

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE EN ESMERALDAS**



ESCUELA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

**ESTUDIO DE CASO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

TEMA:

**“REMEDIACIÓN DEL DERRAME DE CRUDO EN EL RECINTO
WINCHELE DESDE UNA PERSPECTIVA AMBIENTAL Y SOCIAL”**

AUTOR (A):

KAREN CELORIO ZURITA

ASESOR:

MGT. FELIPE CARRERA VILLACRÉS

ESMERALDAS, 2016

Examen Complexivo aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos
por el reglamento de Grado de la PUCESE previo a la obtención del título de
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL.

Presidente Tribunal de Graduación

Lector 1

Lector 2

Director de la Escuela de Gestión Ambiental

Mgt. Carlos Torres Alvarado

Mgt. Felipe Carrera Villacrés

Director de Caso de Estudio

Esmeraldas, 2015

Índice

1.	Resumen	iii
2.	Abstract	iv
3.	Justificación	5
4.	Objetivos	6
4.1.	General	6
4.2.	Específicos	6
5.	Caso	6
5.1.	Tecnologías de biorremediación	15
5.2.	Tratamientos in situ más comunes	16
5.2.1.	Bioventeo (bioventing) aeróbico	16
5.2.2.	Biosparging	17
5.2.3.	Barreras permeables reactivas	18
5.2.4.	Fitorremediación	20
5.3.	Tratamientos ex situ más comunes	21
5.3.1.	Landfarming	21
5.3.2.	Compostaje	22
5.3.3	Biorreactores en “slurry”	23
6.	Propuesta de intervención	25
7.	Referencia bibliográfica	29
8.	Anexos	31

Resumen

El principal recurso para el desarrollo social es la energía fósil, ya que en torno a ella gira la economía de la humanidad, al mismo tiempo que ha generado impactos ambientales negativos muy significativos, como es el caso de la parroquia Winchele perteneciente a la provincia Esmeraldas.

La tubería que transporta el crudo desde la Amazonía hasta el puerto petrolero de Balao, atraviesa este sector, debido a que el suelo del sitio presenta inestabilidad lo cual propició un deslizamiento de tierra que fisuró la tubería, provocando un derrame de crudo que afectó el río y la vegetación del sitio. Muchas personas que habitan la parroquia viven directamente de los recursos naturales que se vieron afectados.

Para la descontaminación del sitio, la empresa OCP puso en marcha su plan de contingencia, removiendo vegetación y parte del suelo que haya entrado en contacto con el petróleo para aplicar tecnologías de biorremediación. También evaluó los daños económicos causados a los habitantes para indemnizarlos.

El presente estudio de caso analiza las distintas metodologías aplicables ante derrames eventuales, a más de expresar cual es la apreciación de la ciudadanía ante las labores de remediación que aplicó la empresa OCP, para restaurar la zona afectada por el derrame.

Abstract

The main resource for social development is the fossil energy which sustains the economy of humanity. At the same time it has generated very significant negative environmental impacts such as the accident occurred in Winchele, located in the province of Esmeraldas.

Pipeline transporting crude oil from the Amazonia to Balao oil port passes through this sector. Due to soil physical instability conditions, a landslide occurred, breaking the pipe causing an oil spill that affected the river and the vegetation of the site. People nearby depend directly on natural resources were seriously affected.

For the decontamination of the site, OCP launched its contingency plan, removing vegetation and soil in contact with oil in order to implement technologies of bioremediation. It also assessed the economic damage to the inhabitants to compensate.

This study analyzes the different methodologies applicable to eventual spills, as well as shows the appreciation of citizenship about the remediation work performed by OCP to restore the area affected by the spill.

Justificación

El petróleo es parte de la fuente principal de ingresos económicos en el Ecuador. A pesar de haber evolucionado la economía del país en los últimos años, ésta sigue sin diversificarse, sustentándose principalmente de este hidrocarburo, el cual se encuentra confinado en su mayoría en la Amazonia ecuatoriana. Desde allí se realizan los procesos de explotación para ser distribuido hasta el terminal marítimo petrolero de “Balao”, para su posterior exportación hacia los distintos países en los cuales es comercializado (Castillo, 2012).

El trazado del oleoducto inicia en el cantón Lago Agrio, avanza de forma paralela hasta el este de Papallacta dentro del Sistema Oleoducto Transecuatoriano (SOTE). El Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) abandona el SOTE en este punto, y prolonga la ruta hasta el norte de Quito avanzando hasta La Unión, parroquia del cantón Quinindé perteneciente a la provincia de Esmeraldas. En este sitio el oleoducto se conecta con el SOTE nuevamente, antes de alcanzar la costa pacífica donde se vincula con el puerto petrolero de Balao (El nuevo oleoducto de crudos pesados en Ecuador, 2001).

La trayectoria tiene aproximadamente 506 Km de distancia, atraviesa las pendientes del sistema montañoso de la Cordillera de los Andes y otras menores en la Amazonia y Costa. Este complejo proceso presenta efectos colaterales hacia el ambiente principalmente en la fase de transporte donde ocurren derrames de manera eventual, influye en la fragilidad de los suelos.

El presente estudio de caso toma como referencia un derrame suscitado en el recinto Winchele (cantón Esmeraldas) en el año 2013, el cual se produjo por la inestabilidad geológica del territorio.

Se pretende analizar las metodologías ejecutadas para la remediación del lugar después del derrame. Para contrarrestar las consecuencias es necesario adoptar medidas de restauración, analizando previamente las tecnologías aplicables en la recuperación de los espacios que se vean perturbados por derrame de crudo en sus distintos escenarios (Torres, 2011).

En esta investigación se decidió incluir la opinión de los moradores del sector, mediante encuestas. Sus comentarios son fundamentales debido a que sus tierras de cultivo se vieron afectadas al igual que el riachuelo que atraviesa el sector abasteciéndolos de agua. A partir de las respuestas se podrá determinar el grado de recuperación que ha tenido el sitio afectado por el derrame.

Objetivos

General: Identificar las distintas metodologías aplicables en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos y revisar la percepción del medio social afectado.

Específicos:

1. Describir lo sucedido en el recinto Winchele referente al derrame de crudo ocurrido en el año 2013.
2. Evaluar las alternativas de remediación del suelo contaminado.
3. Obtener la percepción de la ciudadanía con relación al incidente determinando los beneficios y perjuicios.

Caso

Winchele es un recinto de la provincia de Esmeraldas, lugar dónde el pasado lunes 8 de abril del año 2013 a las 06:30 de la mañana ocurrió un derrame de crudo. Se perdieron 5.500 barriles, equivalentes a 874.4301 litros de crudo que contaminaron 3,2 km del estero que atraviesa el sector.

El hecho sucedió en la zona de montaña a 5 kilómetros de distancia de la vía que conduce Quinindé-Santo Domingo, por donde atraviesa la tubería de 36 pulgadas que maneja la empresa de oleoductos de crudos pesados (OCP), (Figura 1).

El crudo derramado proviene desde el Oriente y es trasladado hasta el puerto petrolero Balao ubicado en la provincia de Esmeraldas desde dónde se exporta. La ruta que toma hasta llegar a su destino final atraviesa este recinto, el cual se asienta en una zona que representa un suelo compuesto principalmente por arcilla expansiva, siendo el sitio propenso a hundimientos y deslizamientos. Esta fue la causa por la cual se dio la pérdida de hidrocarburo, de acuerdo a las explicaciones que dio la empresa responsable.

La explicación de la empresa OCP fue la siguiente: en el tramo del km 474 ocurrió un deslizamiento de tierra, fracturando la tubería que se encontraba soterrada a una distancia de 2,5 metros dejando escapar el crudo. Cuando ocurrió la baja de presión en el sistema, automáticamente se cerraron las válvulas de bloqueo 20023 y 20024, imposibilitando que el crudo se extienda a mayores distancias (Ecuador Times, 2013).

Una vez ocurrido el hecho, la empresa OCP informó sobre la situación a la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburíferos, y a la Secretaría de Hidrocarburos. Sus funcionarios se trasladaron hasta el lugar para inspeccionar y evaluar las actividades de restauración. Para el control del derrame, OCP solicitó la colaboración de empresas privadas y el Ministerio del Ambiente (MAE) (Agencia de regulación y control hidrocarburíferos 2015).

Con el análisis de la situación se procedió con la implementación de tres puntos de control que consistían en la construcción de diques levantados en el río, el último se encontraba a 4,7 km de distancia del sitio afectado, se establecieron estos puntos de retención de crudo para proceder con su succión, evacuación y almacenamiento del crudo en tanqueros vacuum que lo trasladaban hasta el terminal petrolero Balao.

RECINTO WINCHELE

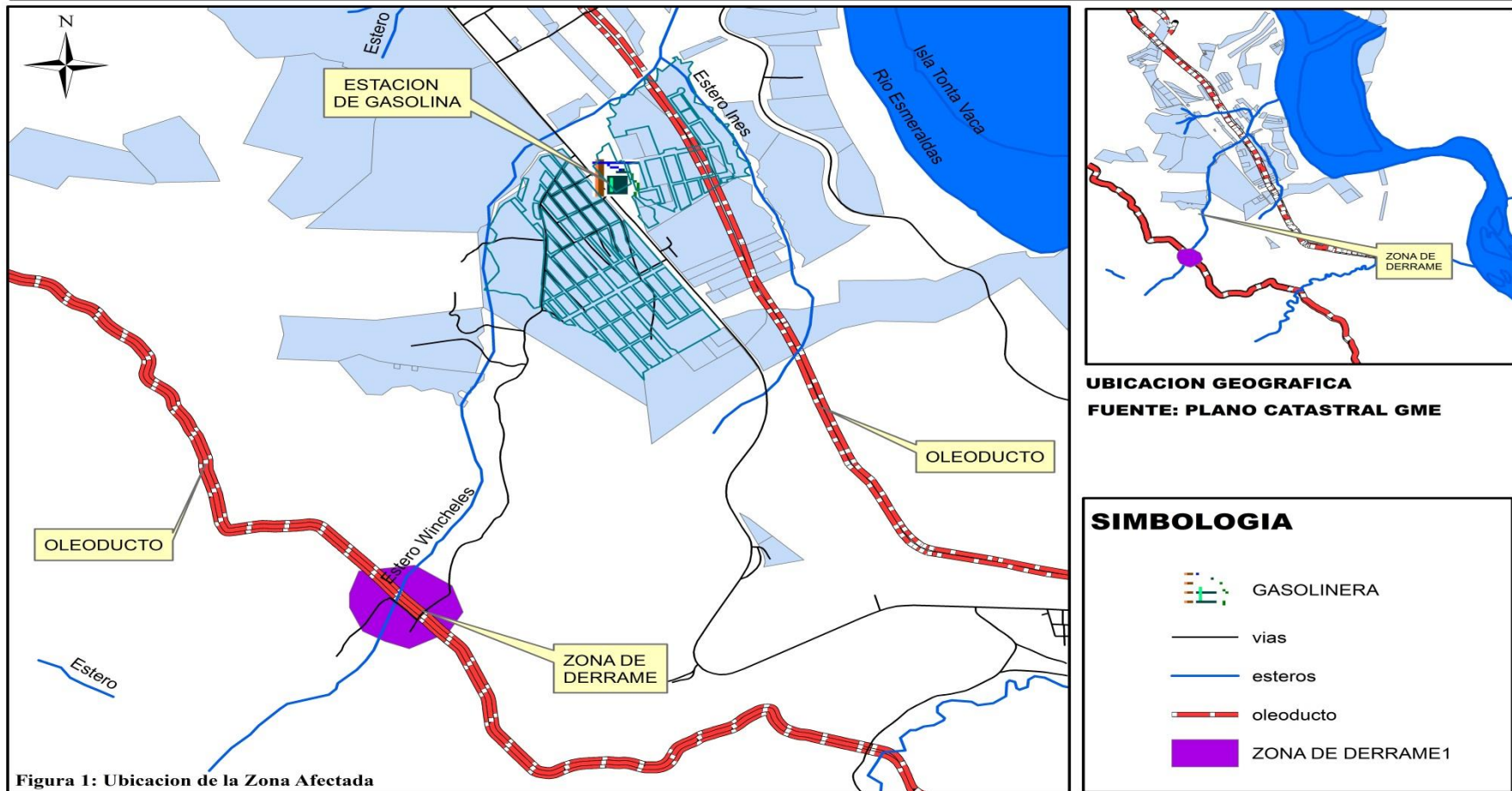


Figura 1: Ubicacion de la Zona Afectada

Junto a los diques se ubicaron tubos de PVC en forma de cuello de ganso para evacuar el agua situada bajo el petróleo, acompañados de espuma dispersante y absorbentes, en el tramo bajo del río se complementaba el tratamiento con salchichas de material oliofóbico y polvo encapsulante de hidrocarburo. Este polvo se dispersa sobre el cuerpo de agua, separando el contaminante y mediante redes se recoge el producto aglutinado, el cual tiene la capacidad de atrapar aceites, combustibles y solventes.

En el sector conocido como el Cabezón, donde desemboca el río Winchele y se une con el estuario Esmeraldasse propagó también líquido dispersante y se realizaron acciones deremoción, retención y recolección de vegetación con presencia de contaminante, estos restos de flora colectada fueron sellados en fundas de color rojo, y trasladado hacia una empresa gestora de residuos peligrosos.

Se dispuso de la gasificación térmica como disposición final de la vegetación, que consiste en la conversión de gases combustibles a partir de productos orgánicos. Los agentes gasificantes pueden ser aire, vapor de agua u oxígeno, el gas generado es de bajo poder calórico y puede aprovecharse mediante procesos de combustión para generar energía térmica o gas de síntesis.

Como medida de prevención en los exteriores de la planta de captación de agua potable se instalaron barreras de geotubos que impidieron el paso del hidrocarburo. Los geotubos son contenedores creados de geotextiles de alta resistencia que delimitan el crudo derramado para poder acumularlo.

El departamento de Seguridad y Salud Ambiental de OCP, se encargó de la toma de muestras de agua en los alrededores de la empresa de agua potable (EAPA San Mateo) así como también en la ribera del cauce, las muestras no arrojaron existencia de contaminantes por lo cual la empresa de agua potable continuó con sus labores, manteniendo las medidas de prevención mientras duró el proceso de restauración ambiental (OCP Ecuador, 2013).

El Ministerio del Ambiente, al ser el organismo rector del sector ambiental, fue la institución encargada de monitorear el cumplimiento de las distintas acciones de remediación, compensación e indemnización por parte de la empresa OCP. Solicitó de

manera inmediata al Área de Responsabilidad Social de la empresa la aplicación del Plan de Respuestas a Emergencias.

El MAE se encargaba de verificar que se efectuaran las gestiones necesarias para la remediación del daño y que el resultado fuera similar al estado natural en el cual se encontraba antes del derrame de crudo. Para cumplir con este objetivo planteado, funcionarios de la institución realizaron recorridos fluviales iniciando en el puerto pesquero, subiendo hasta el cruce del río Winchele y Esmeraldas.

En el trayecto los guarda-parques atravesaron la Reserva Estuario Río Esmeraldas, donde registraron la presencia de hidrocarburo en los alrededores. Se observaron raíces, hojas de mangle y follaje que contenían rastros de crudo. Para la extracción del material pétreo en este espacio natural, se implementaron labores de limpieza usando componentes especiales. No se procedió con el corte de vegetación debido a que el bosque de mangle presenta un sistema natural de desinfección de aguas residuales a más de fortalecer el suelo. Estas labores fueron realizadas por personal contratado de la empresa OCP, ya que estaban incluidas en la fase de remediación del Plan de acciones que aplicó la compañía, para proceder con la reparación de los daños causados por el crudo.

Dentro del Plan se contempló el ámbito social, iniciándose con el abastecimiento permanente de agua potable y alimento para la comunidad afectada y sus animales. El MAE solicitó a OCP como empresa responsable del daño, respuesta inminente ante la comunidad sobre cualquier duda referente a lo suscitado, a más de la presencia de un equipo médico que atiende y evalúa a los habitantes. La institución reguladora con ayuda del Ministerio de Educación se encargó de la reubicación de la escuela César Névil Estupiñán a la cual acuden 70 niños de la localidad y se encuentra ubicada cerca del sitio donde ocurrió el derrame.

La empresa inició la reparación del tubo de 36 pulgadas el mismo día que se suscitó la dispersión del crudo, abarcó 12 metros de distancia y tardó unos cuantos días en cambiarse, pero en cuanto al daño ambiental ocasionado la demora fue mayor, por lo que la compañía de Oleoductos de Crudos Pesados se comprometió a remediar el daño

ambiental, y paralelamente indemnizar de manera económica a los perjudicados, los cuales ascendían a un aproximado de 150 familias.

Para proceder con la indemnización en términos de justicia social y ambiental, la compañía OCP, contrató los servicios de la consultora Cardno ENTRIX, para realizar una valoración de bienes y servicios ambientales afectados. La compensación económica se basó en cuatro parámetros: daños civiles, pérdida de bienes, daño moral y lucro cesante.

Al cumplirse aproximadamente cuatro meses se dio por finalizado el proceso de remediación en el espacio afectado del recinto Winchele, al igual que el río, el cual desemboca en el estuario Esmeraldas. En el instante que OCP determinó que había cumplido tanto con la remediación ambiental como social, el caso del derrame en el recinto Winchele se decretó que había llegado a su cierre.

Han transcurrido dos años desde el instante que sucedió este desastre ambiental y los moradores del sector tienen muy presente el evento, y como se modificó su forma de vida a partir de esta intervención. Todos coinciden que las obras sociales como la instalación de la red de alcantarillado, tuberías de agua potable y luminarias en la vía, han mejorado su calidad de vida. Infortunadamente la calidad del suelo aún no se ha podido regenerar, la flora y fauna silvestre del río y sus orillas poco a poco se empiezan a recuperar.

En el presente estudio de caso se incluyó la opinión de los habitantes del recinto Winchele, para ello se tomó una muestra poblacional que estableció como resultado que una cantidad representativa a investigar eran 21 familias de las 150 afectadas, para obtener una deducción confiable (Figura 2).

La determinación del tamaño de la muestra se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{N \cdot E^2 + Z^2 \cdot p \cdot q} = 20.69/R$$

Donde:

E: 20% (porcentaje de error)

Z: 95% (nivel de confianza)

P: 0.50 = 50% (porcentaje de éxito)

Q: $1-p = 1-0.50 = 0.5$

N: tamaño de la población

Se determinó que por medio de encuestas con respuestas cerradas se analizaría la perspectiva que tiene la población respecto al derrame y las acciones tomadas. Véase en anexo 1 el modelo de la encuesta efectuada. De acuerdo a las indagaciones, se apreció contraposición en cuanto a las respuestas. Las familias que se encuentran situadas en la zona más alejada del lugar donde ocurrió el derrame consideran que las obras sociales establecidas han compensado el daño sufrido, ya que fueron dotados de servicios básicos necesarios al igual que remuneraciones económicas. Se encuentran a gusto con las acciones tomadas, coincide que los representantes de estas familias laboran fuera de la parroquia y no trabajan la tierra para subsistir.

Existen familias situadas a orillas del río, y otras que cuentan con parcelas cercanas a la rivera que se sienten sumamente perjudicados. Reconocen que tanto la indemnización económica como los servicios básicos obtenidos como compensación al perjuicio causado, han facilitado su forma de vida. Pero consideran que el sitio hasta la fecha no ha logrado recuperarse por completo y como prueba ellos muestran sus cultivos atrofiados.

Estas familias consideran que el lugar no logrará nunca recuperar sus propiedades al cien por ciento, y aunque la flora y fauna acuática empieza a resurgir nuevamente, no lograron volver a sobrevivir únicamente de sus cultivos porque estos no logran germinar correctamente (Véase Tabla I en Anexos).

A partir de los datos tabulados se consiguieron gráficos representativos de las opiniones personales de los habitantes del recinto que emiten sus comentarios según sus vivencias.

¿El derrame sucedido el pasado 8 de abril del 2013, ha generado cambios en su diario vivir?

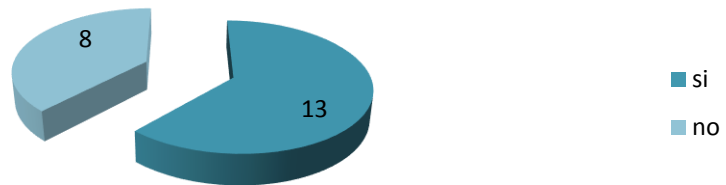


Figura 3: total de personas que se sienten afectadas.

¿Considera que se hizo una correcta restauración del suelo después de lo ocurrido?

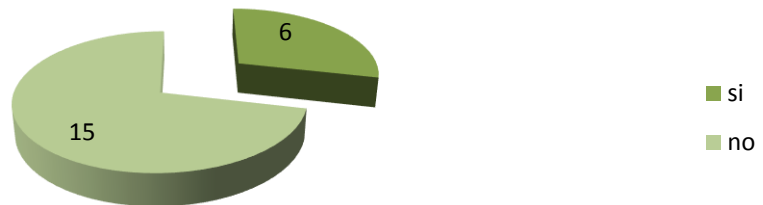


Figura 4: proporción de personas que consideran correctas las acciones de la OCP.

¿Usted considera que las acciones tomadas ante el derrame de crudo fueron las adecuadas?

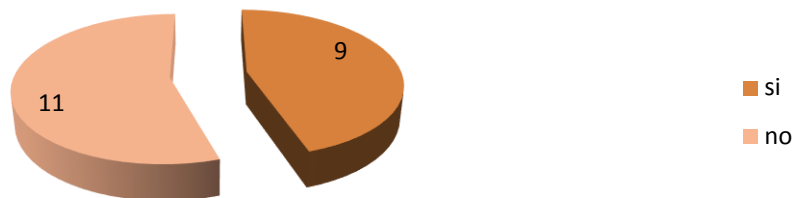


Figura 5: proporción de personas conformes con las indemnizaciones.

En el rango del 1 al 5, sabiendo que 1 es imperceptible y 5 perjudicia califique cual fue el grado de afeccion que sufrió el medio donde ocurrió el daño

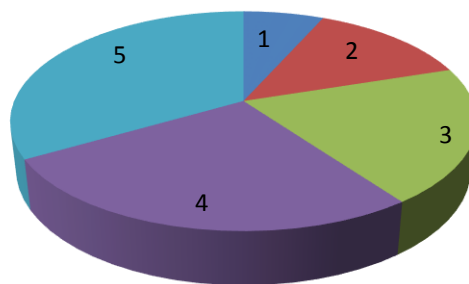


Figura 6: número de personas que consideran un hecho grave el derrame originado.

Actualmente, se están retomando las labores de agricultura, pero los cultivos cercanos a la rivera germinan, crecen unos pocos centímetros y mueren. Los agricultores comentan

que al arrancar estas plántulas se observan las raíces quemadas, y que esto se debe a que la tierra a lo largo del río no recibió un tratamiento alguno.

Las acciones de remediación tomadas por la empresa OCP solo fueron destinadas al sitio donde se esparció el crudo, pero el río arrastró restos de petróleo que iban contaminando a su paso, los moradores recuerdan que las tareas de limpieza consistían en recoger aquella vegetación contaminada en bolsas plásticas especiales y el crudo adherido en la tierra y rocas fue diluido con espumas dispersante y agua a presión.

La empresa dentro de sus planes de contingencia contempla en primer lugar la biorremediación de los suelos que hayan sido afectados por crudo (OCP Ecuador, 2013). La biorremediación consiste en la biodegradación microbiana de contaminantes que rápidamente son eliminados o transformados en CO₂, sales inorgánicas y biomasa.

Usualmente, la remediación de suelos consiste en el retiro de los contaminantes de manera inmediata pero estos pueden persistir durante décadas, por ellos se aplican tecnologías que ayuden con la regeneración de los suelos. La biorremediación es uno de estos procesos, aplicable en agua y suelos. Se considera una de las técnicas más factible económicamente, su funcionamiento se da mediante el uso de estimulantes de crecimiento, enzimas, bacterias, plantas para degradar, transformar o movilizar contaminantes orgánicos, inorgánicos y metales.

Existen varias técnicas de recuperación que se aplican en la remediación de suelos, que permiten restaurar las propiedades físico, químicas y biológicas de la tierra (Ortiz, I., et al., s.f.)

Tecnologías de biorremediación

Para seleccionar la técnica más acorde a la situación es necesario basarse en los principios básicos existentes, los cuales se mencionan a continuación:

- La susceptibilidad que presenta el contaminante a la transformación biológica.
- La accesibilidad de los contaminantes a los microorganismos

- La capacidad de optimización de la actividad biológica. adecuada

Las distintas tecnologías pueden ser clasificadas *in situ* o *ex situ*. El tratamiento *ex situ* consiste en la separación del suelo y contaminante en otro sitio, ya sea dentro o fuera del emplazamiento donde se dio el derrame. Se inicia con la excavación del suelo afectado, el cual se traslada hasta la instalación donde se implementarán procedimientos acordes a la afección que haya sufrido determinado territorio, con la finalidad de restituir sus propiedades perdidas a causa de la dispersión de petróleo.

La técnica *in situ* consiste en darle tratamiento al sitio contaminado dentro de su emplazamiento natural, debido al coste que conlleva la excavación y transporte esta técnica es más aplicada (Izquierdo, 2013).

Tratamientos in situ más comunes

Bioventeo (bioventing) aeróbico

Se considera una técnica aplicable a mediano y largo plazo con periodos de operación usualmente superiores a los dos años. Se aplica a suelos contaminados por compuestos biodegradables: hidrocarburos del petróleo, aceites minerales, queroseno. Se limita su aplicación en terrenos poco permeables o con espacios saturados de agua, estos factores limitan su eficiencia.

Consiste en aplicar oxígeno en suelos que se encuentren saturados de contaminantes, estimulando la descomposición de los compuestos biodegradables mediante la actividad microbiana que se produce por la lenta circulación del aire, la cual beneficia la degradación de compuestos orgánicos volátiles (COV), compuestos orgánicos semi-volátiles (SVOCs), pesticidas y herbicidas no halogenados, a medida que son transportados por el subsuelo (Izquierdo, 2013).

Se instalan pozos de inyección que van unidos a un elevador de presión mediante una red de PVC que induce el movimiento lento del aire. En presencia de contaminantes volátiles el flujo de aire residual se conduce a un separador aire-líquido donde se extrae fortuitamente residuos de agua que son trasladados hasta un sistema de tratamiento de

gases dónde se eliminan los contaminantes biodegradados. Debido a que el agente limitante de la actividad biológica es la disponibilidad de oxígeno y nutrientes, en algunos casos es necesario la aportación de nutrientes o surfactantes mediante puntos de inyección (Véase la figura 7).

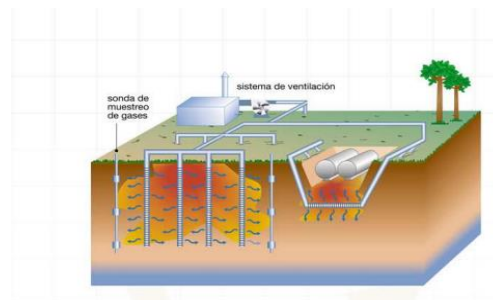


Figura 7: Sistema de Bioventing

La biodegradación provocada actúa sobre el estado de oxidación de los compuestos, reduciendo la movilidad del contaminante en el suelo, la ventaja más evidente es la compatibilidad con relación al uso del suelo presentando un impacto mínimo sobre la superficie. Además, no demandar excavaciones, convirtiéndose en una alternativa altamente viable por la facilidad de operación y el mínimo requerimiento de control.

Biosparging

Es una técnica variante al bioventing, basada en la aplicación de aire (oxígeno) para extraer volátiles orgánicos y estimular su biodegradación mediante organismos autóctonos, que desarrollan su actividad biológica al máximo a partir de la inyección de aire. Mientras se da el burbujeo de aire se eliminan contaminantes mediante la volatilización promoviendo su biodegradación (Ordoñez, J. s.f.) (Véase en la figura 8).

Su aplicación depende de la permeabilidad del suelo, en este factor se fundamenta la tasa de transferencia de oxígeno desde la fase gaseosa hasta la fase acuosa, microorganismos y biodegradabilidad de los contaminantes.

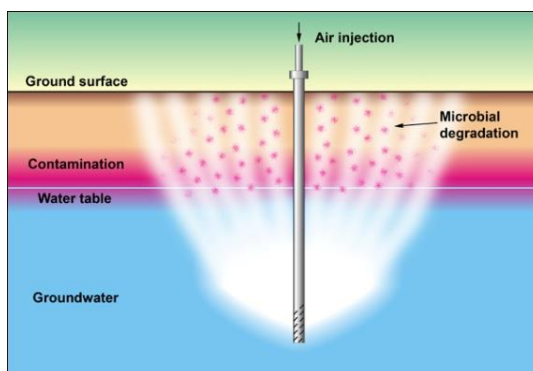


Figura 8: Sistema de Biosparging

Este procedimiento funciona mediante una serie de pozos de inyección por donde se procede con la inmisión del aire comprimido directamente sobre el lecho acuoso para aumentar la actividad degradativa aeróbica, que transforma los contaminantes a CO_2 , H_2O , biomasa y compuestos menores. Esta inyección de aire funciona dependiendo del grado de volatilidad del contaminante, y se utiliza para la limpieza de los compuestos orgánicos tanto en suelos como en agua subterránea.

Al no requerir de excavación presenta un impacto mínimo sobre la superficie, convirtiéndose en una alternativa altamente competitiva por su fácil operación y bajo control, presenta desventaja al aplicarse en sitios heterogéneos, ya que la distribución de gases no es uniforme.

Barreras permeables reactivas

Son paredes permeables construidas bajo suelos poco compactos por donde circule agua subterránea. Estas paredes tienen materiales reactivos encargados de atrapar las sustancias contaminantes cuando el agua pasa a través de ellas. Para la aplicación de este método la contaminación no debe superar los 15 metros de profundidad (Véase en la figura 10).

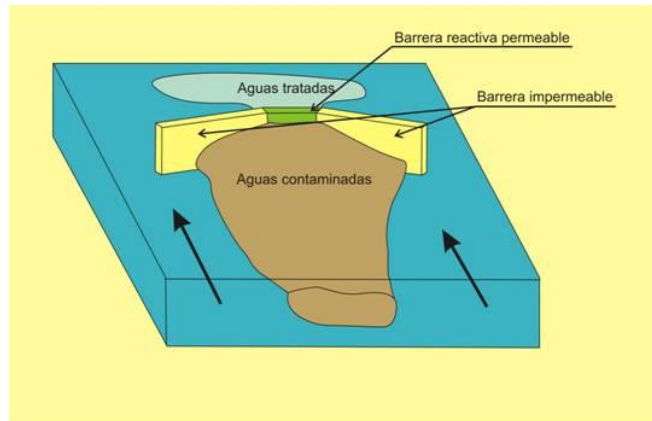


Figura 10: Sistema de Barreras permeables reactivas.

Los materiales reactivos más comunes son el hierro, piedra caliza y carbono mezclados con arena, mediante un embudo el agua es dirigida hasta la pared. Existen distintas metodologías de aplicación.

- Sorbiendo: el carbono absorbe las sustancias dañinas cuando el agua lo atraviesa.
- Precipitando: la piedra caliza ayuda a precipitar los metales, que se van depositando en la pared como sólidos.
- Transformando: el hierro convierte algunos solventes en sustancias químicas inofensivas.
- Estimulando: el oxígeno contribuye al crecimiento de bacterias que transforman estos contaminantes en gases inofensivos como dióxido carbónico o anhídrido carbónico.

Las barreras permeables resultan económicas y rápidas, al no existir maquinaria sobre la superficie, los terrenos pueden utilizarse para otras actividades. Los desechos resultantes son muy pocos y se pueden sepultar en vertederos.

El tiempo que tardan los cuerpos de agua en descontaminarse varía de acuerdo a la velocidad con la que atraviesan las paredes y la cantidad y tipo de contaminantes que tiene presente (Environmental Protection Agency, 2001).

Fitorremediación

Consiste en emplear plantas para la recuperación ambiental, se puede aplicar sobre sustratos sólidos, líquidos y gaseosos, sea subterráneo o superficial. Se considera la tecnología más barata y menos invasiva dentro del ambiente, utiliza plantas para la absorción de los contaminantes (Véase figura 11).



Figura 11: Proceso de Fitorremediación

Existen plantas manipuladas genéticamente para la su aplicación en Fitorremediación, las cuales absorben los contaminantes mediante procesos químicos, biológicos dentro de la planta, incorporando los contaminantes a su composición. El inconveniente de esta técnica radica en que fácilmente puede llegar a la cadena alimenticia, de no ser así, la disposición final de esa planta contaminada supone una dificultad.

Por este motivo esta técnica de remediación ya se encuentra obsoleta en muchos países, y el ministerio del ambiente del Ecuador ya no contempla la aplicación de esta metodología (Cherian, S., et al 2005).

Los tratamientos *ex situ* a su vez son clasificados de acuerdo al sitio donde se implementan, sea dentro de la zona contaminada (**on site**) o un sitio lejano a su emplazamiento natural (**off site**).

Tratamientos *ex situ* más comunes

Landfarming

Es un procedimiento aplicable a suelos contaminados con hidrocarburos, consiste en aplicar un pre-tratamiento biológico con microorganismos, que mineraliza parcialmente los compuestos orgánicos y acelera el proceso de degradación.

Debido a que esta es una técnica *ex situ*, el suelo a tratar se traslada hasta emplazamientos destinados para esta labor. El terreno debe ser totalmente plano, en un espacio abierto con un fondo compuesto por una capa de arcilla, así se evitará que la contaminación se filtre hasta aguas subterráneas. El sitio debe tener un foso para evitar que se desborde en caso de lluvias. La precipitación y temperatura del ambiente son factores indispensables para la elección de la zona donde se aplicara la técnica (Toledo, K., 2009).

Al suelo contaminado se le aplica una capa de tierra de 50 cm de espesor, se realiza un proceso de arado para crear un ambiente óptimo donde se desarrollen las bacterias, se añade abono para proveer de nitratos y fosfatos, se hace uso del carbonato cálcico para elevar el pH del suelo hasta 7,8.

El inconveniente al aplicar Landfarming como sistema de tratamiento se encuentra en la acumulación de metales pesados en el sitio donde se realiza el proceso de recuperación (Véase figura 12).x Como consecuencia posteriormente este sitio no puede ocuparse para labores agrícolas o ganaderas. Los gastos económicos que implican esta tecnología es un agente limitante para su aplicación

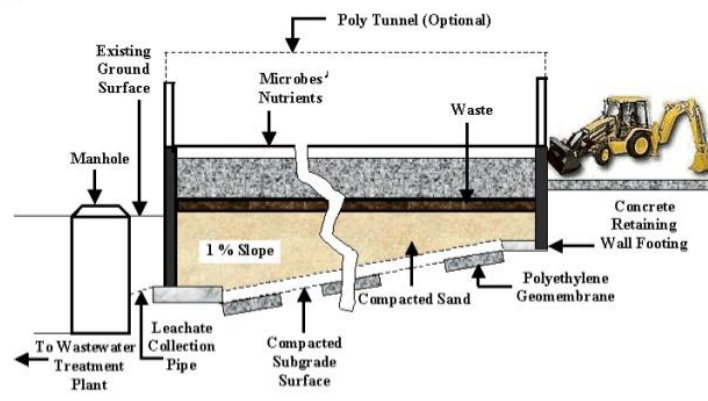


Figura 12: Sistema de Landfarming

Compostaje

Es un proceso biológico en el cual intervienen numerosos microorganismos que convierten a los contaminantes orgánicos en sustancias inofensivas. Para iniciar con el tratamiento se excava el sitio afectado por el crudo. Este suelo contaminado es trasladado hasta la zona de tratamiento, la cual consiste de una pista impermeabilizada con ajuste de pendiente hasta un sumidero donde se controlan los lixiviados. Estos son reinyectados en el suelo, generando un círculo semi-cerrado de circulación de agua (Volke, T., 2002).

Se da inicio al tratamiento mezclando la tierra contaminada con material orgánico sólido biodegradable como desechos agrícolas, paja, estiércol, aserrín entre otros. Se requiere de humedad y aireación controlada, para que los compuestos pasen a una etapa termófila produciendo temporalmente fito-toxinas que conlleven a los compuestos contaminantes a convertirse en dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada dispuesta para utilizar en agricultura sin fenómenos adversos (Véase figura13).

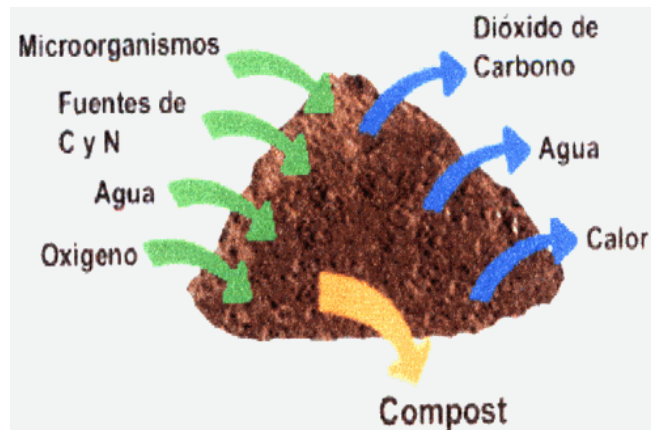


Figura 13: Formación de compost

El costo del compost se relaciona con la cantidad de suelo a tratar, tipos de contaminantes, control de COV, excavación y transporte del suelo que se remediará.

Las ventajas son evidentes, el resultado es un suelo útil para agricultura. Esta tecnología utilizada correctamente no genera efectos negativos significativos. No es necesario equipo especializado para su aplicación, se considera una tecnología poco invasiva. El inconveniente se produce cuando la biodegradación es incompleta y genera intermediarios metabólicos inaceptables que en ocasiones se convierten en contaminantes superiores al producto inicial.

Biorreactores en “slurry”

Los biorreactores son sistemas de cultivo optimizados que mantienen un ambiente biológicamente activo. Generalmente los biorreactores son recipientes cilíndricos y su tamaño dependerá del uso que se le destine. Dentro de él se produce un proceso químico a partir de organismos activos, y el dispositivo les brinda las condiciones ambientales adecuadas como temperatura, pH y concentración de oxígeno a los organismos que se están cultivando (Biotecnología 20012).

Los reactores de suelos activados “slurry biorreactors” son otra alternativa de limpieza para sedimentos contaminados con crudo. Este procedimiento se lleva a cabo en

instalaciones de tratamiento y acondicionamiento para sustratos que presenten compuestos tóxicos muy recalcitrantes en concentraciones muy altas o cuando se desee resultados de recuperación a corto plazo.

Se inicia con una fase acuosa manteniendo el biorreactor en suspensión mediante agitación para originar mayor transferencia de masa, se adicionan solventes y tensoactivos. Funcionan con agrupaciones microbianas, provenientes de la microflora nativa (véase figura 14).

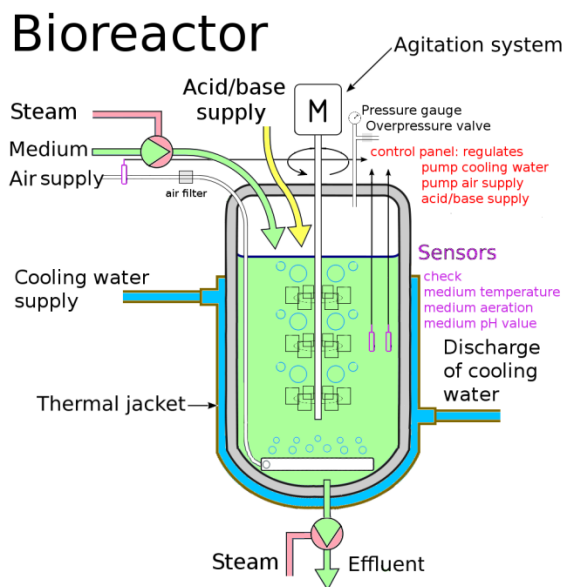


Figura 14: Proceso de biorreacción

Se recomienda el uso de esta técnica cuando el contaminante tiende a preservar sus propiedades y las técnicas *in situ* resultarían inofensivas o muy lentas. Existe inconveniente al aplicar esta técnica en cuando los costos de tecnología, los cuales dependen de la administración y preparación del suelo, agregando el cotos de

construcción y operación de los biorreactores, con el ocasional tratamiento de las emisiones gaseosas que producen (Ferrera, R., et al. (2006).

Propuesta de intervención

Cada derrame de hidrocarburo cuenta con características físico-químicas particulares, por ello se examinaron varias técnicas de remediación afines con el desastre ambiental ocurrido en el recinto Winchele a causa de un derrame de crudo, teniendo en cuenta las circunstancias en las cuales aconteció.

Para este caso se propone realizar una campaña de muestreo dentro del área de emplazamiento. La cantidad de puntos de muestreo estará basada directamente en el factor económico versus extensión del área afectada. Se recomienda tomar un número considerable de muestras para obtener un resultado significativo, pero este punto dependerá del presupuesto con el que se disponga.

Según las investigaciones, el derrame no afectó un área extensa, y las acciones tomadas a tiempo evitaron una contaminación profunda. Por este motivo se determinaron 4 puntos de muestreo, el primero se localizará en la zona de pendiente donde se rompió la tubería y el crudo se acumuló. Los puntos faltantes se situarán a lo largo del río Winchele, en determinados sitios donde se considera que el crudo se fijó con mayor fuerza al sustrato

Con ayuda de un barreno a una profundidad de 50 centímetros se tomarán submuestras en forma cilíndrica que deberán ser mezcladas homogéneamente. En dos fundas ziploc se depositará y sellará herméticamente 1 kg de suelo en cada una, una será la muestra compuesta que irá al laboratorio y la segunda servirá de respaldo por si los primeros resultados no parecen los adecuados.

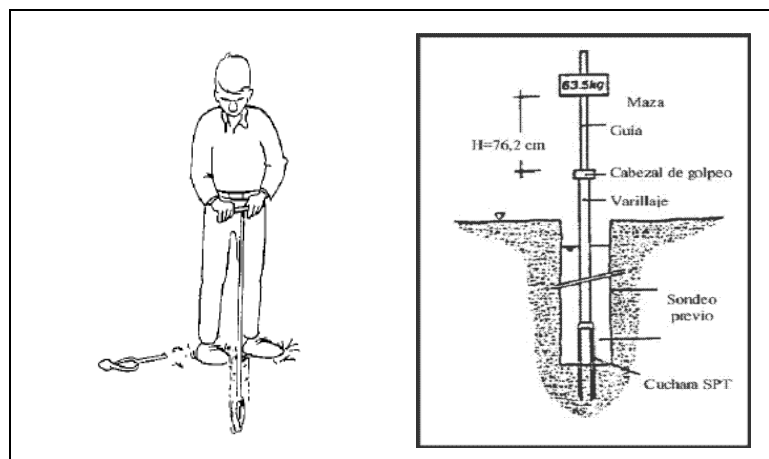


Figura 15: Funcionamiento del Barreno

El laboratorio que se elija para el análisis de las muestras de suelo deberá encontrarse acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE). Los parámetros muestreados serán los que prescriben en la tabla 6 del Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas (RAOHE), (véase Tabla II).

Parámetro	Expresado en	Unidad	Uso agrícola	Uso industrial	Ecosistemas sensibles
Hidrocarburos totales	TPH	mg/kg	<2500	<4000	<1000
Hidrocarburos aromáticos policíclicos(HAPs)	C	mg/kg	<2	<5	<1
Cadmio	Cd	mg/kg	<2	<10	<1
Níquel	Ni	mg/kg	<50	<100	<40
Plomo	Pb	mg/kg	<100	<500	<80

Tabla II: parámetros que dicta la tabla 6 del RAOHE

Si los resultados obtenidos nos advierte sobre la presencia de contaminantes en el suelo, en base a los factores económicos, profundidad de la contaminación y condiciones ambientales, se realiza la elección de la metodología más acertada para la recuperación del sitio afectado.

Para este sitio se propone aplicar una técnica combinada, compuesta por Landfarming y Compostaje. Landfarming es una tecnología *ex situ* elegida gracias a las ventajas que posee, teniendo en cuenta que la contaminación fue superficial. Los costos que supone, son por el proceso de excavación, transporte y contrato de servicios de la empresa gestora que la aplicará.

El ministerio del Ambiente presenta un listado de gestores calificados. HAZWAT es una de estas empresas que cuenta con el servicio de biorremediación para suelos contaminados con residuos de hidrocarburos. Esta sería la principal opción para llevar a cabo Landfarming.

Esta metodología en condiciones controladas no genera residuos ni riesgos de contaminación tanto superficiales como subterráneos, el impacto negativo es mínimo ya que los hidrocarburos migran a compuestos inocuos, es una técnica que se adecúa a condiciones climáticas diversas, la cantidad de hidrocarburos degradados que se encuentren contenidos en el suelo es considerable. Se garantizará la recuperación del suelo mediante análisis mensuales.

En cuanto a la tecnología de Compost, se analizará para ser aplicada en la rivera. Cuando el derrame ocurrió, el río arrastró residuos de crudo el cual se adhirió al sustrato de la orilla, razón a la cual los agricultores adjudican pérdida de sus cultivos hasta el momento.

Este proceso de recuperación es ideal, porque el resultado final es un suelo útil para ser labrado, sin crear efectos adversos, es una tecnología poco invasiva, bajo condiciones óptimas y controlando el proceso la biodegradación no se producirán metabólitos que puedan convertirse en contaminantes superiores. Los costos son bajos porque no necesita de maquinaria especializada, los gastos serán acordes a las dimensiones del terreno y los biodegradables disponibles. Se puede incluir a la comunidad en la elaboración del Compost.

Al combinar ambas tecnologías se pretende que la biorremediación del suelo sea eficaz, priorizando el bienestar del medio en armonía con la sociedad que se ha visto perjudicada.

En otra situación, en la cual el derrame hubiese tardado mucho más tiempo sin ser atendido, la contaminación sería más profunda y el área afectada más extensa, por lo cual esta metodología propuesta no sería viable, principalmente por los costos que implica. Se consideraría como la mejor opción, la aplicación de Biosparging, porque al inyectar nutrientes acelera el proceso de degradación la materia contaminante.

Con los resultados conseguidos se procede a socializar ante la comunidad, si el suelo aún presenta rastros de contaminación o ciertamente cumple con los parámetros establecidos para considerarlo un suelo remediado.

Referencia bibliográfica

- Agencia de regulación y control hidrocarburíferos. 2015. Derrame de petróleo ocurrido en el OCP, Esmeraldas [en línea]. Quito. Disponible:
<http://www.arch.gob.ec/index.php>
- Biotecnología. (2012). Etapas de desarrollo de la biotecnología. Disponible:
<http://biorincon.blogspot.com/2012/06/biorreactor.html>
- Castillo, S. (2012). De políticas de sistemas y tendencias tecnológicas: un breve relato. Mirador económico actualidad, análisis y opinión.
- Cherian, S., Oliveira, M. 2005. Transgenic plants in phytoremediation: recent advances and new possibilities. Environmental Science & Technology. 39: 9377-9390.
- Ecuador times BG. Enfermedades y muertes por derrame de crudo en estero Winchele [en línea]. Abril 2013. Esmeraldas. Disponible:
<http://www.ecuadortimes.net/es>.
- El nuevo oleoducto de crudos pesados en Ecuador. (2001). Amazon Watch. Volumen 1.
- Environmental Protection Agency. (2001). Guía del Ciudadano para las Barreras Reactivas Permeables. Recuperado el 15 de agosto del 2015.
- Ferrera, R., et al. (2006). Procesos de bioremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. Vol. 48.
- Gonzales, J. (2008). Aplicación de tecnologías combinadas para la remoción de fenoles en las aguas de producción del campo Arauca. (Tesis de grado). Colombia
- Izquierdo, A. (2013). Biodegradación de HAPs durante la biorremediación aeróbica de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo. Análisis de poblaciones bacterianas y genes funcionales. (Tesis doctoral). Recuperada de
<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1466/1/T-SENESCYT-00600.pdf>.
- Ministerio del Ambiente. (2013). MAE inspeccionó la zona de derrame del petróleo en Esmeraldas. [en línea]. Quito. Disponible:
<http://www.ambiente.gob.ec/>

- OCP Ecuador. (2013). Compromiso, respeto, integridad y transparencia. Volumen 23.
- Ordoñez, J. (Sin fecha). Procesos y tecnologías emergentes de remediación de aguas subterráneas contaminadas con disolventes clorados. Sevilla.
- Ortiz, I., *et al.* (Sin fecha). Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Informe de vigilancia tecnológica.
- Toledo, K. (2009). Aplicación de procesos biológicos como medidas de remediación para recuperar suelos Limo-Arcillosos contaminados con gasolina. (Tesis de grado)
- Torres, C. (2011). Plan de contingencia para derrames de hidrocarburos en las líneas de flujo en el campo Cuyabeno de Petroproducción. (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Silva *et al.* (2009). Estudios en la Zona no Saturada del Suelo. La Biodegradación de Hidrocarburos y su aplicación en la Bioremediación de suelos. Vol IV. Barcelona.
- Volke, T., Velasco, J. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología. México.

Anexos

Encuesta sobre la situación actual en el recinto Winchele, después del derrame ocurrido en el año 2013.

¿El derrame sucedido el pasado 8 de abril del 2013, ha generado cambios en su diario vivir?	Si		No							
¿Considera que se hizo una correcta restauración o recuperación del suelo después de lo ocurrido?	Si		No							
Usted considera que las acciones tomadas ante el derrame de crudo fueron las adecuadas.	SI		NO							
En el rango del 1 al 5, sabiendo que 1 es imperceptible y 5 perjudicial califique cual fue el grado de afección que sufrió el medio donde ocurrió el daño	1		2		3		4		5	

Anexo 1

Anexos

Número	Pregunta	Respuesta	Cantidad
1	El derrame sucedido el pasado 8 de abril del 2013, ha generado cambios en su diario vivir?	si	16
		no	5
2	Considera que se hizo una correcta restauración del suelo después de lo ocurrido?	si	6
		no	15
3	Usted considera que las acciones tomadas ante el derrame de crudo fueron las adecuadas?	si	7
		no	14
4	En el rango del 1 al 5, sabiendo que 1 es imperceptible y 5 perjudicial califique cual fue el grado de afección que sufrió el medio donde ocurrió el daño	1	1
		2	3
		3	4
		4	2
		5	11

Tabla I: resultados de encuesta