de atenuación de este proceso de contaminación.

Cuadro 1. Concentraciones de hidrocarburos en muestras obtenidas en la zona de estudio

UBICACIÓN DE LA MUESTRA	TPH (mg/l)	ENTIDAD ENCARGADA DEL ANÁLISIS
Refinería (Separador API)	349740	Laboratorio de Aguas UMSS
Fuente de emisión (Tubo de desechos)	292	Dames&Moore (1997)
Aguas subterráneas próximas al río Izozog	14.5	Laboratorio de Geotecnia – Laboratorio de Aguas UMSS
Aguas superficiales del río Izozog	2.3	Laboratorio de Aguas UMSS – Dames&Moore (1997)
Máxima permisible en descargas industriales	20	Según estándares bolivianos de aguas Dames&Moore (1997)

Caracterización geotécnica

Se realizó la caracterización geotécnica con el objeto de establecer el perfil estratigráfico general de la región, detectando también el nivel freático y la profundidad visual que abarca la contaminación en el subsuelo. Este trabajo fue establecido a partir de siete perforaciones manuales que cuentan con una profundidad promedio de 2.3 m por debajo de la superficie natural del terreno. Debido a la inaccesibilidad que presentan ciertos sectores de la zona de estudio, algunas de las perforaciones fueron realizadas en las márgenes del canal.

A lo largo del canal, se determinó el coeficiente de conductividad hidráulica (k) a partir de seis pruebas de permeabilidad en campo siguiendo el método descrito por Clayton, Matthews y Simons (1995). Los ensayos fueron escogidos de acuerdo al tipo de suelo encontrado (arena y arcilla).

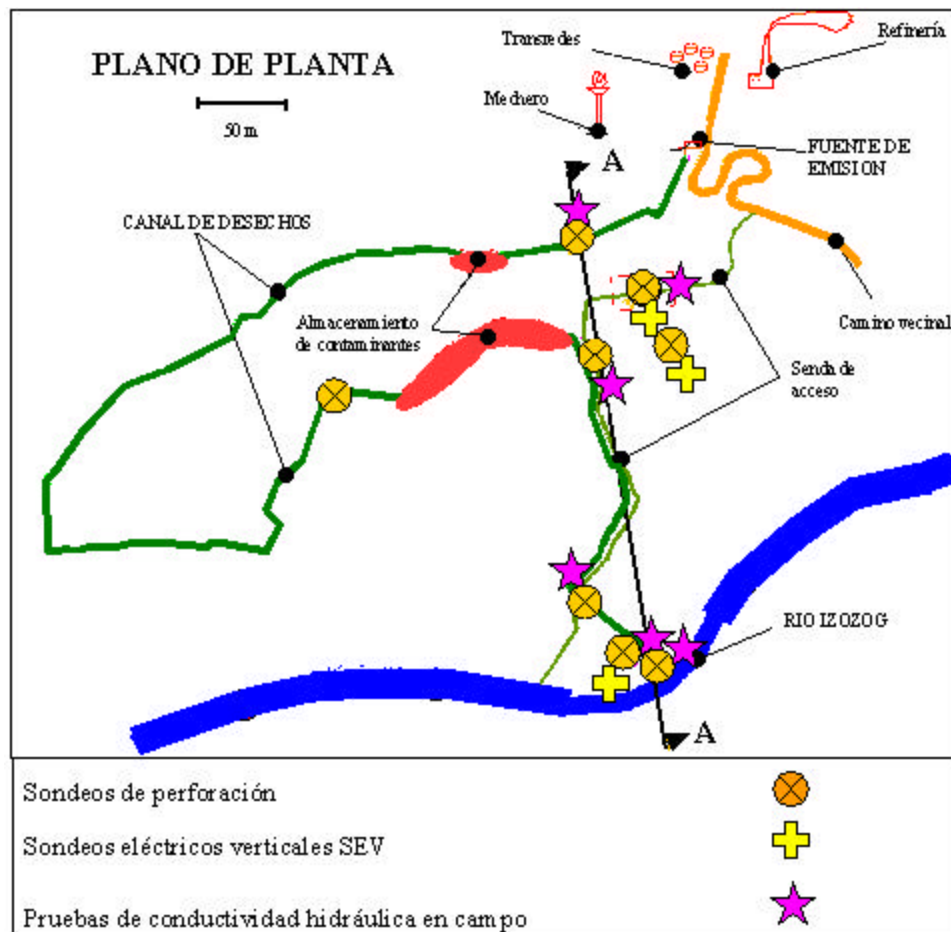


Figura 6. Ubicación las pruebas geotécnicas.

Finalmente, complementado los estudios, se realizaron tres sondeos eléctricos verticales (SEV), posibilitando la obtención de perfiles estratigráficos con profundidades de hasta 32 m. Por la densa vegetación en la zona, los ensayos cubrieron una longitud superficial máxima de 80 m. Siguiendo las recomendaciones de Sharma (1997), el proceso de inversión fue realizado utilizando los datos en las perforaciones próximas a los sondeos eléctricos.

Propiedades geotécnicas de los suelos

A partir de las pruebas de campo y laboratorio, se pudo determinar que el terreno está conformado por un estrato de arcilla de baja plasticidad (CL) hasta una profundidad

promedio de tres m. Adicionalmente, se ha establecido un estrato de arena arcillosa (SC), cuyo espesor no pudo ser definido visualmente. A partir de las pruebas de resistividad eléctrica se establece que el material arenoso alcanza un espesor cercano a los 15 m, mientras que en la cabecera del canal el espesor del estrato es mayor. La figura 7 presenta el perfil del corte transversal A-A que cubre a través de una línea la mayor cantidad de sondeos de perforación y geofísicos realizados en la zona. El corte de terreno está definido por la línea A-A presentada en las figuras 5 y 6.

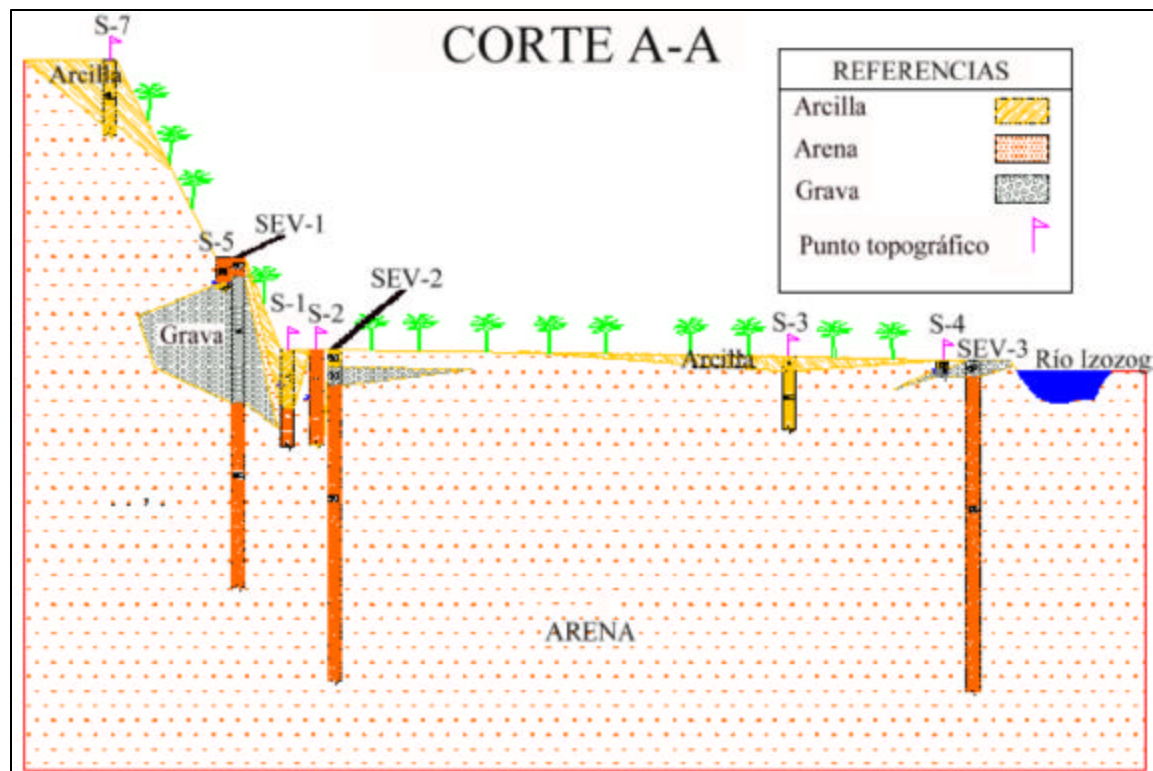


Figura 7. Sección Transversal A-A de la zona de estudio.

Las pruebas de conductividad hidráulica (ensayo a carga constante y ensayo a carga variable) posibilitaron la obtención de dos valores diferentes k , que corresponden a valores típicos de material fino y grueso. En el cuadro 2, se presenta un resumen general de las propiedades de conductividad y las características geotécnicas encontradas en los suelos.

Cuadro 2. Características de los suelos en el Campo Carrasco

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Coefficiente de conductividad, k (m/s)	OBSERVACIONES
Arcilla de baja plasticidad, CL	6.50×10^{-7} (*)	Material predominante en todos los sondeos hasta aproximadamente tres m.
Arena arcillosa, SC	7.14×10^{-5} (*)	Material predominante en los sondeos por debajo de los tres m.
Arena pobremente gradada, SP	3.94×10^{-5}	Material encontrado próximo al río Izozog.
Grava pobremente gradada con arena, GP	1.71×10^{-4}	Lentes de grava próximos al río.
Grava arcillosa, GC	1.82×10^{-5}	Lentes de grava próximos al río.

* Valor promedio de acuerdo al total de ensayos realizados

De las ocho perforaciones realizadas a lo largo del canal (Fig. 6), se ha podido observar que en las zonas próximas a los almacenamientos de hidrocarburos, cuatro sondeos presentan manchas típicas de contaminación en el suelo hasta profundidades cercanas a los tres m.

CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio geotécnico con características medioambientales en un sector del campo petrolero Carrasco, ubicado al noreste del departamento de Cochabamba, Bolivia. Mediante un monitoreo superficial se ha establecido que la zona se ve afectada por las descargas de desechos provenientes de la refinería del campo y que en el sector existe un canal natural que transporta contaminantes hacia el río Izozog.

A partir de la evaluación superficial a lo largo del canal de desechos, se observa un cambio radical en la vegetación que en su mayoría es debida a la existencia de almacenamientos del contaminante originados por el relieve topográfico que presenta la región.

Mediante un proceso de muestreo de aguas y recopilación de información, se ha identificado al tipo de contaminante presente en la zona como Hidrocarburos Totales de

Petróleo (TPH). Asimismo, se ha detectado que en el periodo del estudio, la concentración de la solución vertida por el tubo de desecho (292 mg/l), excede a la cantidad máxima permisible de TPH en suelos y aguas subterráneas para las normas bolivianas (20 mg/l).

Se ha establecido que en su mayor parte la zona está constituida por arcilla de baja plasticidad (CL) hasta aproximadamente tres m de la superficie. Este material se caracteriza por presentar un coeficiente de conductividad hidráulica relativamente bajo (6.5×10^{-7} m/s) que impide inicialmente la infiltración del contaminante en el subsuelo. El estrato arcilloso se encuentra sustentado por un estrato de arena arcillosa (SC), cuyo espesor de acuerdo a los sondeos de resistividad eléctrica sobrepasa los 15 m. Por las características permeables de este estrato (7.4×10^{-5} m/s), se espera que el contaminante realice un movimiento subterráneo una vez que atraviesa el estrato superior, aumentando considerablemente la celeridad de la infiltración.

En la zona de estudio, se han aplicado ensayos de permeabilidad in situ y pruebas de resistividad eléctrica, con los que se ha determinado el perfil y las propiedades hidráulicas del subsuelo. Asimismo mediante técnicas de descripción de suelos contaminados se ha establecido el grado de alteración visual por contaminación presenta el suelo al momento del trabajo de campo.

De acuerdo a las bajas concentraciones de TPH, encontradas en el agua superficial del río Izozog y en el agua subterránea próxima al mencionado río (menores a 20 mg/l), se establece que el suelo se constituye como el elemento físico-químico que asimila la concentración vertidas en la cabecera del canal (292 mg/l). Asimismo, mediante el trabajo geotécnico se ha determinado que en las zonas próximas a los almacenamientos, la profundidad de suelos manchados exceden los tres m de profundidad.

Por las condiciones encontradas en la zona, es importante realizar un trabajo de caracterización más detallado que posibilite delimitar con mayor precisión las áreas contaminadas y las profundidades específicas que han alcanzado los hidrocarburos. A partir

de este trabajo, es necesario implementar un proceso de recuperación sobre la base de un técnicas de remediación o limpieza.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido realizado en el marco del convenio entre las Universidades Flamencas de Bélgica y la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba, Bolivia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BARKER, J.F., G.C. PATRICK. y D. MAJOR. 1987. Natural attenuation of aromatic hydrocarbons in a shallow sand aquifer. Ground water monitoring review 7(1):64-71. Kostecki, Paul T. y Calabrese, Edward J. 1991. Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater. Páginas 28 a 32. Lewis Publisher Inc. USA.
2. CLAYTON, C.R.I., MATTHEWS, M.C. y SIMONS, N.E. 1995. Site investigation, Páginas 516 a 522. Ed. Blackwell Science, Massachusetts USA.
3. DAMES&MOORE. 1997. Investigación de campo. Fase II. Campos de producción y campos de reserva. Páginas 4-9 a 4-18, Tablas 4.2.1 a 4.2.5.
4. HSAI-YANG, FANG. 1997. Introduction to environmental geotechnology. Páginas 68 a 72. CRC Pres, Boca Raton, New York. USA.
5. KOSTECKI, PAUL T. y CALABRESE, EDWARD J. 1991. Hydrocarbon contaminated soils and groundwater. Páginas 28 a 32. Lewis Publisher Inc. USA.
6. LAGRECA, MICHAEL D., BUCKINGHAM PHILLIP L. y EVANS, JEFFREY C. 1996 Hazardous waste management, capítulo 4, Vol I y capítulo 10, Vol II, Ed. McGraw-Hill, Inc. USA.
7. NIELSEN B.J.1994. New tools to locate and characterize oil spills in aquifers. Symposium on natural attenuation of ground water. Páginas 34 a 39. U.S. Environmental Protection Agency. Office of research development. Washington, DC 20460.
8. SHARMA, PREM V. 1997. Environmental and engineering geophysics, Páginas 228 a 235. Ed. Cambridge University Press, New York USA.