Aplicación de procesos biológicos como medida de remediación para recuperar suelos Limo-Arcillosos contaminados con gasolina

Bella Karina Toledo Moran[1], Francisco Torres[2]
CEMA
Universidad Politécnica del Litoral
Km. 30.5 de la vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador
cema@espol.edu.ec

[1]Ingeniero Civil 2009
[2]Director de Tesis, Ingeniero Geologo, Master Ingenieria Quimica 1979, Msc Ingenieria Ambiental 1988. Profesor de la ESPOL desde 1979.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el tema “Aplicación de procesos biológicos como medida de remediación para recuperar suelos Limo-Arcillosos contaminados con gasolina”. Para tal efecto se aplicó el tratamiento de biorremediacion en muestras de suelo areno-arcillo-limoso del Abanico aluvial Mayor contaminados con gasolina proveniente de los tanques de almacenamiento de combustible de una gasolinera, con una superficie o área de ocupación de 1396 m2. La contaminación por este hidrocarburo se produjo debido a las filtraciones existentes en la cisterna de almacenamiento. El derrame comprometió una cantidad de suelo considerable de lo cual se extrajo 4 m3 de material contaminado para su tratamiento de remediación en celdas ex -situ.

El tratamiento de biorremediacion se realizo en celdas construidas especialmente para el proceso de remediación, realizando técnicas que favorecieron el proceso de transformación de los contaminantes mediante reacciones químicas por parte de los microorganismos mediante reacciones de oxidación y reducción, absorción, intercambio iónico y reacciones de quelación. Algunas de las bacterias usadas en el proceso de remediación fueron las *Clostirium*, aunque la presencia de *Actinomyces* se dio naturalmente en el suelo contaminado.

Palabras claves: Remediación, Biorrediacion, Quelación, Absorción, *Clostridium*, *Actinomyces*

ABSTRACT

This present work develops the topic "Recovery of soils contaminated with hydrocarbons." For such an effect is considered the bioremediation’s treatment in sand-slim-clay from the alluvial soil samples of the slim fan Mayor contaminated with gasoline from the fuel storage tanks of a petrol station with a surface area of 1396 m^2. Hydrocarbon contamination was occurred due to leaks in the storage tank. The spill undertook a considerable amount of soil which was removed 4 m^3. of contaminated material for remediation in cells treated ex-situ. Bioremediation treatment was performed in cells constructed especially for the remediation process, with techniques that help to the transformation’s process of pollutants by chemical reactions on the part of microorganisms through oxidation and reduction reactions, absorption, ion exchange and chelation reactions. Some of the bacterias used in the remediation process were *Clostririum*, although the presence of *Actinomyces* naturally appeared in the contaminated soil.

Keywords: Remediation, Biorrediacion, chelation, absorption, *Clostridium*, *Actinomyces*

1. Introducción

La desmedida cantidad de productos químicos usados para la agricultura después de la II Guerra Mundial, acompañada del vertido indiscriminado de residuos industriales y domésticos, provocó a mediados de la década de 1960, una creciente preocupación por la contaminación de los suelos (Microsoft Encarta, 2006).

Hoy en día el manejo inadecuado de los residuos peligrosos así también como el mal uso del suelo por parte de los seres humanos ha dado como origen un problema a nivel mundial debido a la relación que hay entre la contaminación del suelo y las fuentes de abastecimiento de agua potable, superficiales y subterráneas, ya que estas son fuente de vida para la humanidad.

Los derrames de petróleo han provocado serios problemas y aun hoy es un problema latente principalmente en los países productores de petróleo debido a que, ya sea en su extracción, refinación, almacenamiento y transporte a los lugares de destino, pueden surgir daños en las infraestructuras y producirse derrames.

Diversos países han establecidos políticas para prevenir el deterioro y la contaminación de los suelos, estableciendo leyes basadas en las evaluaciones y probabilidades de riesgos asociados a la contaminación de suelos, previniendo la descarga al medio ambiente de desechos peligros.

En base a todo lo antes expuesto y considerando los que Ecuador es un pais principalmente petrolero registros históricos de graves deslizamientos, se procede a hacer el estudio y análisis respectivo para determinar la susceptibilidad al deslizamiento de los suelos y rocas de esta hermosa Provincia.

Siendo el Ecuador un país petrolero, la contaminación por hidrocarburos está considerada como una emergencia sanitaria por las secuelas que ha dejado y sigue dejando en el medio ambiente y en la salud pública. Puesto que el petróleo le otorga al estado un gran porcentaje del presupuesto, sólo fue hasta después de dos décadas de explotación que los problemas de contaminación se hicieron notorios y se vio en la necesidad de tomar medidas para preservar el entorno natural y humano de la Amazonia.

Por todos los problemas ambientales producidos por los derrames del petróleo o por la colación de residuos en lugares no adecuados para su contención, se volvió una prioridad implementar medidas para manejar de una manera más segura los desechos y para darles el tratamiento requerido a bajo costo, con rapidez y con mayor efectividad.

2. Técnicas de remediación de suelos

Las técnicas de remediación de suelos implican cualquier operación que altera las características de los desechos peligrosos o contaminantes mediante la aplicación de procesos físicos, químicos y biológicos disminuyendo su toxicidad, volumen, o movilidad.

Los procesos de remediación pueden clasificarse como destructivos y no destructivos, los procesos destructivos como su nombre lo indica destruyen el contaminante, alterando su estructura química; los no destructivos reducen la concentración del mismo aprovechando sus propiedades físicas y químicas o sirven para inmovilizar los contaminantes evitando así que se dispersen.

Las técnicas de remediación in situ son aquellas que no requieren excavación y transporte del suelo, estas técnicas dependen mucho del tiempo necesario para descontaminar el área y del costo del tratamiento. Las ventajas de estos tratamientos son sus bajos costos y la posibilidad de tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar el material. Los procesos de remediación ex situ consisten en extraer el contaminante para realizar el tratamiento de remediación en otro sitio en condiciones controladas pero con un costo mas elevado que el tratamiento in situ.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de algunos métodos de remediación.

Métodos de Remediación	Ventajas	Desventajas
Extracción por fluidos	Procedimiento sencillo.	Solo funciona en suelos permeables. No es efectivo en suelos con alta absorción.
Tratamiento electroquímico	Proporciona buenos resultados en el caso de metales pesados y compuestos orgánicos. El contaminante puede separarse con facilidad del suelo, incluso en forma pura.	Costos elevados en cuanto a equipos. El suelo tratado pierde ligeramente su fertilidad. Es necesario hidratar el suelo 24 horas antes de la aplicación del tratamiento.
Inyección de aire	Bajo presupuesto económico.	Procedimiento lento.
Enjuague del suelo	Su proceso y efectividad no son afectados por las condiciones externas. Siendo el costo bajo puede usarse como tratamiento preliminar. Efectivo para tratar suelos arenosos o muy permeables.	En arcilla o limo los resultados no son óptimos. En ocasiones el enjuague contiene aditivos que si no se retiran completamente pueden contaminar el agua subterránea. Cuando hay varias sustancias peligrosas como metales y aceites este tratamiento no es eficaz.

Métodos de Remediación	Ventajas	Desventajas
Extracción con solventes	Es eficaz para tratar contaminantes orgánicos,	No es aplicable para extraer contaminantes inorgánicos debido a que estos materiales no se disuelven fácilmente en la mayoría de los solventes.
Incineración	Se pueden tratar grandes volúmenes en tiempo cortos	Emisiones gaseosa. Alto costo de los incineradores.
Fitorremediación	Se requiere un mínimo mantenimiento y el manejo de materiales es mínimo. Pueden eliminar los últimos restos de contaminantes atrapados en el suelo que a veces quedan con las técnicas mecánicas de tratamiento. El suelo queda fértil y puede crecer nueva vegetación.	Las medidas fitocorrectivas son tratamientos mucho más lentos que otras y la profundidad de acción es hasta donde llegan las raíces. Aplicable para sitios con concentraciones bajas de contaminantes. Los contaminantes acumulados en las hojas puede liberarse al ambiente.
Tratamiento térmico	Permite tiempos rápidos de limpieza	La principal desventaja de utilizar este método es que el suelo queda desprovisto de toda la materia orgánica imposibilitándolo así para su posterior utilización.
Atenuación natural	Una vez remediado el suelo no se altera la estructura fisico-químico del suelo. Son mínimas la transferencia de los contaminantes hacia otros sitios. Los costos son menores que otros costos de remediación.	Tiempos de remediación considerablemente largos. Se requiere monitoreos a largo plazo.
Solidificación o estabilización	Bajo costos en equipos.	Solo se retiene el contaminante.

Biorremediacion

La Biorremediacion consiste en el uso de microorganismos tales como: enzimas, bacterias, hongos o bacterias, para descomponer o degradar sustancias peligrosas. Los microorganismos así como los seres humanos se alimentan de sustancias orgánicas, estando estas formadas por átomos de carbono y de hidrogeno, de las cuales obtienen nutrientes y energía, siendo esta técnica menos agresiva para la naturaleza ya que es 100% natural y de mas bajo costo que las otras técnicas.

La efectividad de este tratamiento depende de muchos factores: tipo y concentración del contaminante, concentración de nutriente, concentración de microorganismos, condiciones ambientales, etc.

Los Biorremediacion dependiendo las necesidades y características del problema se subdivide en varias metodologías:

Bioareacion: Consiste en estimular la biofrgradacion natural de los contaminantes de forma pasiva estimulando la actividad microbiana a través de gases, como el metano y oxigeno. Se utiliza principalmente para tratar suelos orgánicos semi volátiles o no volátiles.

Bioestimulacion: esta estrategia radica en adicionar soluciones acuosas que contengan nutrientes como el nitrógeno y fósforo para mejorar la biodegradacion de contaminantes orgánicos o para la inmovilización de los inorgánicos. Se aplica en suelos contaminados con pesticidas y se ha comprobado buenos resultados con desechos de municiones.

Bioaumentacion: Esta técnica se aplica cuando los microorganismos de la microflora son insuficientes para degrada los contaminantes y cuando se requiere el tratamiento inmediato del sitio contaminado, consiste en la adición de una alta concentración de microorganismos vivos capaces de degradar los contaminantes. Se ha usado para tratar suelos contaminados con insecticidas, herbicidas y con desechos con altas concentraciones de metales.

Biolabranza: Consiste en mezclar el suelo contaminado periódicamente con los nutrientes por medio del arado del mismo para favorecer la aireación, para optimizar la degradación las condiciones del suelo deben ser registradas constantemente. Se ha tratado con éxito los contaminantes como el diesel, lodos aceitosos, gasolina, algunos pesticidas.

Compostaje: Es un proceso biológico por medio del cual se trata los suelos contaminados mezclándolos con elementos orgánicos sólidos como paja, aserrín, estiércol y desechos agrícolas para regular la cantidad de nutrientes, aumentar la generación del calor y la aireación. Este proceso se utiliza principalmente en el tratamiento de residuos sólidos municipales, domésticos, de agricultura y fangos de depuradoras.

4. Aplicación del tratamiento

Adecuación del lugar

El lugar donde se construyeron las celdas de remediación fue en un terreno vacío junto a las oficinas del Centro de Estudio del Medio Ambiente (CEMA) de la Escuela Superior

Politécnica del Litoral Campus "Gustavo Galindo". A continuación se describe los pasos respectivos para la obtención de las celdas de remediación:

1. Apertura de dos zanjas para remediación, cuyas dimensiones son 2,50 m de largo; 0,80 m de ancho y 0,70 m de profundidad. Se dispusieron estas medidas para facilitar la remoción del material.
2. Colocación y compactación de una capa de arcilla de 5 cm, como sistema impermeabilizante en la parte inferior de las celdas.
3. Adición de carbonato de calcio $CaCO_3$ .en forma de capa de 1 cm. de espesor, colocada sobre la arcilla. Este material tiene la función de estabilizar la arcilla, para evitar su erosión o transporte por procesos hidrogeológicos.
4. Se colocó vegetación seca de las especies nativas (no invasivas) a las celdas para crear un ambiente orgánico óptimo en donde el proceso de descomposición bacteriano se adapte al sistema, haciendo que se descomponga con mayor facilidad las moléculas de hidrocarburos.

Manipulación y disposición del suelo contaminado

1. Se realizo la excavación en las inmediaciones de la gasolinera descrita previamente. Para tal efecto se hicieron huecos de 0.80x0,80 m.
2. El material contaminado era una mezcla de arena, limo y arcilla que fue utilizado para relleno del predio. Se recolectó y transportó este material en sacos de yute hasta el sitio de estudio, en donde se extrajo pequeñas muestras para realizar las pruebas en el laboratorio.
3. Se procedió a hacer una valoración visual del suelo que se transportó desde la gasolinera hasta el sitio de estudio, el mismo que presentaba una coloración negro verduzco y tenía un fuerte olor a gasolina sin presencia de vida animal o vegetal. Este material, dadas las condiciones del transporte y preservación presento las características originales del sitio donde se produjo el derrame.
4. Se colocó el material en las celdas y se retiró de forma manual las rocas de tamaño mayores a 4 cm. y materiales extraños tales como fragmentos de hormigón, etc., dejando la celda con una configuración con borde libre de 20 cm.

Proceso de Remediación

1. Para comenzar con los trabajos de remediación se procedió en primer lugar, a tomar la temperatura del suelo en dos puntos y a dos alturas diferentes, con la ayuda de un termómetro de punta. La medidas se realizaron a 5 cm. bajo la superficie y a 5 cm. sobre el fondo de la celda, posteriormente se le añadió agua.
2. Al día siguiente se removió el suelo haciendo la respectiva toma de temperatura y colocación de agua después del registro de temperaturas. Este paso se lo efectuó 3 veces por semana y en ocasiones con más frecuencia dependiendo de la humedad existente y durante 5 meses.
3. A partir de este punto (5 meses), se procedió a realizar las actividades características de los procesos de remediación seleccionados

Acondicionamiento nutritivo

1. Se añadió al material contaminado, aserrín. Luego se le agregó 1/4 de litro de bacterias diluidas en 10 galones de agua y 1/3 de taza de azúcar morena para activar las bacterias. Esto se mezcló para conseguir mayor uniformidad y se procedió a tapar la celda para mantener la temperatura menor de 75º C.
2. Se realizó monitoreos de la celda en períodos de un día.
3. En este tiempo se pudo notar la presencia de micro fauna como cien pies, los cuales se alimentan de la materia en descomposición. En los días subsiguientes la microfauna desapareció por completo producto de precipitaciones intensas (485,1 mm) que ocasionó inundaciones en el sitio, provocando el deceso y transporte de los insectos a otros sitios y la aparición de nuevas formas de vida que se adaptaron mejor al nuevo medio, por ejemplo: Stylommatophora (babosas).
4. Debido a las condiciones adversas (inundaciones), se procedió a evacuar el agua mediante baldes lo que produjo que las celdas estuviesen saturadas y su presentación evidenciara lodo y mezcla del material con suelo circundante.
5. Luego de dos semanas se pudo observar la presencia de vida vegetal.
6. A pesar de observar vida vegetal, no se observaba la micro fauna, se mezcló el material con aserrín para oxigenar el suelo y anular cualquier rastro de contaminante y humus enriquecido con nácaro como adición de microorganismos.
7. Luego se adicionó vegetación viva y vegetación seca del árbol de *Saman*. Las

primeras como aportación de hidrógeno y para evitar que se evapore el agua rápidamente ayudando así a oxigenar el suelo y las segundas para ser degradadas por los microorganismos.

8. Se tapó las celdas con vegetación seca de las especies nativas (no invasivas) para retener la humedad.
9. Después de un mes, habiéndose degradado las hojas, se observo la presencian de Actinomiceto en grandes cantidades.
10. Al cabo de 1 mes más, se observó la presencia en el suelo de Lombricus terrestres, con longitudes considerables, llegando a medir hasta 15 centímetros.

Aplicación de la Fitorremediación

1. Se dispuso el material remediado de las celdas en otra ubicación para su utilización como tierra de cultivo. Se mezcló el suelo con humus antes de sembrar sábila y dulcamara, también se sembró rábano y acelga en semilla pero no germinaron.
2. Se observó la presencia de hongos en el suelo.
3. En las primeras semanas, se evidenció un notorio deterioro en las plantas, no desarrollándose con normalidad y presentando una coloración morada y naranja, producto de los residuos de contaminación en el suelo que quedaban. El cultivo de plantas a más de demostrar si el trabajo de remediación fue exitoso tuvo la función de trabajo complementario de Fitorremediación.
4. Se procedió a cubrir con paja seca el suelo solo dejando expuestas las plantas para retener humedad y fomentar su crecimiento.
5. En el transcurso de dos semanas se notaron cambios notorios y el crecimiento de las plantas se desarrolló con normalidad.

5. Análisis e interpretación de los resultados

En base a la temperatura tomada de las celdas en el período de 6 meses tenemos como resultado gráficos comparativos de cómo cambió la misma con relación a la temperatura ambiental máxima y mínima, cuoys valores fueron proporcionados por el INAMHI.

En la primera semana se observaron temperaturas por encima de la temperatura ambiente máxima en la capa correspondiente a los primeros 5 cm. sobre la superficie, debido a la actividad bacteriana y a procesos de oxigenación y regeneración del suelo. Mientras que la temperatura correspondiente al fondo de la celda alcanzó valores casi iguales a la temperatura de ambiente máxima, lo que indica que hay un gradiente térmico entre la superficie de la celda y el fondo de la misma.

En el gráfico se puede notar que la temperatura tomada el día 27 Septiembre tiene el mismo valor tanto para el fondo de la celda como en la superficie, debido a que se procedió a remover el suelo antes del registro de temperatura.

Desde el 4 de Octubre, se registró una temperatura menor a la ta max, debido a que el registro de las mismas se realizó en las mañanas con un cielo nublado, el 6 de Octubre, se llego a tener el mínimo valor registrado de temperatura, cuando se realizo la adicción de agua. A partir de esa fecha la temperatura varia dependiendo los días que se le adicionada agua y los que no.

En el mes de noviembre se tuvo temperaturas aproximadas en el fondo de la celda y en la superficie. Se produjeron cambios que estaban relacionados más con la hora de registro y las condiciones atmosféricas.

En este gráfico es evidente que la colocación de agua en la celda juega un papel importante en la temperatura, pero la disminución de la misma se ve más afectada por las condiciones existentes en el ambiente que por la adición del líquido vital. El clima nublado sumado a las fuertes corrientes de aire constituye un sistema de enfriamiento natural que se había presentado en esos días.

En Enero, el gradiente de temperatura existente disminuyó considerablemente hasta llegar a una diferencia de 1º a 2º C, mientras que la temperatura en la celda sigue siendo afectada por las condiciones atmosféricas.

El gradiente de temperatura durante el mes de Febrero se mantuvo casi constante. Se noto una disminución de temperatura el día 13 de Febrero producto del acondicionamiento nutritivo con bacterias en las celdas de remediación, manteniendo luego de esto temperaturas por debajo del ta max.

En este mes la temperatura de las celdas tuvo un aumento progresivo, alcanzando su punto más alto el 30 de Marzo, coincidiendo con el acondicionamiento nutritivo.

El mes de Abril se mantuvo alta la temperatura por la formación de nutrientes debido a la degradación de la materia orgánica por los microorganismos, dándole al suelo una textura ligera y porosa, coincidiendo con la aparición de microfauna.

Las variaciones en Mayo no fueron considerables, el gradiente de temperatura casi es constante.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de los otros parámetros se presentan en forma de gráficos y tablas en la información respectiva resumida.

Los resultados de los compuestos orgánicos volátiles (VOC) tuvieron un decrecimiento considerable, disminuyendo a valores menores que el 0.5%.

Los valores de de TPH muestra que una declinación lenta al principio pero luego se da un decrecimiento abrupto que coincidió con la aplicación de la fitorremediación.

6. Conclusiones

Una vez analizado los resultados, se puede concluir:

- Al dejar el suelo sin tratar, es decir, permitir la atenuación natural, requeriría demasiado tiempo y dependiendo de las concentraciones y tipo de contaminante no se puede asegurar la recuperación del suelo puesto que algunos componentes no son degradables total o parcialmente.
- Se comprobó que el proceso ex situ permite un mayor control de los procesos de remediación, mediante el movimiento de tierra los agregados se desmenuzaron, teniendo los microorganismos más probabilidad de entrar en contacto con el contaminante para la degradación del mismo.
- La Fitorremediación como tratamiento complementario es efectivo siempre y cuando se de un acondicionamiento nutritivo al suelo antes y durante la aplicación de dicho tratamiento y es conveniente su aplicación debido a que no presentan residuos sólidos, ni líquidos y las plantas sembradas ayudaron al crecimiento de especies nativas del lugar.
- Aunque el suelo estaba aparentemente en condiciones óptimas para el crecimiento de microflora, se comprobó que no cumplía con las condiciones necesarias para el desarrollo óptimo de la misma, al sembrar semillas de alfalfa, estas no germinaron.
- Se determinó que el agua es un factor importante en el proceso de remediación puesto que los microorganismos toman los nutrientes de la fase líquida. El aumento de agua que se produjo por las grandes precipitaciones provocaron una inhibición del flujo de aire, reduciendo así el suministro de oxígeno dando como consecuencia la muerte de los microorganismos.
- Se pudo comprobar que aunque es impredecible el método de Biorremediación por depender de microorganismos, los cuales son sensibles a varios factores se puede hacer una extrapolación entre los ensayos en laboratorio y las situaciones en el campo.
- Los parámetros de HTP y COV presentaron una disminución considerable luego de adicionarle a la celda el aserrín y humus demostrando que al adicionar microorganismos y con la adecuado oxigenación el proceso se realiza con una mayor efectividad y mucho mas rápido.
- Se debe tomar en cuenta usar la flora y fauna del sector en donde se produjo la contaminación y procurar no usar especies del sector ex-situ.
- La aportación del agua al suelo, disminuye la temperatura del mismo de manera significativa, disminuyendo el gradiente térmico, producto de las reacciones químicas de los procesos de descomposición y remediación que sufre el suelo. De esta manera el mismo se regula y permite su regeneración.
- Los compuestos orgánicos volátiles tienen la mayor disminución en este proceso el segundo mes. Su decrecimiento progresó en el tercero, atenuándose levemente. Demostrando la contaminación disminuyo a límites donde fue posible el crecimiento de microflora.
- Se puede deducir, basados en los parámetros de TPH que las plantas asimilaron el contaminante, de esta manera se justifica el deterioro de las plantas en las primeras semanas.
- Debido a que los sitios contaminados por lo general no presentan la actividad biológica necesaria para que se produzca la degradación de los contaminantes por lo que es conveniente, introducir al medio, microorganismos, cuya efectividad haya sido probada previamente.

7. Referencias

[1] Contaminación y depuración de suelos. Instituto tecnológico geominero de España

[2] Michael L., Phillip B., Jeffrey E., *Gestión de residuos tóxicos. Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos,* Editorial Mc. Graw Hill, Volumen I, 1996.

[3] Montes D., Calvo M., *Contaminación del suelo: Estudios, tratamientos y gestion*, Ediciones Mundi-Prensa, 1999

[4] Sebastián M., Hurtig A., *Petróleo en la cuenca amazónica del Ecuador produce una "emergencia sanitaria"*, Ecuador, 2004

[5] Glynn H., Heinke G.,. Ingenieria Ambiental, Segunda Edición, México, 1999

[6] Meter A., Bahret M., Chaves J., Courts G., D'Alessio N., Biología , Prentice Hall.
[7] Revista "Vida y Futuro", Maria Julia Osorio Michel, 2003, Ecuador
[8] Tecnología de remediación de suelos contaminados, Tania Volke Sepúlveda, Juan Antonio Velasco Trejo, Instituto Nacional de Ecología, 2002, México.
[9] Principios de Biorrecuperacion, Juana B. Eweis, Janina J. Egas, Daniel P. Y. Chang, Edgard D. Schroeder, Mc Graw-Hill, España, 1999, 1era Edicion.
[10] http://www.selvas.org/foto/Ecuador/oilpit2.JPG
[11] http://www.globalexchange.org/tours/774.html
[12] http://www.gfbv.it/2c-stampa/2006/060905es.html
[13] http://www.texacotoxico.org/img/frontpage/FDA49.jpg
[14] http://www.texacotoxico.org/index.php?option=com_zoom&Itemid=75&catid=3&PHPSESSID=b80a588d0040eec7a494fe9a3ec3f6c6
[15] http://www.epa.gov/SW-846/main.htm
[16] http://www.remediacion.com/informes/03_1.pdf
[17] http://www.ine.gob.mx/cdoc/
[18] http://www.ine.gob.mx/
[19] Acondicionamiento del suelo." Microsoft® Encarta® 2006 [CD]. Microsoft Corporation, 2005.
[20] http://www.Sueloscontaminados_GeneralidadesMedio-AmbienteinfoElportaldelMedioAmbienteenEspañol,Noticias,Entrevistas,Masters,Cur.htm
[21] http://www.Emagister_com-La guía inteligente de formación_archivos\contaminacion-hidrocarburos.htm
[22] http://www.revisar2\5% DEL FEIREP PARA LA REPARACIÓN AMBIENTAL - Acción Ecológica Ecuador.htm
[23] http://www.La explotación del petróleo en la cuenca amazónica del Ecuador produce una "emergencia sanitaria".htm

Ing. Guillermo Francisco Torres

Ing. Bella Karina Toledo Moran