



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LODOS RESIDUALES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES USADOS DE ETAPA EP., POSTERIOR AL TRATAMIENTO CON ECOSOIL, SPHAG SORB Y COMPOSTAJE

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MASTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

AUTOR

Ing. Agrop. Juan Carlos Castro Cordero

DIRECTOR

Blgo. Juan Pablo Martínez Moscoso, M.Sc.

CUENCA – ECUADOR

2014

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada con mucho amor a mi esposa Maribel, por todo el sacrificio, dedicación y apoyo incondicional brindado para poder culminar mis estudios.

JUAN CARLOS

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme permitido culminar mis estudios y de manera especial al Blgo. Juan Pablo Martínez Moscoso, por haber dirigido mi tesis y a cada uno de los profesionales y amigos que me prestaron su ayuda incondicional.

JUAN CARLOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN:	9
CAPITULO I	
1.1 GENERALIDADES DE LOS HIDROCARBUROS:	11
1.2 GENERALIDADES DE LA BIORREMEDIACIÓN:	15
1.3 LEGISLACIÓN APLICABLE:	25
1.4 PROBLEMATICA:	27
1.5 OBJETIVOS:	28
1.6 HIPOTESIS:	28
CAPITULO II	
2. MATERIALES Y METODOS	29
2.1 DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO	29
2.2 SELECCIÓN Y DISEÑO DE LOS TRATAMIENTOS	30
2.3 DISEÑO ESTADISTICO	31
2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL	31
2.4.1 PROCEDENCIA Y TOMA DE MUESTRA A ENSAYAR	31
2.4.2 ANALISIS QUIMICO PREVIO AL TRATAMIENTO	31
2.4.3 TRATAMIENTO DE LOS LODOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS	31
2.4.3.1 TRATAMIENTO DE DESINTOXICACION DE LAS MUESTRAS.	32
2.4.3.2 TRATAMIENTO DE BIORREMEDIACIÓN POR COMPOSTAJE.	32
2.5 MONITOREO:	39
2.6. REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD EN EL ENSAYO.	40
2.7. DIAGRAMA	41
2.7.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ACTIVIDAD REALIZADA.	41
CAPITULO III	
3. ANALISIS ESTADISTICO	42
3.1 ANALISIS ESTADISTICOS DE LOS RESULTADOS	42
3.2 ANALISIS ECONÓMICO DEL ENSAYO	51

CAPITULO IV	55
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	55
CAPÍTULO V	58
5. CONCLUSIONES.	58
6. RECOMENDACIONES.	59
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	60
8. ANEXOS	63

Contenido Mapas

Mapa 1.- Mapa de localización del sitio experimental.....	29
---	----

Contenido de Cuadros

Cuadro 1. Técnicas de remediación clasificadas de acuerdo a su naturaleza y la forma de aplicación (Moreno et al 2004).	16
Cuadro 2. Ventajas y desventajas de las técnicas de remediación clasificadas de acuerdo a su aplicación in situ y ex situ (Volke y Velasco, 2002).	16
Cuadro 3. Ventajas y desventajas de las técnicas de remediación, clasificadas de acuerdo con el tipo de tratamiento (Volke y Velasco, 2002).	17

Contenido Tablas

Tabla 1: Composición elemental del petróleo.....	11
Tabla 2: Clasificación del petróleo según su gravedad API.....	11
Tabla 3: Criterios de remediación para suelos contaminados con hidrocarburos.....	25
Tabla 4: Diseño de los tratamientos de desintoxicación y compostaje.....	30
Tabla 5: Materiales y Equipos utilizados en el proceso de desintoxicación.....	32
Tabla 6: Diseño del proceso de desintoxicación de las muestras.....	34
Tabla 7: Materiales y Sustratos utilizados en el proceso de biorremediación por compostaje...	36
Tabla 8: Diseño de los tratamientos de desintoxicación y compostaje.....	42
Tabla 9: Esquema de muestro.....	42
Tabla 10: Esquema de la variación del peso durante el proceso.....	42
Tabla 11: Valores corregidos de la concentración de TPH.....	43
Tabla 12: Porcentaje de remoción de hidrocarburos.....	45
Tabla 13: Análisis de ANOVA.....	47
Tabla 14: Estadístico descriptivo.....	47
Tabla 15: Prueba de homogeneidad de varianzas.....	48
Tabla 16: Pruebas sólidas de igualdad de medias.....	48

Tabla 17. Costos del tratamiento T1.....	51
Tabla 18. Costos del tratamiento T2.....	52
Tabla 19. Costos del tratamiento T0.....	53
Tabla 20: Análisis del costo por kilogramo de cada tratamiento.....	54
Tabla 21: Resultado de la determinación de la línea base.....	55
Tabla 22: Resultados del proceso de desintoxicación de las muestras.....	55
Tabla 23: Resultados del proceso de compostaje en cada uno de los tratamientos.....	56
Tabla 24: Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburifera, incluidas las estaciones de servicio.....	57

Contenido Fotografías

Fotografía 1: Vista de los desechos sólidos contaminados con hidrocarburos.	30
Fotografía 2: Vista de los desechos líquidos contaminados con hidrocarburos.	30
Fotografía 3: Vista del proceso de trazado de las pozas, para el compostaje.....	33
Fotografía 4: Vista del proceso de remoción de tierra, para la formación de las pozas de tratamiento.....	33
Fotografía 5: Vista de las pozas de compostaje listas para iniciar el proceso de biorremediación.	33
Fotografía 6: Vista del proceso de construcción del invernadero.	33
Fotografía 7: Vista del invernadero listo para el proceso.....	34
Fotografía 8: Vista del invernadero listo para el proceso.	34
Fotografía 9: Vista del proceso de pesaje de los lodos aceitosos.	35
Fotografía 10: Vista de la mezcla de lodos aceitosos más ECOSOIL o SPHAG SORB, para la desintoxicación.....	35
Fotografía 11: Vista de la mezcla ensacada, pesada y lista para el proceso de deshidratación. .	35
Fotografía 12: Vista de la muestra desintoxicada, puesta a deshidratación.....	35
Fotografía 13: Vista de los materiales utilizados para el proceso de compostaje.	38
Fotografía 14: Vista del proceso de trituración de los materiales, previo ingreso al proceso de compostaje.	38
Fotografía 15: Vista del proceso de incorporación de los diferentes materiales a la pila de compostaje.	38
Fotografía 16: Vista del proceso de incorporación de los diferentes materiales a la pila de compostaje.	38
Fotografía 17: Vista de la formación de la pila de compostaje	38
Fotografía 18: Vista de la formación de la pila de compostaje	38
Fotografía 19: Vista de las pilas de compostaje cubiertas con plástico negro, listas para iniciar el proceso.....	38
Fotografía 20: Vista de las pilas de compostaje cubiertas con plástico negro, listas para iniciar el proceso.....	38

Fotografía 21: Vista de una de las muestras de suelo, posterior al proceso de desintoxicación y biorremediación por compostaje49

Fotografía 22: Vista de las muestras de los tratamientos T1 y T2.49

Contenido Gráficos

Gráfico 1: Valores de la determinación de TPH en cada muestra.....45

Gráfico 2: Porcentaje de Remoción de Hidrocarburos46

Gráfico 3. Gráfico de medias.....49

Gráfico 4: Diferencias en la prueba de homogeneidad de varianzas49

Gráfico 5: Comparación de la eficiencia de los tratamientos.50

Gráfico 6: Comparación del Costo/Beneficio de cada tratamiento.....57

Contenido de Ilustraciones

Ilustración 1: Biodegradación del petróleo.....22

Ilustración 2: Principios de la Biorremediación.....22

Ilustración 3: Disposición de los materiales de compostaje.....37

Ilustración 4: Diseño aleatorio simple, para proceso de toma de muestras.....39

Juan Carlos Castro Cordero
Maestría en Gestión Ambiental

Universidad del Azuay. Av. 24 de mayo 7 – 77 y Hernán Malo
Cuenca – Ecuador
e mail: jcastro@etapa.net.ec

RESUMEN

ETAPA EP., lleva adelante, el “Programa de Recolección de Aceites Minerales Usados”, con el propósito de recolectarlos para disponer de ellos de una manera ambientalmente segura, lo que ha originado el inconveniente de la generación de lodos contaminados con hidrocarburos como resultado de la sedimentación y precipitación en el tanque de almacenamiento. La presente investigación aspira comprobar la eficiencia de dos productos complementarios en técnicas de Biorremediación de suelos, para poder disponer de estos desechos, cumpliendo con los límites permisibles establecidos por la legislación ambiental. Se utilizó un diseño experimental con Ecosoil y Sphag Sorb, en dos muestras de lodos aceitosos y una tercera sin tratamiento como testigo, posterior a esto, las tres pasaron a biorremediación por compostaje. El más conveniente y eficiente fue el tratamiento (T1). En base a los resultados de esta investigación se acepta la hipótesis planteada de que “la aplicación adecuada de técnicas de biorremediación en los lodos residuales del tanque de almacenamiento de aceites minerales usados de ETAPA EP, posterior al tratamiento con ECOSOIL y SPHAG SORB, permite una eficiente degradación de los hidrocarburos comprobada mediante la determinación de Hidrocarburos Totales de Petróleo”.

Palabras Clave: Lodos aceitosos, hidrocarburos, degradación, biorremediación, desintoxicación, compostaje.

ABSTRACT

DETERMINATION OF HYDROCARBONS IN SEWAGE SLUDGE FROM ETAPA EP USED OIL STORAGE TANK, AFTER ECOSOIL, SPHAG SORB AND COMPOSTING TREATMENT

ETAPA EP, runs the "Collection of Used Mineral Oils Program" in order to collect and dispose them in an environmentally safe manner; however, this has led to the generation of sludge contaminated with hydrocarbons as a result of sedimentation and precipitation in the storage tank. This research aims to check the efficiency of two complementary products in soil bioremediation techniques in order to dispose these wastes in compliance with the limits set by environmental legislation. An experimental design with Eco soil and Sphag Sorb was used in two samples of oily sludge and a third sample without treatment as a control. Later, the three samples went to bioremediation by composting. The most convenient and efficient treatment was (T1). Based on the results of this research, the hypothesis that "the proper application of bioremediation techniques in the sewage sludge of used mineral oils storage tank of ETAPA EP, after being treated with ECOSOIL and SPHAG SORB, allows efficient degradation of hydrocarbons proven by the determination of Total Petroleum Hydrocarbons"

Keywords: Oily Sludge, Hydrocarbons, Degradation, Bioremediation, Detoxification, Composting.




Lic. Lourdes Crespo

INTRODUCCIÓN

En nuestra ciudad, una de las fuentes que generan contaminación de origen antropogénico, son los hidrocarburos: lubricantes y combustibles, los cuales forma parte fundamental del desarrollo en la industria y movilización y junto a la falta de concientización existente en la población sobre la responsabilidad que supone el adecuado uso y disposición de ellos, han provocado daños irreversibles en nuestro medio ambiente.

Por medio ambiente entendemos, el entorno que afecta a los seres vivos y establece especialmente las condiciones de vida de las personas o la sociedad en su vida. Comprende el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y en un momento determinado, pues influyen en la vida del ser humano y en nuestras futuras generaciones. Por lo tanto, no se trata sólo del espacio físico en el que se desarrolla la vida sino que también incluye seres vivos, objetos, agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos.¹

El progreso tecnológico y el acelerado crecimiento demográfico causan la alteración del medio, llegando en algunas ocasiones a atentar contra la armonía y el equilibrio biológico de la Tierra. Conociendo el hecho de que la contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro mundo y se produce, como resultado de la introducción de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidad tal, que rompe el equilibrio y causa efectos adversos sobre los elementos bióticos y abióticos del mismo, es imprescindible que se protejan los recursos renovables y no renovables y que las personas tomemos conciencia de que el saneamiento del ambiente es fundamental para la vida sobre el planeta.²

La Empresa Municipal Pública **ETAPA EP.**, tiene como visión integral, la prestación de servicios básicos, tales como: Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado, Tratamiento de Aguas Servidas y Gestión Ambiental; estando esta última, evidenciada en una serie de programas y proyectos desarrollados por la Subgerencia de Gestión Ambiental. Precisamente, la empresa preocupada por la mala disposición que se da a los lubricantes (aceites minerales), lleva adelante desde el año 1998, el “Programa de Recolección de Aceites Minerales Usados”, que tiene como objetivo fundamental “Proteger nuestros recursos hídricos, mediante la disposición adecuada de estos desechos líquidos peligrosos” así como también garantizar el correcto funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (**PTAR**).

1. (Frers, www.elmercuriodigital.es)

2. (Frers, <http://www.internatura.org>)

La disposición ambientalmente segura, inicia con la recolección de los aceites en los puntos generadores (lubricadoras, mecánicas, lavadoras, etc.), el almacenamiento en un tanque de 1000 m³ de capacidad, en donde se realiza un tratamiento primario, que consiste en la separación por densidades, de agua y desechos flotantes, para finalmente ser enviados al co-procesamiento, que se ejecuta en la empresa HOLCIM, industria cementera, con quienes se mantiene firmado un convenio que reglamenta, que la entrega del aceite mineral debe hacerse en condiciones óptimas (libres de agua y sedimentos); y conociendo que, en el tanque de almacenamiento se concentran y depositan la mayor cantidad de impurezas, es necesario se insista en una periódica limpieza de manera que garantice la calidad del aceite, para su entrega.

Los lodos aceitosos generados en el proceso de almacenamiento, constituyen la problemática de esta remediación, por lo tanto al momento que se cumple con la limpieza o mantenimiento del tanque, se los traslada a contenedores de 1 m³ de capacidad, ubicados en la parte posterior del mismo, en una área encementada, impermeabilizada y bajo cubierta, cuya capacidad máxima es de diez unidades y una vez alcanzado este número, los contenedores llenos de lodos aceitosos, son enviados a la ciudad de Guayaquil para el proceso de incineración.

Siendo este, el procedimiento manejado actualmente, para remediar por una parte el problema ambiental suscitado por la contaminación con los aceites minerales usados (hidrocarburos), y por la otra, el tratamiento seguro de los lodos residuales generados. El presente trabajo tomó como referencia las técnicas de biorremediación, les incorporó nuevos aspectos como son la desintoxicación primaria de los lodos aceitosos mediante la utilización de productos complementarios (Ecosoil y Sphag Sorb) con la finalidad de absorber y encapsular los hidrocarburos de las muestras y obtener una mayor degradación de los mismos durante la fase de compostaje.

CAPITULO I

1.1 GENERALIDADES DE LOS HIDROCARBUROS:

Definición: Es un recurso natural no renovable y actualmente también es la principal fuente de energía en los países desarrollados. El petróleo líquido puede presentarse asociado a capas de gas natural, en yacimientos que han estado enterrados durante millones de años, cubiertos por los estratos superiores de la corteza terrestre. Es una mezcla extremadamente compleja y variable de compuestos orgánicos, donde la mayoría de ellos son hidrocarburos insolubles en el agua y su fórmula general es (C_nH_{2n+2}) .³

Composición: Químicamente, el petróleo es una mezcla de hidrocarburos compuestos, formados principalmente por carbono (C) e hidrógeno (H) con contenidos menores de otros elementos como azufre, oxígeno, nitrógeno o trazas de metales, dependiendo del lugar de donde provengan.⁴

Tabla 1: Composición elemental del Petróleo.

Elementos	Porcentaje
C	83 – 87%
H	11 – 16%
S	0 – 4%
O	0 – 0,35%
N	0 – 0,5%

Fuente: Modificado de Parra E, Petróleo y gas natural Industria, mercados y precios 2003

Clasificación del petróleo según su gravedad API:

El petróleo contiene tal diversidad de componentes que difícilmente se encuentran dos tipos idénticos. Relacionándolo con su gravedad API el *American Petroleum Institute* clasifica el petróleo en "liviano", "mediano", "pesado" y "extrapesado":⁵

Tabla 2: Clasificación del petróleo según su gravedad API

Denominación del crudo	Grado API
Crudo liviano o ligero	mayores a 31,1 °API
Crudo medio o mediano	entre 22,3 y 31,1 °API
Crudo pesado	entre 10 y 22,3 °API
Crudo extrapesado	menores a 10 °API

Fuente: Ancheyta, Jorge; Speight, James G. (2007) *Hydroprocessing of heavy oils and residua*.

3. (Iglesias) 2003. *Petróleo y gas natural: Industria, mercados y precios*.

4. (Pardo, J., et al., 2004). *Efecto de la adición de fertilizantes inorgánicos compuestos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo*.

5. Ancheyta, Jorge; Speight, James G. (2007) *Hydroprocessing of heavy oils and residua*.

Los parámetros internacionales, (API) diferencian sus calidades y por tanto su valor. Así, entre más grados API tenga un petróleo, mejor es su calidad. Los petróleos de mejor calidad son aquellos que se clasifican como "livianos", "suaves" y/o "dulces".

Importancia de los Hidrocarburos:

Para el desarrollo social el petróleo ha tenido un gran impacto, ya que del petróleo se dice que es el recurso energético más importante en la historia de la humanidad, que aporta la mayor parte de la energía total que se consume en el mundo que equivale a un 40%.⁶

El petróleo y sus aplicaciones resultan ser todavía el elemento más importante para la economía y la vida del hombre. En una civilización movilizada por este tipo de energía, aparece el dilema de ser también, una fuente de contaminación ambiental. Actualmente, cabe mencionar que no existe producto o subproducto derivado del petróleo sin aplicación. El petróleo a nivel mundial y regional es muy importante, es utilizado en las industrias químicas, farmacéuticas, manufactura de plásticos, polietileno y materiales diversos, además constituye la principal fuente de combustible para los sistemas de transporte hoy en día usados en el mundo entero. Asimismo, en el Ecuador, la utilización de los combustibles y lubricantes para vehículos, ha aumentado como resultado del crecimiento poblacional y territorial, provocando el uso indiscriminado de los mismos y en consecuencia la contaminación de suelos y acuíferos por su inadecuada disposición.⁶

Refinación del Petróleo:

El petróleo crudo no tiene uso; es por eso que se somete a un proceso de refinación con la finalidad de separar sus componentes útiles y, además adecuar sus características a las necesidades de la sociedad, en cuanto a productos terminados.⁷

La industria de refinación de petróleo encierra una serie de procesos físicos y químicos a los que se somete el petróleo crudo para obtener de él por destilación y transformación química, los diversos hidrocarburos o las familias de hidrocarburos. Las fracciones obtenidas se dirigen a procesos adicionales como los de hidrosulfuración, reformación de naftas, desintegración catalítica y térmica y reducción de viscosidad que dan origen a los productos petrolíferos que se comercializan en el mercado: gasolina automotriz, diesel, kerosina, combustóleo, turbosina, vaselinas, aceites lubricantes, grasas, etc.⁷

6. (Petroecuador) 2010. *El petróleo en el Ecuador*

7. (www.energia.gob.mx). *Refinación*

Aceites lubricantes: Se utilizan como base para la elaboración de lubricantes terminados. Por su composición química pueden ser nafténicos (caracterizados por un menor índice de viscosidad) o parafínicos (alto índice de viscosidad).

Algunas de las especificaciones más importantes de los lubricantes básicos son su viscosidad, punto de inflamación, temperatura de escurrimiento y color. En general los aceites lubricantes automotrices, dependiendo del uso que se les dé: motor a diesel o gasolina, transmisión manual o automática, sistema de la dirección, etc., así como la viscosidad que se requiere y las especificaciones que deban cumplir, son mezclas de dos o más aceites básicos y diferentes aditivos que le imparten o mejoran algunas propiedades a los aceites básicos.⁸

Hidrocarburos Totales de Petr6leo (TPH):

El termino TPH se usa para describir a un grupo de sustancias químicas, derivadas del petr6leo crudo, debido al gran n6mero de hidrocarburos involucrados, generalmente no es pr6ctico medir cada uno de ellos, sin embargo es 6til medir la cantidad total del conjunto de hidrocarburos que se encuentran en una muestra de suelo contaminado que sirve como indicador general del tipo de contaminaci6n del sitio.⁹

Impactos ambientales de los Hidrocarburos:

Podemos se1alar que el petr6leo es importante en el 6mbito del cuidado del medio ambiente ya que se lo considera como uno de los contaminantes m6s fuertes que se pueden conocer. Esto es as6 debido a que no s6lo puede da1ar severamente la salud de los seres vivos que entran en contacto con 6l (a trav6s de la piel, del sistema respiratorio, etc.) si no porque puede generar complicaciones muy serias en el medio ambiente por ejemplo cuando hay derrames o contaminaciones de recursos naturales como r6os, terrenos, etc.¹⁰

En el caso de los suelos, las principales consecuencias ambientales que se presentan despu6s de un evento de contaminaci6n por hidrocarburos son: la reducci6n o inhibici6n del desarrollo de la cobertura vegetal en el lugar del derrame, cambios en la din6mica poblacional de la fauna, de la biota microbiana y contaminaci6n por infiltraci6n a cuerpos de agua subterr6neos.¹⁰

8. http://www.cepsa.com/cepsa/Que_ofrecemos/Lubricantes/Informacion_basica_de_lubricacion/

9. http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.html. Agencia para sustancia t6xicas y registro de enfermedades, hidrocarburos totales de petr6leo, 1999,

10. (Shahidul Md, Tanaka M, 2004. *Impact of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management* tomado de Silva Narv6ez-Fl6rez, Maetha L. G6mez y Mar6a M. Mart6nez.)

En el caso del agua: en las aguas superficiales el vertido de petróleo u otros desechos produce efectos físicos: como mal olor, cambio de color, enturbiamiento, fermentación y cambio de temperatura, efectos químicos: como la disminución de la concentración necesaria de oxígeno para la vida acuática y efectos biológicos: como la muerte de plantas y animales, así como la producción de enfermedades en el hombre.¹¹

Disposición ambientalmente segura de los Hidrocarburos:

No solo las contaminaciones se producen por derrames por roturas de los sistemas de almacenaje o de transporte, sino que el mal manejo del producto puede provocar impactos negativos en la ecología regional.¹²

De todo proceso en el cual se utilice materias primas, se obtendrá un producto y un residuo. En el caso del producto, éste llegará o tendrá su destino final previamente planificado, mientras que el residuo, muchas de las veces tiene un destino incierto. En el mejor de los casos, su destino final está definido previamente, como por ejemplo los desechos orgánicos, papel, cartón, efluentes, etc. Sin embargo, existen otros que a pesar de su uso común, aún no hay una definición clara de su destino final.¹³

Precisamente en el caso que nos interesa, los lubricantes se mezclan durante su utilización con productos orgánicos de oxidación y otras materias tales como carbón, lo que reduce su calidad, cuando la cantidad de estos contaminantes es excesiva el lubricante ya no cumple lo que de él se demandaba y debe ser reemplazado por otro nuevo, en lugares especializados, tales como: lavadoras, lubricadoras, mecánicas, etc., siendo estos residuos los llamados Aceites Usados, de Desecho o Residuales, cuya generación convierte a los mismos en uno de los residuos contaminantes más abundantes actualmente, pudiendo alcanzarse la cifra de 24 millones de Tm/año.¹³

En el Ecuador, en Cuenca específicamente, se genera 64.139 Gal/mes. ETAPA EP., a través del “Programa de Recolección de Aceites Usados”, al momento recolecta aproximadamente 40.000 galones mensuales de aceite mineral usado; compartiendo el compromiso: los centros generadores (lubricadoras, lavadoras, mecánicas, etc.) con el almacenamiento in situ de este desecho, y ETAPA EP., con la recolección, transporte, almacenamiento y la respectiva disposición ambientalmente segura.

11. (Shahidul Md, Tanaka M, 2004. *Impact of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management* tomado de Silva Narváez-Flórez, Maetha L. Gómez y María M. Martínez.)

12. Pedro Augusto Brissio, 2005. *Tesis. Evaluación preliminar del estado de contaminación en suelos de la provincia del Neuquén donde se efectúan actividades de explotación hidrocarburífera.*

13. (Asp 1.999 depuoil,s,a Alameda Mazarredo 35 7ª Planta Bilbao – España

1.2 GENERALIDADES DE LA BIORREMEDIACIÓN

Antecedentes Históricos

A mediados del siglo XX se desarrollaron las primeras investigaciones encaminadas a estudiar el potencial de los microorganismos para biodegradar contaminantes. Este "uso" intencionado recibió entonces el nombre de biorremediación. Las primeras técnicas que se aplicaron fueron similares al "landfarming" (labranza) y sus actores, lógicamente, compañías petrolíferas.¹⁴

Las primeras patentes, fundamentalmente para remediación de vertidos de gasolina, aparecen en los años 70. En los años 80 se generalizó el uso del aire y peróxidos para suministrar oxígeno a las zonas contaminadas mejorando la eficiencia de los procesos degradativos. Durante los años 90 el desarrollo de las técnicas de "air sparging" (burbujeo de oxígeno) lo que hizo posible la biorremediación en zonas por debajo del nivel freático.¹⁴

En el presente se enfrenta un nuevo reto que pasa por convencer poco a poco a las empresas y a los organismos oficiales del potencial de la biorremediación. En algunos países se puede ya afirmar sin lugar a dudas que la biorremediación, que una vez fue una técnica marginal y que generaba demasiadas dudas, ha pasado a ser una verdadera industria. Esta 'industria' busca hoy por hoy seguir mejorando en unas líneas, decididamente interdisciplinarias, que se pueden resumir en los siguientes puntos:¹⁴

- Desarrollo de técnicas rápidas de biología molecular que permitan caracterizar las poblaciones indígenas de los emplazamientos contaminados así como su potencial enzimático.
- Integración en el proceso de técnicas innovadoras (por ejemplo geofísica de superficie) que ayuden a comprender y controlar los fenómenos de transporte de nutrientes y otros posibles aditivos.
- Exploración de las implicaciones del concepto de biodisponibilidad ("bioavailability") definido por las propiedades físico-químicas de los contaminantes. Se trata de un factor que en muchos casos está limitando la biodegradación y en otros reduciendo la toxicidad de los contaminantes.
- Desarrollo definitivo de técnicas de bioaugmentación realmente útiles.¹⁴

14. J. Sánchez Martín. J. L. Rodríguez Gallego, 2005. *Aspectos tecnológicos de la biorremediación*. <http://ingenierosdeminas.org>

Técnicas de remediación:

Las técnicas o métodos existentes para tratar suelos contaminados pueden ser de naturaleza física, química o biológica y tanto unos como otros pueden aplicarse en el lugar de la contaminación o como tratamiento ex situ. A continuación se resume una clasificación de las diferentes técnicas utilizadas, agrupadas según su naturaleza, la forma de aplicación y las ventajas y desventajas que ofrecen cada una.¹⁵

Cuadro 1. Técnicas de remediación clasificadas de acuerdo a su naturaleza y la forma de aplicación

1. Tratamientos in situ		2. Tratamientos ex situ	
Fisicoquímicos:	<ul style="list-style-type: none"> a) Extracción con vapor b) Lavado c) Solidificación y estabilización d) Separación electrocinética e) Absorción f) Encapsulamiento 	Fisicoquímicos:	<ul style="list-style-type: none"> a) Extracción con disolventes b) Lavado c) Oxido-reducción d) Deshalogenación química e) Solidificación y estabilización.
Biológicos:	<ul style="list-style-type: none"> a) Biorremediación b) Fitorremediación 	Biológicos:	<ul style="list-style-type: none"> a) Laboreo agrícola b) Biopilas c) Compostaje d) Biodegradación en reactor
		Térmicos:	<ul style="list-style-type: none"> a) Desorción térmica b) Incineración

Cuadro 2. Ventajas y desventajas de las técnicas de remediación clasificadas de acuerdo a su aplicación in situ y ex situ

	In Situ	Ex Situ
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar. ▪ Potencial disminución en costos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menor tiempo de tratamiento. ▪ Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogenizar y muestrear periódicamente.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayores tiempos de tratamiento. ▪ Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo. ▪ Dificultad para verificar la eficacia del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necesidad de excavar el suelo. ▪ Aumento de costos e ingeniería para equipos. ▪ Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante.

15. www.reviberoammicol.com/2004-21/103120. Tratamiento de suelos contaminados con Hidrocarburos. Moreno et al 2004

Cuadro 3. Ventajas y desventajas de las técnicas de remediación, clasificadas de acuerdo con el tipo de tratamiento.¹⁶

	Ventajas	Desventajas
Tratamientos fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Son efectivos en cuanto a costos. ▪ Pueden realizarse en periodos cortos. ▪ El equipo es accesible y no se necesita de mucha energía ni ingeniería. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los residuos generados por técnicos de separación, deben tratarse o disponerse aumentando en costos y necesidades de permisos. ▪ Los fluidos de extracción pueden aumentar la movilidad de los contaminantes, requiriendo un sistema de recuperación.
Tratamientos biológicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Son efectivos en cuanto a costos. ▪ Son tecnologías más benéficas para el ambiente. ▪ Los contaminantes generalmente son destruidos. ▪ Se requieren un mínimo o ningún tratamiento posterior. ▪ No requieren grandes cantidades de energía. ▪ No produce dióxido de azufre ni otras emisiones dañinas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requieren mayores tiempos de tratamiento. ▪ Es necesario verificar la toxicidad de intermediarios y/o productos. ▪ No pueden emplearse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano.
Tratamientos térmicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite tiempos rápidos de limpieza 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es el grupo de tratamientos más costoso. ▪ La principal desventaja de utilizar estos métodos es que el suelo queda desprovisto de toda la materia orgánica imposibilitándolo así para su posterior utilización.

Entre las posibles técnicas de tratamientos aplicables para la descontaminación de un determinado espacio natural, merecen especial atención los procesos de degradación biológica ya que son útiles para muchos tipos de residuos orgánicos, son procesos naturales que no suponen un impacto adicional sobre los ecosistemas y que se pueden realizar a un bajo coste.¹⁷ En muchos casos, pueden llevarse a cabo en el sitio en donde se ha producido la contaminación, con lo cual se elimina la posibilidad de transportar materiales peligrosos.¹⁷

Dentro de la investigación principalmente se efectuaron dos procesos: la aplicación individual de tratamientos para la *desintoxicación* de las muestras, basados en técnicas de remediación por absorción o encapsulamiento de los hidrocarburos y la aplicación de *biorremediación* por compostaje, en donde se evaluaron el rendimiento y eficiencia biológica de los diferentes tratamientos mediante la determinación de Hidrocarburos Totales de Petróleo.¹⁷

16, 17. www.reviberoammicol.com/2004-21/103120. Tratamiento de suelos contaminados con Hidrocarburos. Moreno et al 2004

Técnicas utilizadas para el proceso de desintoxicación de muestras:

Técnicas de remediación in situ de carácter físico-químico.

Las técnicas físico-químicas, se pueden implementar fácilmente ya que el proceso se lleva a cabo a presión y temperaturas ambiente. Entre estas tenemos:

Absorción:

Las técnicas más económicas y efectivas involucran el empleo de absorbentes con capacidad de encapsular y transformar hidrocarburos contaminantes en sustancias inofensivas, aptas para su utilización o para su vertido.

Es el proceso físico, que consiste en la atracción desarrollada por un sólido sobre un líquido con la intención de que las moléculas de éste logren penetrar en su sustancia. Por lo tanto los contaminantes son tomados por el absorbente que empapa o absorbe los líquidos libres del residuo. Estos líquidos pueden escurrir del material si se somete la masa a tensiones de consolidación, por ello la absorción se considera una medida temporal para mejorar las características de manejo del residuo. Los absorbentes más comunes son: suelo, cenizas volantes, aserrín, heno, turba, paja, polvo de hornos de cemento y de cal.¹⁸

Encapsulamiento:

Las técnicas de encapsulamiento se basan en el principio de inmovilización de contaminantes orgánicos mediante la formación de barreras físicas alrededor de los mismos, aplicando silicatos. El encapsulamiento de suelos contaminados por hidrocarburos consiste, básicamente en degradar los elementos contaminantes del material orgánico, hasta transformarlos en productos inocuos, por un lado y, encapsular e inmovilizar los elementos tóxicos por el otro. El aspecto a considerarse en la aplicación de estos métodos es una posible liberación de los contaminantes después de cierto tiempo y/o bajo la influencia de factores externos, por lo que un monitoreo prolongado es recomendable.

Técnicas de remediación in situ de carácter biológico.

Afortunadamente la biotecnología ha permitido el desarrollo de diversas estrategias que pueden ser utilizadas con el fin de restaurar el suelo y la calidad ambiental, de acuerdo con las necesidades y dimensiones del problema a solucionar.¹⁹

18,19. (VAN DEUREN, J. *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*. 3ra. Ed. New York: Technology Innovation Office, EPA, 2002. Pp. 220).

Biorremediación:

Es el proceso utilizado por el hombre en el que se emplean organismos biológicos (bacterias) para resolver o mitigar problemas específicos medioambientales, tales como en: mares, estuarios, lagos, ríos y suelos usando de forma estratégica microorganismos, plantas o enzimas de estos. Esta técnica es utilizada para disminuir la contaminación por los hidrocarburos de petróleo y sus derivados como metales pesados e insecticidas; además se usa para el tratamiento de aguas domésticas e industriales, aguas procesadas y de consumo humano, aire y gases de desecho.²⁰

En la biorremediación se usan microorganismos tales como bacterias, protozoos y hongos para degradar contaminantes en compuestos menos o no tóxicos.²⁰

Los factores ambientales que influyen en la biodegradación son: temperatura, pH, humedad, nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo), aceptores de electrones (oxígeno, nitrato, sulfato) y presencia de microorganismos. Estas condiciones permiten que las bacterias crezcan se multipliquen y asimilen más sustancias químicas. Cuando las condiciones no son las adecuadas, las bacterias crecen muy despacio o mueren, o incluso pueden crear sustancias químicas más dañinas.²⁰

Si las condiciones del área no son las adecuadas, se debe intentar mejorarlas. Una manera de hacerlo es bombeando aire al interior del suelo, así como la melaza u otras sustancias. A veces se añaden microbios si no los hay. Las condiciones adecuadas para la biorremediación no siempre se logran bajo la tierra. En algunas áreas el clima es muy frío o el suelo es demasiado denso. En esas áreas se puede recurrir a excavar y sacar el suelo a la superficie, donde la mezcla del suelo se calienta para mejorar las condiciones. También, pueden añadirse los nutrientes necesarios, o puede añadirse oxígeno revolviendo la mezcla o haciendo pasar aire a presión a través de ella. Sin embargo, algunas bacterias funcionan sin oxígeno (anaeróbicas). Con la temperatura adecuada y la cantidad necesaria de oxígeno y nutrientes, las bacterias pueden hacer su trabajo de "biocorregir" las sustancias químicas. Una vez que se han eliminado las sustancias químicas dañinas, las bacterias ya no tienen "comida" disponible y mueren.²¹

La biorremediación es muy segura, ya que depende de microbios que existen normalmente en los suelos. Esos microbios son útiles y no representan un peligro para las personas en el sitio o la comunidad. Además, no se emplean sustancias químicas peligrosas. Los nutrientes que se añaden para que las bacterias crezcan son fertilizantes de uso corriente en el césped o el jardín. La biorremediación transforma las sustancias químicas dañinas en agua y gases inofensivos y, por lo tanto, las destruye totalmente.²¹

20, 21. (recursosbiblioteca.utp.edu.co/dspace/bitstream/, *Biorremediación de suelos Contaminados con Hidrocarburos*, United. States Environmental Protection Agency, 2001)

Productos utilizados para el proceso de desintoxicación de muestras:

Ecosoil

Descripción: Es un compuesto a base de poli silicatos de aluminio, forma una barrera física alrededor de los materiales tóxicos e hidrocarburos convirtiéndolos en partículas sólidas que impiden que los elementos contaminantes se propaguen, dañen o esterilicen los suelos afectados.²²

Propiedades:

- ECOSOIL, tiene propiedades catalíticas, que le permiten romper las cadenas largas de los hidrocarburos.
- Estos catalizadores son compuestos inorgánicos que poseen sitios activos los que generan reacciones de superficie.
- El proceso de degradación no se ve afectado por la existencia de productos tóxicos como cloruros y cianuros.
- Soporta pruebas de lixiviación con ácido.

Es una tecnología de poli silicatos que consiste en tratamientos físicos y químicos que convierten los materiales tóxicos, que se encuentran en los suelos contaminados con petróleo (hidrocarburos de alto peso molecular y metales pesados) en compuestos inertes y no tóxicos para el ambiente.²²

El proceso produce enlaces químicos irreversibles entre los sitios activos de los poli silicatos naturales y los contaminantes, dando como resultados compuestos inocuos. Estos productos tiene la cualidad de deshidratar y, por tanto, solidificar los lodos. El producto genera reacciones de hidratación y solidificación estabilización, removiendo las capas mono moleculares (multicapas) de agua que rodean las partículas de lodo; la distancia entre ellas se reduce, dando inicio a la solidificación del lodo.²²

Sphag Sorb:

Descripción: Es un absorbente industrial orgánico, elaborado en base de turba natural procedente de los pantanos de Canadá. La turba en su estado natural, es el primer paso en la formación de carbón y petróleo, es poco más que la descomposición parcial de turbas en su estado biodegradable. Deshidratado hasta un contenido en humedad del 0% al 10%, es activado hasta convertirlo en un material de alta calidad, diseñado para ABSORBER Y ENCAPSULAR todo tipo de aceites y solventes orgánicos, no permitiendo la lixiviación.²³

22. (www.industrialbolt.com/.../ECOSOIL_INFO_S)

23. (www.industrialbolt.com/.../SPHAG_SORB_INFO_S)

Propiedades:

- SPHAG SORB, es selectivo frente a hidrocarburos, (es decir que no absorbe agua).
- No es tóxico, no es abrasivo, no contiene productos químicos ni otros aditivos, no oxida, producto 100% natural.
- Reduce hasta el 90% los vapores de los combustibles.
- Ligero de peso para un manejo fácil.
- Gran capacidad de ABSORCIÓN y ENCAPSULACIÓN (igual a su volumen)
- No lixivia residuos tóxicos.
- Los productos absorbidos pierden sus características tóxicas y peligrosas.²⁴

Técnica de biorremediación:

La descomposición microbiana de hidrocarburos es de mucha importancia económica y ambiental, por los perjuicios que ocasionan los hidrocarburos en la salud de las personas y el medio ambiente.²⁵

Según la agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos EPA, recomienda el uso de técnicas de remediación de suelos que impliquen en forma significativa y permanente, una “reducción del volumen, toxicidad y movilidad de las sustancias peligrosas y contaminantes” y define el término “tecnología de tratamiento” como “cualquier operación unitaria, o serie de operaciones unitarias, que altera la composición de una sustancia peligrosa o contaminante a través de acciones químicas, físicas o biológicas, de manera que reduzca la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado”.²⁶

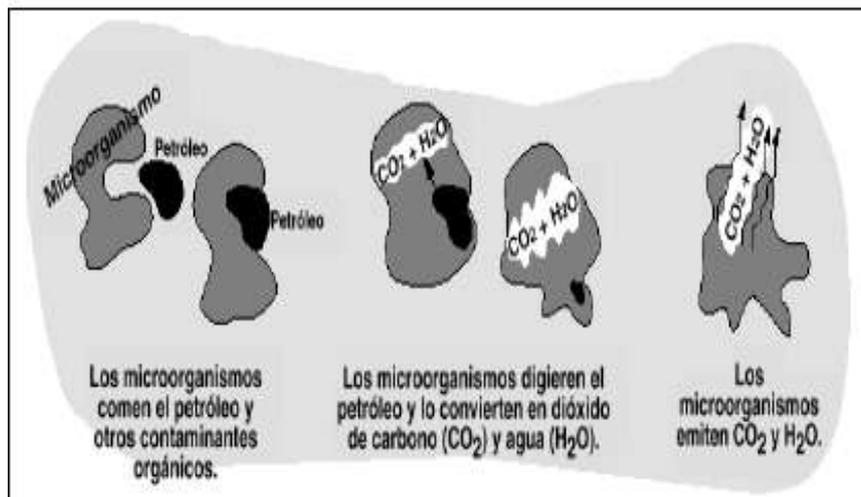
En los últimos años se ha incrementado el interés en el uso de biotecnologías destinadas a restaurar o recuperar suelos contaminados con petróleo, que complementen los métodos químicos y físicos tradicionales. Esta tecnología conocida como biorestauración, se basa en el uso de microorganismos para degradar los hidrocarburos presentes en el petróleo y otros combustibles, y representa uno de los principales mecanismos por los cuales se los pueden eliminar del ambiente.²⁶

24. www.industrialbolt.com/.../SPHAG_SORB_INFO_S

25. Hidrocarburos “El Petróleo” <http://www.monografias.com/trabajos/petroleo2/petroleo2.shtml>

26. (US EPA, 2001)

Ilustración 1: Biodegradación del petróleo

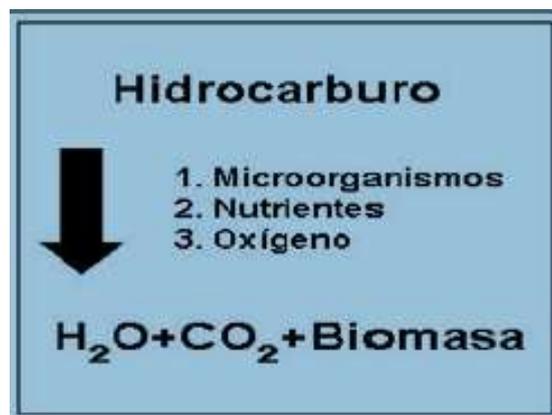


Fuente: <http://www.ingenieroambiental.com/GUIA-REMEDIACIÓN-SUELOS>

Como los organismos individualmente pueden metabolizar un limitado rango de hidrocarburos, estos se asocian en poblaciones mixtas para adquirir una amplia y completa capacidad enzimática suficiente para degradar complejas mezclas de hidrocarburos como el petróleo crudo en el suelo.

Los microorganismos transforman y metabolizan aeróbicamente los hidrocarburos y otros compuestos orgánicos hasta, dióxido de carbono, agua y fuentes de alimento para sustentar su crecimiento y reproducción, es decir la biodegradación ocurre naturalmente.²⁷

Ilustración 2: Principios de la Biorremediación



Fuente: WINI SCHMIDT, Suelos contaminados con hidrocarburos: la biorremediación como una solución ecológicamente compatible, http://www.ingenieroambiental.com/3021/Bioremed_Mex2

27. (Microbiología del Petróleo y sus derivados, <http://biblioweb.unam.mx/libros/microbios/Cap2/>)

Técnica de compostaje:

El compostaje de suelos contaminados es un proceso biológico controlado en el que los contaminantes orgánicos (por ejemplo los hidrocarburos) son convertidos en sustancias inofensivas por los microorganismos aerobios, dando lugar a un producto final estabilizado denominado *compost*, que es útil en la agricultura. La aplicación de compostaje como una estrategia de biorremediación tiene dos objetivos: (1) maximizar la eliminación del contaminante y (2) producir un compuesto maduro que podría ser utilizado en la restauración de la tierra para uso industrial.²⁸

La biorremediación permite la recuperación de suelos contaminados. Para que este proceso se realice de manera exitosa, es necesario que los microorganismos que llevan a cabo la degradación de los hidrocarburos utilicen el carbono del contaminante como fuente de energía, para lo cual se requiere de condiciones fisicoquímicas óptimas para conseguir buenos resultados.²⁸

Factores que condicionan el proceso de Compostaje:

Aireación: Es el factor fundamental a controlar, ya que los microorganismos aerobios van a necesitar una tasa de oxígeno determinada para lograr la biodegradación de los contaminantes. Para el efecto se realizó volteos continuos, con la ayuda de una pala.

Temperatura Es uno de los factores ambientales más importantes, esta tiene una gran influencia en la biodegradación por su efecto sobre la naturaleza física y química del petróleo y sus derivados. A bajas temperaturas la viscosidad de los hidrocarburos aumenta, la volatilización de alcanos de cadena corta se reduce y disminuye la solubilidad del O₂ en agua, afectando así la biodegradación. Las tasas de degradación generalmente aumentan cuando la temperatura incrementa.

La temperatura también afecta la actividad metabólica de los microorganismos y la tasa de biodegradación. Generalmente, las especies bacterianas crecen a intervalos de temperatura bastante reducidos, entre 18 y 30°C, por lo tanto las biopilas son eficientes en rangos de temperatura entre 30 a 40°C (condiciones mesófilas). Cuando supera los 40°C se produce una disminución de la actividad microbiana, una rotación poblacional hacia especies más resistentes a las altas temperaturas o puede decrecer la biorremediación debido a la desnaturalización de enzimas y proteínas de las bacterias.²⁹

28. (repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream, *Biorremediación de suelos contaminados con Hidrocarburo*, Ladislao, B., et al, 2007)

29. (recursosbiblioteca.utp.edu.co/dspace/bitstream/.../, *biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*, Pardo, J., et al., 2004)

Humedad: Los microorganismos necesitan de una hidratación adecuada para su correcto desarrollo. Pero una excesiva hidratación del suelo restringe el movimiento del aire en el subsuelo y reduce la disponibilidad de oxígeno, el cual es sumamente necesario para los procesos metabólicos aeróbicos de las bacterias. El rango ideal de hidratación del suelo es de 20 a 30 % en peso. En los procesos de biorremediación en pilas de compostaje, el suelo debe ser hidratado periódicamente ya que se seca con facilidad como consecuencia de la evaporación, la que a su vez se ve incrementada durante las operaciones de aireación y bajo condiciones de clima cálido.

pH: Para sostener el crecimiento de la población bacteriana, las pilas de compostaje deben mantenerse en un rango de pH entre 6 y 8 durante su operación, siendo 7 el valor óptimo. Suelos fuera de este rango requerirán un ajuste, pudiendo aumentarse con la adición de enmiendas calizas en caso de ser demasiado ácido, o aumentarse añadiendo azufre en caso de que sea demasiado alcalino.

Nutrientes: Los microorganismos requieren de una fuente de carbono para el crecimiento celular y una fuente de energía para mantener las funciones metabólicas requeridas para su crecimiento. Las fuentes de carbono pueden provenir del contaminante o del carbono contenido en fertilizantes o aditivos y agentes de esponjamiento (bulking agents). Estos agentes de esponjamiento tienen como objetivo, además, evitar el apelmazamiento del suelo, que puede producirse por una excesiva hidratación y que va a dificultar el flujo de aire a través de la pila, limitando la capacidad de degradación de los microorganismos.

Por ello se puede utilizar como agentes de esponjamiento: aserrín, paja, virutas de madera, hojas, cáscaras de semilla o estiércol.

Cantidad de microorganismos: Normalmente en la pila de suelo contaminado existen microorganismos suficientes para realizar el proceso, pero puede ser necesario inocularlos, añadir estiércol o una pila de compost maduro. Al introducir el estiércol, por un lado se está aumentando la población microbiana y, por otro, se están añadiendo nutrientes. El suelo se coloca en montones alargados que se mezclan periódicamente de forma manual.³⁰

30. (recursosbiblioteca.utp.edu.co/dspace/bitstream/...), *biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*, Pardo, J., et al., 2004)

1.3 LEGISLACIÓN APLICABLE.

En nuestro país actualmente, la gestión ambiental, se ha visto defendida, tanto por la creación de instituciones como por la actualización y modernización de nuestro marco jurídico. Sin embargo, aún existen insuficiencias y deficiencias que requieren ser revisados y ajustados.

Desecho tóxico:

Es todo aquel residuo sólido, lodoso, líquido o gaseoso envasado que debido a su cantidad, concentración o características físicas, químicas o infecciosas podrían:

- Causar o contribuir de modo significativo al aumento de la mortalidad, al aumento de enfermedades graves de carácter irreversible o a las incapacitaciones reversibles.
- Que presente un riesgo potencial para la salud humana o para el entorno al ser tratados, almacenados, transportados o eliminados.

TULAS (Texto de Legislación Ambiental Secundaria)

La siguiente norma establece los principios para los procesos de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Criterios de Remediación o Restauración del Suelo.

Los criterios de Remediación o Restauración se establecen de acuerdo al uso que del suelo (agrícola, comercial, residencial e industrial), y son presentados en la Tabla 3. Tienen el propósito de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes de un suelo en proceso de remediación o restauración.

Tabla 3: Criterios de Remediación para suelos contaminados con hidrocarburos

PARÁMETRO	UNIDAD	Uso del Suelo			
		Agrícola	Residencial	Comercial	Industrial
pH	-	6-8	6-8	6-8	6-8
Cobre	mg/Kg	63	91	91	91
Como VI	mg/Kg	65	65	90	90
Mercurio	mg/Kg	0.8	2.0	10	10
Níquel	mg/Kg	50	100	100	100
Plomo	mg/Kg	100	100	150	150
Vanadio	mg/Kg	130	130	130	130
Aceites y Grasas	mg/Kg	500	<2500	<4000	<4000
Bifenilos policlorados (PCBs)	mg/Kg	0.5	1.3	33	33
Benceno	mg/Kg	0.05	0.5	5	5
Etilbenceno	mg/Kg	0.1	1.2	20	20
Tolueno	mg/Kg	0.1	0.8	0.8	0.8
Xileno	mg/Kg	0.1	1	17	20
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	mg/Kg	0.5	1.3	33	33

Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental-Ecuador, Norma de Calidad Ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados

Ordenanzas Municipales.

La ley Orgánica de régimen Municipal, en su artículo 17, establece que, entre las funciones primordiales del municipio, sin perjuicio de las demás que le atribuyen dicha ley, el prevenir y controlar la contaminación del ambiente en coordinación con las entidades a fines.

La ORDENANZA CODIFICADA QUE NORMA LA CREACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA COMISIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL (CGA), en su capítulo 1 Artículo 2, en los siguientes literales nos establecen las siguientes disposiciones:

- c) Lograr que los diferentes entes públicos y privados cumplan satisfactoriamente lo establecido en la legislación ambiental vigente en el país y en el cantón.
- d) Mejorar las condiciones ambientales del cantón Cuenca, protegiendo y manteniendo los ecosistemas, los recursos naturales y el paisaje, propendiendo además a la restauración de áreas ecológicamente valiosas, cuando estas hayan sido degradadas por la actividad humana.
- e) Promover la implantación de Sistemas de Gestión Ambiental que busquen la aplicación continua de políticas y estrategias ambientales, preventivas e integradas, en los procesos productivos, los productos y los servicios hacia la conservación de materias primas y energía, la utilización de fuentes de energía limpias y renovables, la erradicación de materias primas tóxicas y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones contaminantes y de los desechos del Cantón Cuenca.

Además en el artículo 3 se establece las siguientes disposiciones a considerar:

- a) Acatar y velar por el cumplimiento de las políticas, estrategias y disposiciones legales ambientales locales y nacionales vigentes, y convenios de transferencia de competencias y delegación de funciones, dentro de la jurisdicción del cantón Cuenca.
- b) Integrar, optimizar y dar seguimiento a los roles y actividades que en materia ambiental desarrollan las empresas y demás dependencias municipales.
- g) En coordinación con los organismos técnicos pertinentes, disponer la realización de labores de prevención, monitoreo, control y remediación ambiental.
- p) Normar y regular la producción, comercialización, transporte, almacenamiento, manejo y eliminación de productos químicos peligrosos, dentro del cantón Cuenca.
- q) Realizar el monitoreo, seguimiento, control y verificación de cumplimiento de los planes de manejo Ambiental.

1.4 PROBLEMÁTICA

Como conocimos anteriormente, la legislación ecuatoriana establece principios y directrices para el cumplimiento de obligaciones, responsabilidades y otros con respecto a la gestión ambiental del país, así como también señala límites permisibles, controles y sanciones en esta materia, es decir, se define el marco legal para la protección del ambiente.

De igual manera, la legislación ecuatoriana faculta a los gobiernos locales para promover actividades de protección ambiental, protección de fuentes, gestión de desechos, sanciones, no obstante, el control para el cumplimiento de estos lineamientos, muchas de las veces, se puede ver complicado por diversos temas (operativos, geográficos, técnicos, etc.), quedando el cumplimiento de la legislación ambiental a criterio de sus generadores.

En nuestra ciudad, la empresa ETAPA EP., con la implementación del “Programa de Recolección de Aceites Usados”, procura mitigar la contaminación que causa la mala disposición de los aceites minerales usados, con la recolección, transporte, almacenamiento y disposición ambientalmente segura de los mismos. Como resultado del mantenimiento del tanque de almacenamiento de los aceites minerales usados, se generan lodos aceitosos, los cuales se consideran sustancias de difícil biodegradación y son clasificados como **residuos peligrosos** por la reglamentación establecida en el Convenio de Basilea y consecuentemente también deben ser tratados de una manera adecuada, debido a que al estar contaminados con aceites lubricantes usados –compuestos por hidrocarburos totales de petróleo (TPH), bifenilos policlorados (PCB), aromáticos policíclicos (HAP), metales y otros compuestos contaminantes– ocasionan un deterioro en el medioambiente y la salud humana por sus efectos cancerígenos, tóxicos y venenosos.³¹

Por tal motivo se vio la necesidad de buscar y validar una alternativa viable para disminuir el contenido de hidrocarburos, neutralizando el riesgo de contaminaciones mayores, a través de la absorción y encapsulamiento de los mismos o de los materiales tóxicos por medio de diferentes productos que actualmente existen en el mercado, para su posterior biorremediación por compostaje. Los resultados de esta investigación no solamente darán una solución a los lodos generados en el tanque de almacenamiento del Programa de Recolección de Aceites Usados, sino podrá ser aplicado también, en todos los puntos de generación de este residuo peligroso.

31. (Arroyo et al., 2008). *Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados*. www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/...

1.5 OBJETIVOS:

a) **Objetivo General:**

Determinar la concentración de hidrocarburos, en los lodos residuales del tanque de almacenamiento de aceites minerales usados de ETAPA EP, posterior al tratamiento con Ecosoil, Sphag Sorb y Compostaje.

b) **Objetivos Específicos:**

- Determinar el TPH (porcentaje de Hidrocarburos Totales de Petróleo) que tienen los lodos residuales del tanque de almacenamiento de aceites minerales usados, previo a los tratamientos de desintoxicación, mediante el respectivo análisis en el laboratorio.
- Comparar y comprobar la eficiencia de dos productos (ECOSOIL y SPHAG SORB), utilizados en el proceso de desintoxicación de los lodos residuales, generados en el mantenimiento del tanque de almacenamiento de aceites minerales usados de ETAPA EP, para su posterior biorremediación por compostaje.
- Analizar el efecto de los tratamientos y cómo influyen en el proceso de biorremediación por compostaje, considerando que el producto final, cumpla con los límites permisibles establecidos en el Reglamento Sustitutivo al Reglamento ambiental para las operaciones de hidrocarburos en el Ecuador
- Evaluar y comparar el costo – beneficio de cada tratamiento.

1.6 HIPÓTESIS

La aplicación adecuada de técnicas de biorremediación en los lodos residuales del tanque de almacenamiento de aceites minerales usados de ETAPA EP, posterior al tratamiento con ECOSOIL y SPHAG SORB, permite una eficiente degradación de los hidrocarburos comprobada mediante la determinación de Hidrocarburos Totales de Petróleo.

CAPITULO II

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

El ensayo se realizó en la zona de descarga, ubicada en la parte posterior del tanque de almacenamiento de aceites minerales usados, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la cual está situada, en el sector de Ucubamba, provincia del Azuay, Ecuador; con coordenadas: 17s 728963,71 E 9682202,83 N y una altitud de 2419m.



Mapa 1.- Mapa de localización del sitio experimental

La empresa ETAPA EP., a través del Programa de Recolección de Aceites Usados, recolecta aproximadamente 40.000 galones mensuales de aceite mineral usado que según datos de la consultora SAGITA, representa el 60% del aceite generado en la ciudad.

Paralelamente a esta solución del problema de contaminación de los aceite minerales usados, surgen inconvenientes como son: la mezcla con agua de los 40.000 galones mensuales de aceite y la generación de sedimentos, los mismos que se forman en un promedio 0,96Ton/año y que al contener hidrocarburos, no pueden ser enviados a un relleno o botadero de basura, ni tampoco a una planta de tratamiento de aguas residuales.



2.2 SELECCIÓN Y DISEÑO DE LOS TRATAMIENTOS

Considerando que la adecuada selección de los tratamientos permitirá el éxito del ensayo, fue necesario realizar estudios e investigaciones bibliográficas de técnicas usadas para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. Dicha información se fundamentó, en el estudio de las diferentes técnicas físicas-químicas-biológicas, examinadas según su naturaleza, la forma de aplicación, ventajas y desventajas que ofrecen cada una, llegando a la conclusión que puede ser conveniente, combinar diferentes técnicas de remediación, que cumplan con las siguientes pretensiones: eficaz desintoxicación y biorremediación de los hidrocarburos presentes en los residuos. Por tal motivo en este ensayo se diseñó el siguiente procedimiento:

Tabla 4: Diseño de los tratamientos de desintoxicación y compostaje

TRATAMIENTO 0 (T0):	TRATAMIENTO 1 (T1)	TRATAMIENTO 2 (T2)
Lodos Aceitosos (MUESTRA) sin tratamiento de desintoxicación	Lodos Aceitosos (MUESTRA) + Encapsulante (ECOSOIL)	Lodos Aceitosos (MUESTRA) + Absorbente industrial orgánico (SPHAG SORB)
Proceso de biorremediación		
Compostaje	Compostaje	Compostaje

2.3 DISEÑO ESTADISTICO

En el diseño estadístico de la presente investigación, se aplicó, el análisis de Varianza y Desviación Estándar para datos agrupados (ANOVA) con tres tratamientos (T0, T1 y T2), obteniendo como resultado para un número significativo de datos: 24 muestras en total, 8 por cada tratamiento. La variable de respuesta a analizar es porcentaje de **Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)**, al inicio, durante y finalización de los tratamientos.

Los datos de las diferentes variables que expresan la capacidad de degradación de cada uno de los tratamientos en el tiempo, se registró en el programa de Microsoft Office Excel 2007 y para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS 17 “Software Estadístico para las Ciencias Sociales”.

2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Dentro del proceso de investigación y análisis de los tratamientos para la degradación de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos del tanque de almacenamiento de aceites minerales usados, se realizaron las siguientes actividades:

2.4.1 PROCEDENCIA Y TOMA DE MUESTRA A ENSAYAR:

Los aceites recolectados en los Centros Generadores, son transportados y almacenados en un tanque de 1000m³ de capacidad, previo al envío, para su disposición ambientalmente segura; al momento del almacenamiento se generan lodos mezclados con hidrocarburos, producto de la precipitación de arenas y agua, arrastradas en el proceso de recolección.

Durante el mantenimiento del tanque, estos lodos aceitosos son retirados con el propósito de asegurar la calidad del aceite y almacenados en tanques de 1 m³ de capacidad, en la zona de descarga, ubicada en la parte posterior del tanque de almacenamiento. Los mismos constituyen las muestras utilizadas en el presente ensayo, las cuales fueron recolectadas de diferentes puntos al azar, tomando tres muestras (**M0, M1, M2**) con un peso de 70 kg cada una, para los respectivos tratamientos (T0, T1, T2).

2.4.2 ANALISIS QUIMICO PREVIO AL TRATAMIENTO:

La determinación de la línea base se la realizó en razón de la concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo (**TPH**). Dicha muestra por la consistencia de la misma fue recogida, al azar a una profundidad promedio de 0,40 metros, con un peso aproximado de un kilo, recolectada del total de lodos aceitosos generados en el proceso de mantenimiento del tanque de

almacenamiento de aceites minerales usados, en recipientes adecuados de color ámbar con tapa cubierta con teflón, rotuladas y enviadas hacia la ciudad de Quito, al laboratorio Analítico HAVOC; teniendo como prioridad, minimizar el tiempo entre la toma y su análisis respectivo.

2.4.3 TRATAMIENTO DE LODOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS:

La presencia de lodos aceitosos, generados en el almacenamiento de los aceites minerales usados y la limpieza de sus tanques de almacenamiento, exige un proceso o tratamiento de remediación que termine por restituir la capacidad biológica productiva de dichos suelos. Para el desarrollo del ensayo las actividades se realizaron en dos fases: la primera fase con el objetivo de aportar al proceso o tratamiento final de BIORREMEDIACION (compostaje) se aplicó individualmente técnicas de remediación físico-químicas para desintoxicar las muestras, mediante la ABSORCION Y ENCAPSULAMIENTO de los hidrocarburos, con el empleo de productos complementarios, como son ECOSOIL para la muestra M1 y SPHAG SORB para la muestra M2, permitiéndonos simultáneamente verificar la eficiencia de cada uno estos productos, ya que en la muestra M0 no se utilizó ningún tratamiento, sirvió como testigo y la segunda fase que corresponde a un tratamiento general de biorremediación por compostaje.

2.4.3.1 TRATAMIENTO DE DESINTOXICACION DE LAS MUESTRAS.

Tabla 5: Materiales y Equipos utilizados en el proceso de desintoxicación

Descripción	Unidades
Balanza electrónica	1
Cámara fotográfica	1
Balde de 5 galones	1
Tanque de 1m ³	4
Pala	1
Sacos vacíos	50
Ecosoil	4 sacos
Sphag Sorb	3 sacos
Plástico de invernadero	40 metros
Sarán	30 metros
Tiras de madera	30

Fuente: Elaboración de este estudio

Procedimiento:

Para el desarrollo de este ensayo, surgió la necesidad de construir un invernadero (zona de tratamiento), es decir, un lugar cerrado, que permita el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales que intervienen en el desarrollo microbiano. Para lo cual se armó una estructura de madera, con paredes de sarán y cubierta de plástico de invernadero, internamente para el tratamiento de compostaje, se hizo tres fosas de 2 m de ancho x 6 m de largo y mediana profundidad (0.20mts), impermeabilizadas con ajuste de las pendientes hacia un sumidero para el control de los lixiviados, mismos que fueron reinyectados en el suelo.



Fotografía 3: Vista del proceso de trazado de las pozas, para el compostaje.



Fotografía 4: Vista del proceso de remoción de tierra, para la formación de las pozas de tratamiento.



Fotografía 5: Vista de las pozas de compostaje listas para iniciar el proceso de biorremediación.



Fotografía 6: Vista del proceso de construcción del invernadero.



Fotografía 7: Vista del invernadero listo para el proceso.



Fotografía 8: Vista del invernadero listo para el proceso.

Fuente: Fotografía personal

Elaborado por: Juan Carlos Castro

El ensayo se inició con el pesaje de las tres muestras, (M0, M1 y M2) cada una de 70 kg de lodos aceitosos del tanque de almacenamiento de los aceites minerales usados, para posteriormente ser llevados a la zona de tratamiento para empezar con el procedimiento respectivo de acuerdo con el diseño experimental.

Tabla 6: Diseño del proceso de desintoxicación de las muestras

MUESTRA	TRATAMIENTO	PRODUCTO	TIEMPO días
M1	DESINTOXICACIÓN (lodos aceitosos + Encapsulante)	ECOSOIL	15
M2	DESINTOXICACIÓN (lodos aceitosos + Absorbente industrial orgánico)	SPHAG SORB	15
M0	SIN TRATAMIENTO (testigo)	----	----

Fuente: Elaboración de este estudio

Tratamiento T1: En el tanque de 1m³, se coloca los 70 Kg de la muestra M1, en forma manual con la ayuda de una pala se procedió a añadir gradualmente los 100 Kg de Ecosoil y agua, para lograr una distribución uniforme, volteando constantemente hasta obtener una mezcla de color café oscuro con un peso total de 170 Kg, los mismos que luego se ensaco y finalmente se apilo los sacos, para la correspondiente desintoxicación y deshidratación, dejando dentro de la zona de tratamiento por el lapso de 15 días.

Tratamiento T2: Igualmente en el tanque de 1m³, se coloca los 70 Kg de la muestra M2 y en forma manual con la ayuda de una pala se procedió a añadir gradualmente los 25 Kg de Sphag Sorb y agua, para lograr una distribución uniforme, volteando constantemente hasta obtener una mezcla de color café oscuro con un peso total de 95 Kg, los mismos que luego se ensaco y finalmente se apilo los sacos, para la correspondiente desintoxicación y deshidratación, dejando dentro de la zona de tratamiento por el lapso de 15 días.



Fotografía 9: Vista del proceso de pesaje de los lodos aceitosos.



Fotografía 10: Vista de la mezcla de lodos aceitosos más ECOSOIL o SPHAG SORB, para la desintoxicación.



Fotografía 11: Vista de la mezcla ensacada, pesada y lista para el proceso de deshidratación.



Fotografía 12: Vista de la muestra desintoxicada, puesta a deshidratación.

Fuente: Fotografía personal

Elaborado por: Juan Carlos Castro

2.4.3.2 TRATAMIENTO DE BIORREMEDIACION POR COMPOSTAJE

Tabla 7: Materiales y Sustratos utilizados en el proceso de biorremediación por compostaje

Descripción	Unidades
Plástico negro	10 m
Pala	1
Balde 5 gal	1
Manguera	10 m
Termómetro	1
Aserrín	3 sacos
Bagazo	3 porciones
Estiércol fresco de chivo	3 sacos
Cascarilla de Arroz	2 sacos
Residuos orgánicos de cocina	3 porciones

Procedimiento:

Una vez transcurrido el tiempo de deshidratación, se continúa con el compostaje del lodo desintoxicado (M1 y M2) no sin antes realizar la toma de muestra para su respectivo análisis químico (Hidrocarburos Totales de Petróleo, TPH).

Para iniciar el tratamiento de compostaje las muestras M1 y M2, junto con la muestra M0 (sin desintoxicación) fueron mezclados con los sustratos. Estos materiales se seleccionaron por sus cualidades, con el criterio de que fueran residuos biodegradables, sin valor agregado y con facilidad para su obtención. Así:

El *bagazo de caña* se eligió por su contenido de C y P, además de ser un excelente agente de volumen.

El *estiércol de chivo* se utilizó principalmente para aumentar el contenido de K, por ser un material que puede incrementar la microflora en las biopilas y un buen agente de volumen.

Las biopilas se estructuraron de la siguiente manera:

La base fue de aserrín (primera capa), luego la caña de azúcar rico en ligninas (segunda capa), inmediatamente una capa de estiércol fresco de chivo (tercera capa), seguidamente se coloca una capa de muestra desintoxicada seca (M1 o M2) (cuarta capa), a continuación se incorporó una capa de desechos orgánica (quinta capa) y finalmente, una capa de cascarilla de arroz

(sexta capa); cada capa tiene un espesor de 10 a 15 cm aproximadamente, la misma secuencia se repitió hasta alcanzar una altura de un metro y medio. Por último se adicionó agua suficiente para obtener una humedad cercana al 50% e inmediatamente se cubrió con el plástico negro para mantener la temperatura adecuada y evitar la eliminación de gases a la atmósfera.

Las biopilas de compostaje se identificaron como sigue:

CT0: Muestra M0 (sin tratamiento T0) + Compostaje

CT1: Tratamiento T1 + Compostaje.

CT2: Tratamiento T2 + Compostaje.

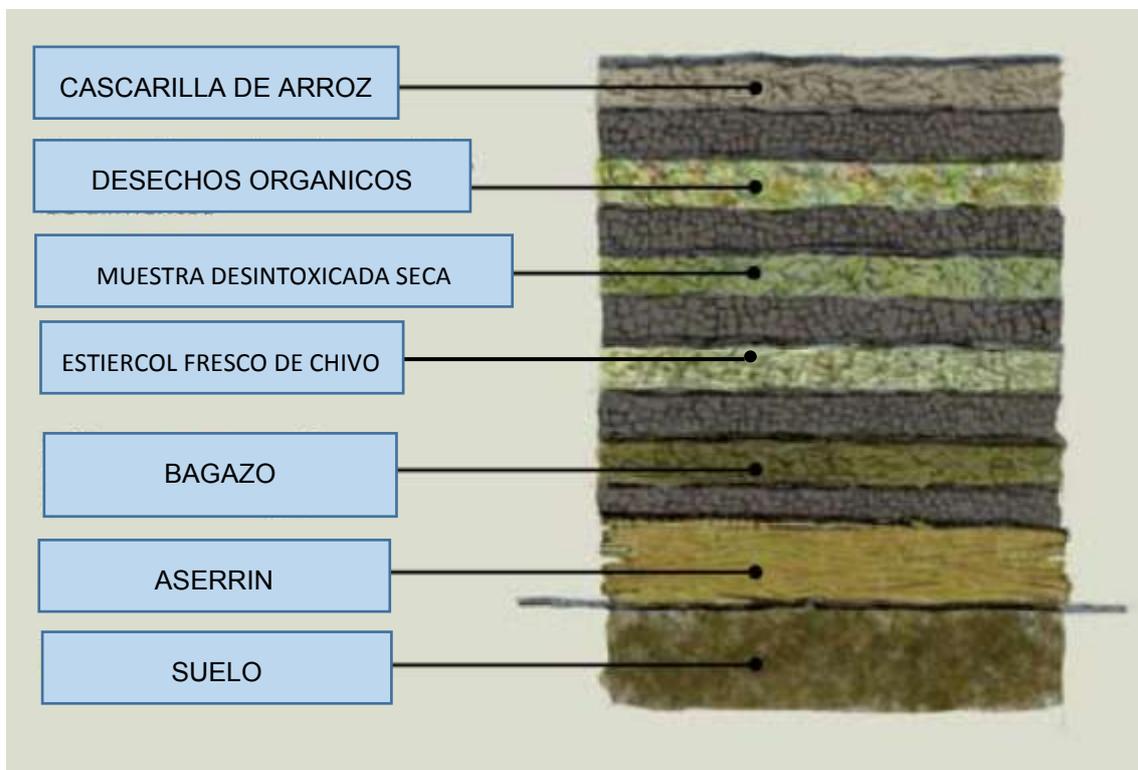


Ilustración 3: Disposición de los materiales de compostaje



Fotografía 13: Vista de los materiales utilizados para el proceso de compostaje.



Fotografía 14: Vista del proceso de trituración de los materiales, previo ingreso al proceso de compostaje.



Fotografía 15: Vista del proceso de incorporación de los diferentes materiales a la pila de compostaje.



Fotografía 16: Vista del proceso de incorporación de los diferentes materiales a la pila de compostaje.



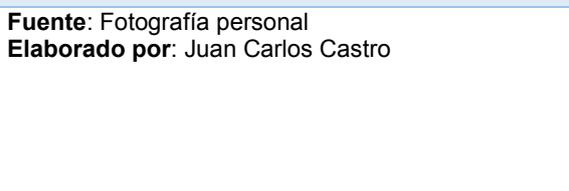
Fotografía 17: Vista de la formación de la pila de compostaje



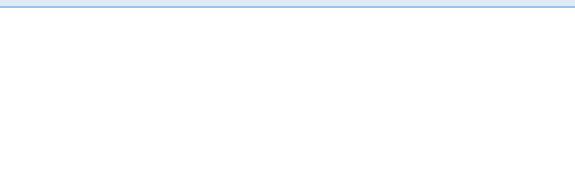
Fotografía 18: Vista de la formación de la pila de compostaje



Fotografía 19: Vista de las pilas de compostaje cubiertas con plástico negro, listas para iniciar el proceso.



Fotografía 20: Vista de las pilas de compostaje cubiertas con plástico negro, listas para iniciar el proceso.



Fuente: Fotografía personal

Elaborado por: Juan Carlos Castro

Es importante recalcar que durante los tres meses de compostaje de las tres biopilas (CT0, CT1 y CT2), la zona de tratamiento (invernadero) permitió brindar y mantener determinadas condiciones para conseguir buenos resultados.

2.5 MONITOREO:

Tipos de muestreo

Durante el tiempo que se desarrolló el ensayo, se realizó monitoreos constantes mediante análisis químicos en el laboratorio Analítico HAVOC en Quito, distribuidos de la siguiente manera:

- El primero, de la muestra antes de iniciar el ensayo (M0)
- El segundo, de las dos muestras (M1 y M2) después del tratamiento de desintoxicación y antes del compostaje.
- Desde el tercero hasta el octavo, de las muestras quincenales de las tres biopilas (**CT0, CT1, CT2**), del proceso de bioremediación por compostaje.

Estos monitoreos nos dieron un número significativo de datos, 24 en total, 8 por cada muestra con el tratamiento respectivo, para su correspondiente análisis estadístico de Varianza y Desviación Estándar para datos agrupados (ANOVA).

Toma de muestras:

La toma de muestras se realizó de la siguiente forma:

- Para el primer monitoreo, por la consistencia de la muestra se la hace directamente de los tanques de almacenamiento.
- Para el segundo monitoreo, la toma de la muestra se efectuó en base a un diseño considerado como aleatorio simple. Se toma cuatro muestras, cada muestra simple tiene un peso aproximado de un kilo, las cuatro son mezcladas (homogenizadas) para proceder a realizar el cuarteo (dividir la muestra en cuatro partes), de las cuales dos se desechan y las dos restantes se mezclan, este procedimiento se realiza hasta obtener finalmente un kilo de muestra tal como lo indica el grafico:

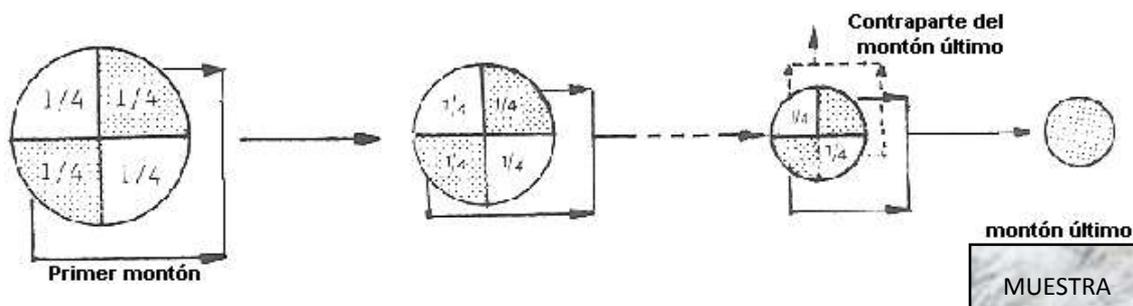


Ilustración 4: Diseño aleatorio simple, para proceso de toma de muestras

- Desde el tercero al octavo monitoreo, considerando que cada biopila de compostaje tenía una superficie aproximada de 2 m², se tomó cuatro muestras simples de los bordes y a una profundidad promedio de 0,40 metros, para luego proceder como se indicó anteriormente.
- Después de la recolección de las muestras se almacenaron en frascos color ámbar, con la respectiva rotulación, para prontamente ser enviadas al laboratorio Analítico HAVOC en la ciudad de Quito.

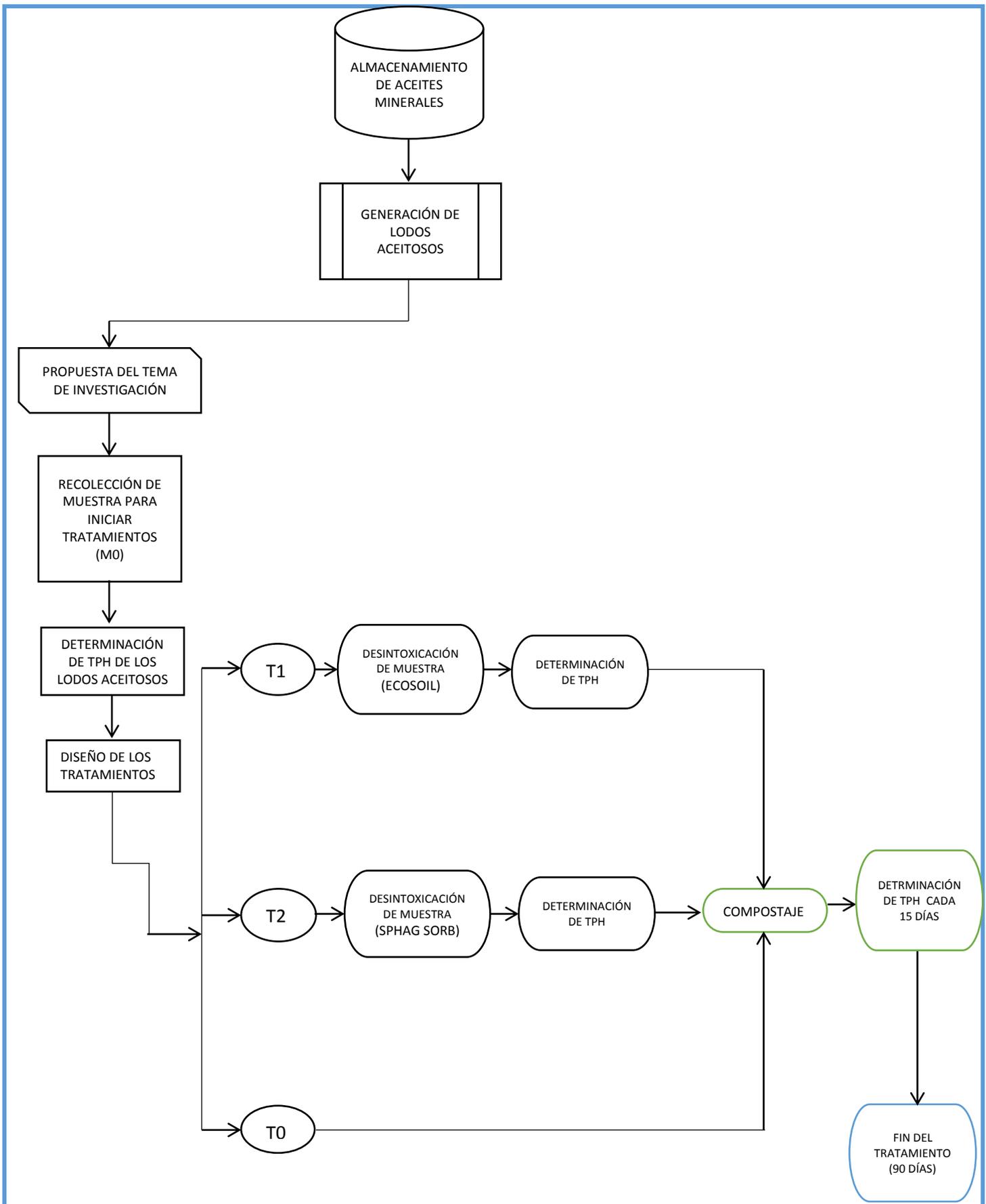
2.6. REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD EN EL ENSAYO.

Conociendo que los residuos aceitosos del tanque de almacenamiento de los aceites minerales usados, son denominados como “residuos peligrosos” por contener hidrocarburos cuyas concentraciones pueden ser perjudiciales, para las personas que están en contacto con los mismos. Consecuentemente, durante todo el ensayo, tanto en la toma de muestras como en la aplicación de los tratamientos se requiere de un estricto control y protocolos de seguridad para evitar accidentes y proteger la salud del personal técnico, por lo tanto el equipo mínimo de seguridad incluye:

- Casco.
- Respiradores.
- Lentes de Seguridad.
- Botas de seguridad.
- Guantes e indumentaria contra materiales peligrosos.

2.7 DIAGRAMA

2.7.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.



CAPITULO III

3. ANALISIS ESTADISTICO

3.1 ANALISIS ESTADISTICOS DE LOS RESULTADOS

Esta investigación, se fundamentó en la determinación de la capacidad de degradación (disminución o remoción) de hidrocarburos en los lodos aceitosos del tanque de almacenamiento del Programa de Recolección de Aceites Usados de ETAPA EP., mediante el análisis en el laboratorio del porcentaje de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) de las diferentes muestras tomadas quincenalmente durante todo el desarrollo del ensayo, el mismo que consistió en la aplicación de biorremediación por compostaje posterior al tratamiento de desintoxicación con ECOSOIL y SPHAG SORB.

Tabla 8: Diseño de los tratamientos de desintoxicación y compostaje

TRATAMIENTO 0 (T0):	TRATAMIENTO 1 (T1)	TRATAMIENTO 2 (T2)
Lodos Aceitosos (MUESTRA) sin tratamiento de desintoxicación TIEMPO: 0 días	Lodos Aceitosos (MUESTRA) + Encapsulante (ECOSOIL) TIEMPO: 15 días	Lodos Aceitosos (MUESTRA) + Absorbente industrial orgánico (SPHAG SORB) TIEMPO: 15 días
PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN		
Compostaje TIEMPO: 90 días	Compostaje TIEMPO: 90 días	Compostaje TIEMPO: 90 días

Fuente: Elaboración de este estudio

De acuerdo con el diseño experimental de los tratamientos y como resultado de dicho monitoreo, se recolectaron de los tres tratamientos, ocho muestras por cada uno, lo que dieron 24 muestras en total para su correspondiente análisis estadístico de Varianza y Desviación Estándar para datos agrupados (ANOVA).

Tabla 9: Esquema de muestreo

TRATAMIENTO	FASE	TRATAMIENTO Días	NÚMERO de muestras recolectadas
	Línea base	0	3
DESINTOXICACION	T0 – T1 –T2	15	3
	CT0 - CT1 - CT2	30	3
	CT0 - CT1 - CT2	45	3

COMPOSTAJE	CT0 - CT1 - CT2	60	3
	CT0 - CT1 - CT2	75	3
	CT0 - CT1 - CT2	90	3
	CT0 - CT1 - CT2	105	3
	TOTAL de muestras		24

Fuente: Elaboración de este estudio

Para el desarrollo del ensayo como se mencionó anteriormente, las actividades se realizaron en dos fases:

- La primera fase corresponde a la desintoxicación individual de las muestras, mediante la utilización de ECOSOIL para la muestra M1 y SPHAG SORB para la muestra M2 y en la muestra M0 no se utilizó ningún tratamiento (testigo), perteneciendo respectivamente a los tratamientos: T1, T2 y T0.
- La segunda fase corresponde a un tratamiento de biorremediación por compostaje de las tres muestras en general: CT1, CT2 Y CT0.

En ambas fases, se evalúa la capacidad de degradación de hidrocarburos de los tratamientos aplicados (T0, T1, T2), mediante la determinación de TPH. Todos los valores de TPH correspondientes a los resultados reportados por el laboratorio de análisis HAVOC, de cada una de las muestras recolectadas y enviadas durante todo el proceso, han sido corregidos por un factor de dilución, debido a que tanto en la fase de desintoxicación como en la de compostaje existió un aumento de masa (Kg), que tuvo lugar cuando la muestra inicial (lodos aceitosos) se mezcló con los productos de desintoxicación y luego con el material de compostaje, haciendo que con estas mezclas varíe y disminuya la concentración de TPH, como se indica en las siguientes tablas:

Tabla 10: Esquema de la variación de peso durante el proceso

MUESTRA	LODOS ACEITOSOS Kg	ECOSOIL Kg	SPHAG SORB Kg	PESO TOTAL Kg	MATERIAL DE COMPOSTAJE Kg	PESO TOTAL Kg
T0	70	-----	-----	70	70	140
T1	70	100	-----	170	70	240
T2	70	-----	25	95	70	165

Fuente: Elaboración de este estudio

Tabla 11: Valores corregidos de la concentración de TPH

ETAPA DEL PROCESO	FRECUENCIA días	No. MUESTRA	TPH mg/Kg de muestra					
			Factor de correc.	T0	Factor de correc.	T1	Factor de correc.	T2
Línea base	0	1	-----	266100	-----	266100	-----	266100
Desintoxicación	15	2	-----	266100	2,43	168861	1,36	158086
Compostaje:				CT0		CT1		CT2
Compostaje 1	30	3	1,71	234051	3,29	155028	2,14	142340

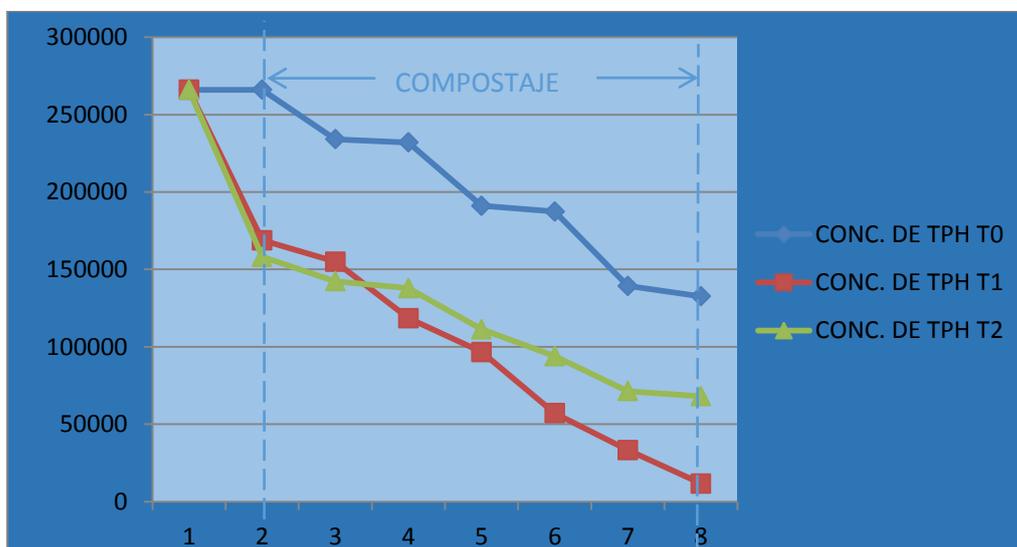
Compostaje 2	45	4		231996		118516		137923
Compostaje 3	60	5	1,43	191094	3,14	96659	1,93	111284
Compostaje 4	75	6		187363		57117		93900
Compostaje 5	90	7	1,06	139350	2,94	33301	1,76	71386
Compostaje 6	105	8		132658		11610		68029

Fuente: Elaboración de este estudio

En la tabla 10, en sus columnas, contiene las etapas del proceso de la investigación, la frecuencia de la toma de muestras, desde la línea base, cada 15 días hasta el final del compostaje, el número asignado a cada muestra del ensayo para su respectivo análisis estadístico y los valores de Hidrocarburos Totales de Petróleo TPH corregidos y expresados en mg/Kg de muestra, de cada tratamiento. La 4ta, 6ta y 8va columna nos indican los factores de corrección aplicados a los valores de TPH, reportados por el laboratorio de análisis HAVOC; en la 5ta, 7ma y 9na están los valores corregidos que fueron utilizados para el respectivo análisis estadístico, inicia con la determinación en la línea base (cero días), valor que constituyo nuestro punto de partida y fue de 266100mgTPH/kg, hasta los 105 días que termino la fase de compostaje con 132658mgTPH/kg para T0, 11610 mg TPH/kg para T1 y 68029 mg TPH/kg para T2.

En el siguiente gráfico se muestran los valores corregidos de concentración de mg TPH/Kg determinados en las diferentes muestras tomadas durante los tratamientos.

Gráfico 1: Valores de la determinación de TPH en cada muestra



Fuente: Elaboración de este estudio

Para obtener los niveles de degradación de hidrocarburos en porcentaje, se cambió las unidades de los resultados químicos analíticos de los Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), a porcentaje para lo cual se utilizó la siguiente expresión:

$$\% \text{ Remoción} = \left(\frac{\text{Concentración Inicial} - \text{Concentración Final}}{\text{Concentración Inicial}} \right) \times 100$$

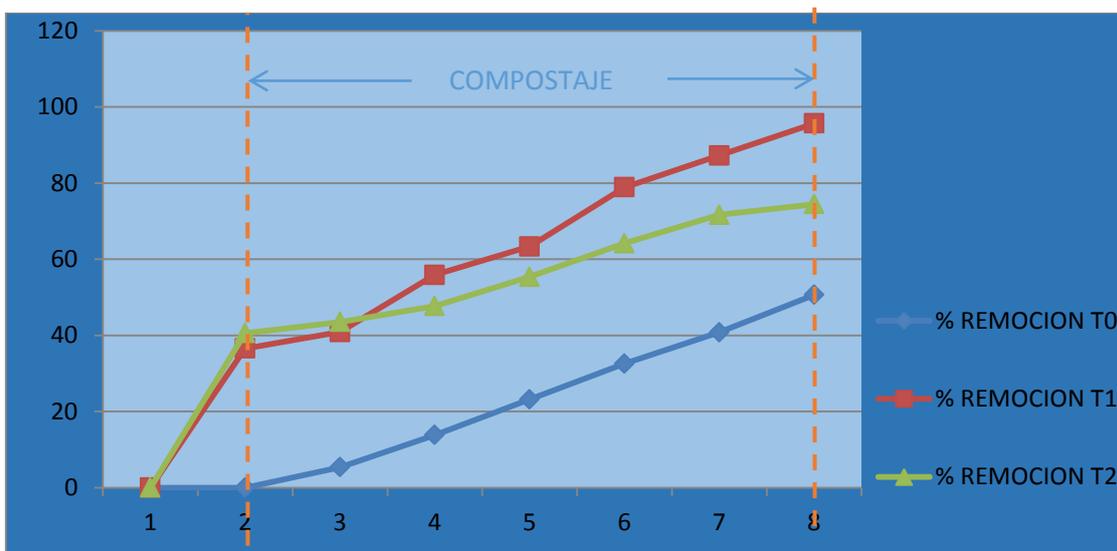
Los datos del porcentaje de remoción se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12: Porcentaje de remoción de hidrocarburos.

Muestra No.	% Remoción		
	T0	T1	T2
1	0	0	0
2	0	37	41
3	12	42	47
4	13	55	48
5	28	64	58
6	30	79	65
7	48	87	73
8	50	96	74

Fuente: Programa estadístico SPSS 17

Gráfico 2: Porcentaje de Remoción de Hidrocarburos



Fuente: Elaboración de este estudio

En el gráfico 2, se puede observar que tanto en el tratamiento 1 (T1) como en el tratamiento 2 (T2) al final de la primera fase de desintoxicación, no existe mayor diferencia entre los porcentajes de remoción, sin embargo al final de la segunda fase de compostaje el T1 presenta un mayor porcentaje, por lo tanto, se considera el más efectivo para la degradación de hidrocarburos en las muestras de lodos residuales. Consiguientemente la capacidad de degradación de hidrocarburos de cada tratamiento estará directamente expresada como el porcentaje de remoción, mismos que constituyen los datos para el análisis estadístico del ensayo.

Al considerar que la presente investigación tiene una variable independiente que corresponde a la capacidad de degradación de hidrocarburos de los tratamientos (T0, T1 y T2) y una variable dependiente cuantitativa que corresponde al porcentaje de remoción de TPH, realizamos un análisis de varianza (ANOVA), mediante el programa estadístico SPSS, para estudiar el efecto de la variable independiente denominada factor, sobre la variable dependiente, lo cual nos permitirá verificar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y simultáneamente identificar el tratamiento que muestra una mayor efectividad en la degradación de hidrocarburos.

Esta prueba confronta las medias de los porcentajes de remoción de TPH de los tratamientos, por lo tanto, las hipótesis planteadas para el análisis de varianza son las siguientes:

Hipótesis nula H_0 : No existen diferencias entre las medias de los porcentajes de remoción de los tratamientos utilizados en la experimentación, con respecto a la capacidad biodegradadora de hidrocarburos (las medias son iguales).

Hipótesis alternativa H_1 : Existen diferencias entre las medias de los porcentajes de remoción de los tratamientos utilizados en la experimentación, con respecto a la capacidad biodegradadora (al menos una de las medias es diferente).

El factor a analizar es la capacidad biodegradadora de hidrocarburos de los tratamientos (T0, T1 y T2) sobre las muestras, expresada en los porcentajes de remoción de TPH, mismos que son inversamente proporcionales a la concentración de TPH de cada una de las muestras examinadas durante el ensayo.

Tabla 13: Análisis de ANOVA

% REMOCIÓN DE TPH

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	6256,286	2	3128,143	9,064	,002
Intra-grupos	6212,286	18	345,127		
Total	12468,571	20			

Fuente: Programa estadístico SPSS 17

Puesto que el p-valor es menor que 0,05 la probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula H_0 es muy baja por lo tanto, se rechaza la hipótesis de igualdad de medias, es decir, si existen diferencias significativas entre las medias de los porcentajes de remoción de hidrocarburos de los tratamientos, LAS MEDIAS SON DIFERENTES y consecuentemente la capacidad biodegradadora de hidrocarburos difieren según el tratamiento, con lo que se acepta la hipótesis alternativa H_1 .

Para contrastar la hipótesis nula de que los tres tratamientos dan porcentajes de remoción similares, frente a la hipótesis alternativa de que esto no es así, realizamos el siguiente análisis estadístico descriptivo.

Tabla 14: Estadístico descriptivo

% REMOCIÓN DE TPH

Tratamiento	No. Muestras	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
T0	8	25,86	18,801	7,106	8,47	43,25	0	50
T1	8	65,71	22,552	8,524	44,86	86,57	37	96
T2	8	58,00	13,166	4,976	45,82	70,18	41	74
Total	24	49,86	24,969	5,449	38,49	61,22	0	96

Fuente: Programa estadístico SPSS 17

En relación al análisis de varianza podemos determinar que las medias difieren y que al observar los porcentajes mínimos y máximos de remoción de hidrocarburos, con una confianza del 95% se asume que el mejor tratamiento para la degradación de hidrocarburos es el T1, porque tiene mayores porcentajes de remoción (mínimo de 37% y máximo de 96%) que los tratamientos T0 y T2.

Como la prueba ANOVA con dichas puntuaciones no mostró diferencia estadísticamente significativa ($p=0,002$), se realizó la prueba de homogeneidad de varianzas, teniendo en cuenta, que el estadístico F de ANOVA de un factor, se basa en el cumplimiento de dos supuestos fundamentales: la normalidad (los tratamientos se realizan normalmente en todas las muestras), y la homocedasticidad o igualdad de varianzas (todas las muestras poseen la misma varianza). Esta permite comprobar este supuesto mediante la prueba de Levene.

Tabla 15: Prueba de homogeneidad de varianzas

% REMOCIÓN DE TPH

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1,324	2	18	,291

Fuente: Programa estadístico SPSS 17

Puesto que el p-valor es superior a 0,05 se debe aceptar la hipótesis nula H_0 de igualdad de varianzas. La prueba de Levene sobre igualdad de varianzas tiene una significación de $p=0,291$, que permite concluir que, en las muestras sometidas a los tres tratamientos las medias de las varianzas de cada uno de los tratamientos con respecto a la variable capacidad biodegradadora de hidrocarburos, establecida por la determinación de TPH, son iguales.

Tabla 16: Pruebas sólidas de igualdad de medias

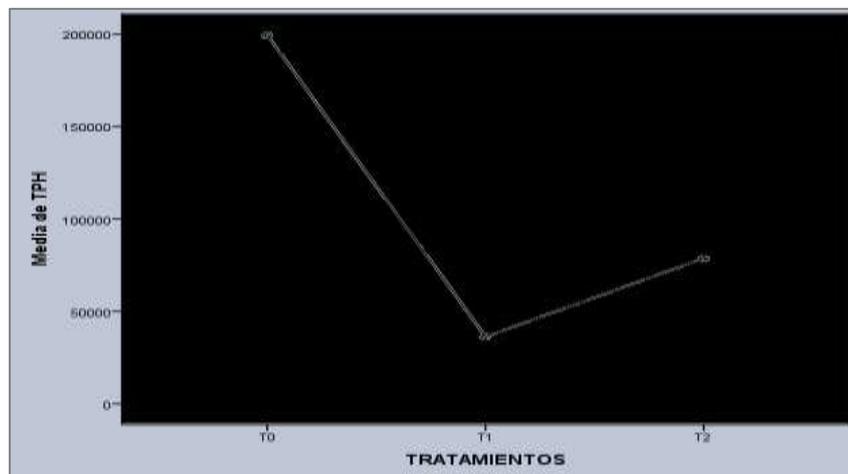
% REMOCIÓN DE TPH

	Estadístico	df1	df2	Sig.
Welch	8,255	2	11,391	,006
Brown-Forsythe	9,064	2	15,550	,002

Fuente: Programa estadístico SPSS 17

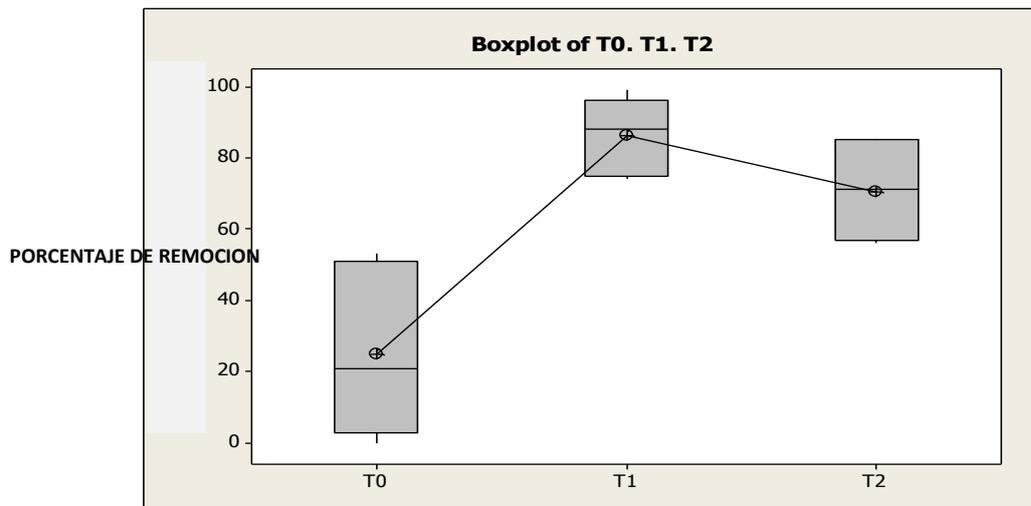
Puesto que, en ambas pruebas, el p-valor es menor que 0,05 se debe rechazar la hipótesis de igualdad de medias y concluir que la capacidad biodegradadora de hidrocarburos de los tratamientos, establecida por la concentración de TPH de las muestras comparadas no son iguales. El gráfico de las medias es el siguiente:

Gráfico 3. Gráfico de medias



Al considerar que los tres tratamientos presentan porcentajes de remoción de TPH diferentes en cada muestra y al suponer que el resultado obtenido al final del ensayo estaría sin duda influido por la capacidad de degradación de hidrocarburos de cada tratamiento, podríamos plantear la diferencia entre el “inicio” y “final” del tratamiento. Las diferencias se observan en el siguiente gráfico:

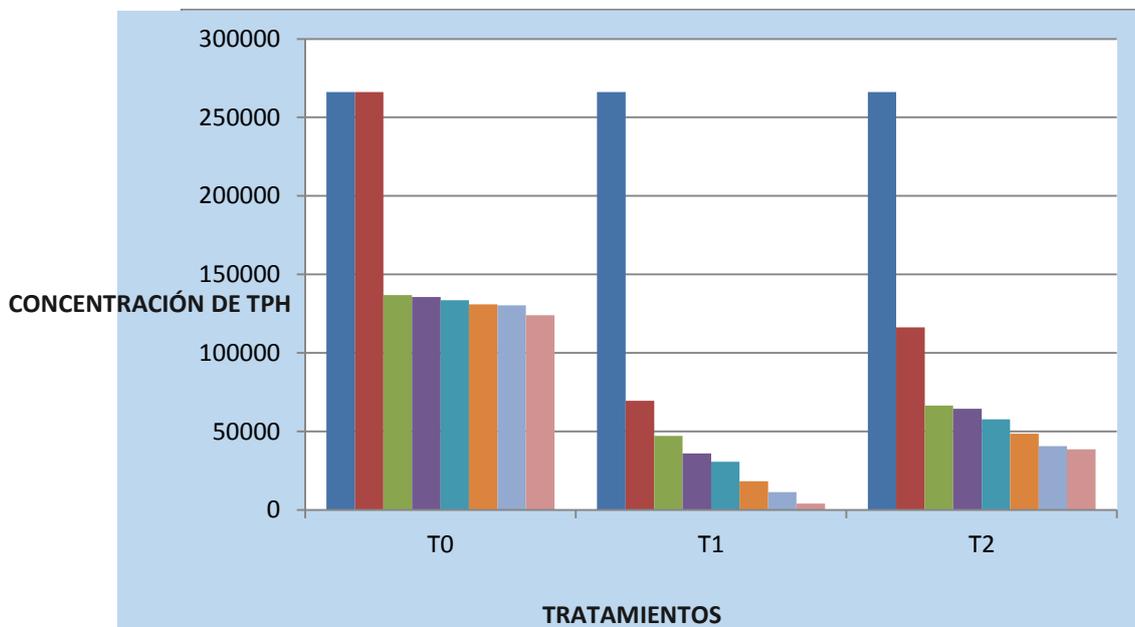
Gráfico 4: Diferencias en la prueba de homogeneidad de varianzas



Efectivamente hay diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de los porcentajes de remoción de TPH dados por la concentración de TPH de las muestras sometidas a los tres tratamientos: T0, T1 y T2 (las diferencias no han sido causadas por el azar).

En la siguiente gráfica podemos observar la disminución de la concentración de TPH, de las diferentes muestras de lodos residuales sometidas a los tratamientos, degradación comprobada, mediante el análisis de TPH en las 24 muestras tomadas a lo largo del ensayo.

Gráfico 5: Comparación de la eficiencia de los tratamientos.



El T1 al ser identificado como el más efectivo, nos permite definir que el Ecosoil, producto utilizado en este tratamiento, al momento de la desintoxicación mostró un porcentaje de remoción de hidrocarburos ligeramente menor en comparación con el Sphag Sorb, no obstante

a continuación durante la fase de compostaje, posiblemente beneficio la degradación de hidrocarburos de las muestras de lodos residuales, obteniendo una remoción del 96% al final del ensayo.



Fotografía 21: Vista de una muestra de suelo, posterior al proceso de desintoxicación y biorremediación por compostaje.



Fotografía 22: Vista de las muestras de los tratamientos T1 y T2.

3.2 ANALISIS ECONOMICO DEL ENSAYO

En toda investigación es necesario realizar un análisis económico, el cual nos va a permitir conocer la rentabilidad y factibilidad del mismo. Con este análisis se podrá conocer los costos de inversión y establecer la relación costo/beneficio.

Tabla 17: Costos del tratamiento T1

ANALISIS DEL PRESUPUESTO DE OPERACION (COSTOS Y GASTOS)						
COSTO POR ORDEN DE PRODUCCION						
ETAPA	TRATAMIENTO T1			COSTO TOTAL	709,8252	
				CANTIDAD DE LODOS ACEITOSOS TRATADOS (KILOS)	70	
CICLO DE PROCESO	4 Meses			COSTO POR KILO	10,14	
				COSTOS		TOTAL COSTOS
ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	FIJOS	VARIABLES	
CONSTRUCCION DE INFRAESTRUCTURA						
CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO	UNIDAD	1	91,75	X		91,75
MATERIALES						
BALANZA	UNIDAD	1	5	X		5
INSUMOS PARA T1						0
ECOSOIL	SACO	4	29,4		X	117,6
SACOS	UNIDAD	10	0,25		X	2,5
ABONO DE CHIVO	SACO	1	2			2
BAGAZO	PORCION	1	1		X	1
CASCARILLA DE ARROZ	SACO	1	1			1
ASERRIN	SACO	1	0,25		X	0,25
Mano de Obra						0
CONSTRUCCION DEL INVERNADERO	DIAS	3	15	X		45
CONSTRUCCIÓN DE POZAS	DIAS	1	15	X		15
PROCESO TECNICO DURANTE EL TRATAMIENTO	DIAS	5	20	X		100
Mano de Obra Indirecta						0
ANALISIS DE LABORATORIO	UNIDAD	8	44,8		X	328,53
COSTOS COMUNES						0
Suministros						0

DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LODOS RESIDUALES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES USADOS DE ETAPA EP., POSTERIOR AL TRATAMIENTO CON ECOSOIL, SPHAG SORB Y COMPOSTAJE

Consumo de Agua	LITROS	0,2	0,976		X	0,1952
COSTO TOTAL						709,8252

Tabla 18: Costos del tratamiento T2

ANALISIS DEL PRESUPUESTO DE OPERACION (COSTOS Y GASTOS)						
COSTO POR ORDEN DE PRODUCCION						
ETAPA	TRATAMIENTO T2			COSTO TOTAL	691,2252	
CICLO DE PROCESO	4 Meses			CANTIDAD DE LODOS ACEITOSOS TRATADOS (KILOS)	70	
				COSTO POR KILO	9,87	
				COSTOS		TOTAL COSTOS
ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	FIJOS	VARIABLES	
CONSTRUCCION DE INFRAESTRUCTURA						
CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO	UNIDAD	1	91,75	X		91,75
MATERIALES						
BALANZA	UNIDAD	1	5	X		5
INSUMOS PARA T2						0
SPHAG SORB	SACO	3	33		X	99
SACOS	UNIDAD	10	0,25		X	2,5
ABONO DE CHIVO	SACO	1	2			2
BAGAZO	PORCION	1	1		X	1
CASCARILLA DE ARROZ	SACO	1	1			1
ASERRIN	SACO	1	0,25		X	0,25
Mano de Obra						0
CONSTRUCCION DEL INVERNADERO	DIAS	3	15	X		45
CONSTRUCCIÓN DE POZAS	DIAS	1	15	X		15
PROCESO TECNICO DURANTE EL TRATAMIENTO	DIAS	5	20	X		100
Mano de Obra Indirecta						0
ANALISIS DE LABORATORIO	UNIDAD	8	44,8		X	328,53
COSTOS COMUNES						0
Suministros						0
Consumo de Agua	LITROS	0,2	0,976		X	0,1952
COSTO TOTAL						691,2252

Tabla 19: Costos del tratamiento T0

ANALISIS DEL PRESUPUESTO DE OPERACION (COSTOS Y GASTOS)						
COSTO POR ORDEN DE PRODUCCION						
ETAPA	TRATAMIENTO T0			COSTO TOTAL	544,9252	
				CANTIDAD DE LODOS ACEITOSOS TRATADOS (KILOS)	70	
CICLO DE PROCESO	4 Meses			COSTO POR KILO	7,78	
				COSTOS		TOTAL COSTOS
ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	FIJOS	VARIABLES	
CONSTRUCCION DE INFRAESTRUCTURA						
CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO	UNIDAD	1	91,75	X		91,75
MATERIALES						
BALANZA	UNIDAD	1	5	X		5
INSUMOS PARA T0						0
ABONO DE CHIVO	SACO	1	2			2
BAGAZO	PORCION	1	1		X	1
CASCARILLA DE ARROZ	SACO	1	1			1
ASERRIN	SACO	1	0,25		X	0,25
Mano de Obra						0
CONSTRUCCION DEL INVERNADERO	DIAS	3	15	X		45
CONSTRUCCIÓN DE POZAS	DIAS	1	15	X		15
PROCESO TECNICO DURANTE EL TRATAMIENTO	DIAS	5	20	X		100
Mano de Obra Indirecta						0
ANALISIS DE LABORATORIO	UNIDAD	7	44,8		X	283,73
COSTOS COMUNES						0
Suministros						0
Consumo de Agua	LITROS	0,2	0,976		X	0,1952
COSTO TOTAL						544,9252

Tabla 20: Análisis del costo por kilogramo de cada tratamiento

TRATAMIENTO	COSTO TOTAL DE CADA TRATAMIENTO \$	CANTIDAD DE LODOS ACEITOSOS TRATADOS (Kg)	COSTO POR KILO \$
T1	709,83	70	10,14
T2	691,23	70	9,87
T0	544,93	70	7,78

CAPITULO IV

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Esta investigación se inició el 05 de agosto del 2013 y concluyo el 09 de enero del 2014, se basó en la determinación de hidrocarburos totales en lodos residuales, generados en el proceso de mantenimiento del tanque de almacenamiento de aceites minerales usados de ETAPA EP, los mismos que fueron sometidos a tratamientos sucesivos de desintoxicación y compostaje.

Los resultados obtenidos en las diferentes fases se presentan a continuación:

Línea base:

Para establecer la línea base de la investigación, se realizó el análisis de TPH en muestras tomadas directamente de los contenedores donde se encuentran almacenados los lodos aceitosos generados en el proceso de mantenimiento del tanque de almacenamiento de aceites minerales usados. En la tabla 21 se indica el resultado obtenido:

Tabla 21: Resultado de la determinación de la línea base

No MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ANALISIS	FECHA DEL INFORME	No INFORME	DETERMINACION TPH	OBSERVACIONES
1	05/08/2013	06 al 13 agosto/2013	13/08/2013	IR-CT1301939	266100 mg/Kg de muestra	muestra sin tratamiento

Desintoxicación de las muestras:

Esta fase consistió en la mezcla de las muestras M1 y M2 con ECOSOIL y SPHAG SORB respectivamente, con una deshidratación inmediata (15 días), finalizada la misma, se realizó el correspondiente muestreo, cuyos resultados se observan en la tabla 22 con su pertinente corrección debido a la variación de peso total que tuvo lugar en esta fase:

Tabla 22: Resultados del proceso de desintoxicación de las muestras

No MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ANALISIS	FECHA DEL INFORME	No INFORME	DETERMINACION TPH mg/kg de muestra			OBSERVACIONES
					T0	T1	T2	
2	16/10/2013	17 al 23 octubre/2013	23/10/2013	IR-CT1302552	266100	168861	158086	Muestras desintoxicadas y deshidratadas.

Compostaje de las muestras:

Una vez transcurrido el tiempo de deshidratación se continúa con el compostaje del lodo desintoxicado, proceso que se inició en el mes de octubre 2013 hasta enero del 2014 (90 días), con un muestreo cada 15 días, cuyos resultados corregidos se observan en la tabla 23:

Tabla 23: Resultados del proceso de compostaje en cada uno de los tratamientos

No MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ANALISIS	FECHA DEL INFORME	No INFORME	RESULTADOS TPH mg/kg de muestra			OBSERVACIONES
					T0	T1	T2	
3	30/10/2013	31 oct al 06 noviembre/2013	06/11/2013	IR-CT1302645	234051	155028	142340	Muestra en compostaje
4	13/11/2013	14 al 20 noviembre/2013	20/11/2013	IR-CT1302798	231996	118516	137923	Muestra en compostaje
5	25/11/2013	26 nov al 04 diciembre/2013	04/12/2013	IR-CT1302886	191094	96659	111284	Muestra en compostaje
6	09/12/2013	10 al 16 diciembre/2013	16/12/2013	IR-CT1303266	187363	57117	93900	Muestra en compostaje
7	23/12/2013	24 dic al 02 enero/2014	02/01/2014	IR-CT1303555	139350	33301	71386	Muestra en compostaje
8	09/01/2014	17 al 23 octubre/2013	23/10/2013	IR-CT1400048	132658	11610	68029	Muestra en compostaje

Como podemos ver los resultados obtenidos de TPH en las diferentes muestras tomadas durante el desarrollo de los tratamientos nos permitió evaluar constantemente el nivel de remoción y degradación de hidrocarburos conforme avanzo los tratamientos, permitiéndonos establecer:

- En la fase de desintoxicación, tanto T1 como T2 presentaron un porcentaje de remoción de hidrocarburos muy semejante, T1 (37%) y T2 (41%)
- En el proceso de compostaje cumplido con los 90 días de tratamiento y considerando las tres muestras (T0, T1 y T2) los porcentajes de remoción son de 50%, 96% y 74% respectivamente, lo que indica que una vez terminado el ensayo T1 es el tratamiento más eficiente para la remoción de hidrocarburos de los lodos residuales.

Al someter los datos de la determinación de concentración de TPH de los tratamientos (variable dependiente) a un análisis de varianza (ANOVA) mediante el programa estadístico SPSS, tenemos los siguientes resultados:

- En relación al análisis de la varianza podemos confirmar que las medias difieren y que con una confianza del 95% se asume que el mejor tratamiento para la remoción de hidrocarburos es el tratamiento T1.
- Al realizar la prueba de homogeneidad de medias se demuestra que el valor del estadístico de Levene es superior que el p-valor, por lo tanto se asume la igualdad de varianzas.

Al concluir con los trabajos de la investigación, identificamos la muestra de suelo con el menor valor de TPH (11610 mg/Kg de suelo) que es la del T1 y de acuerdo a lo

establecido en la Tabla 6, del RS-RAOH Decreto 1215, “Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicio”, precisamos que el suelo remediado con este tratamiento (T1) muestra una concentración de TPH superior al límite permisible y aunque no podrá ser destinado para ningún uso, presenta un porcentaje de remoción alto del 96%, como observamos en la siguiente tabla:

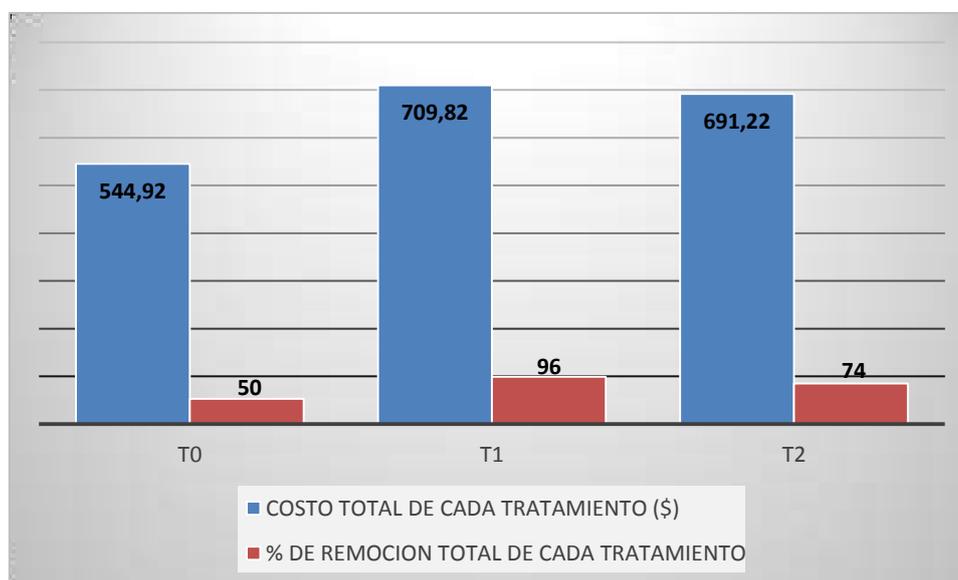
Tabla 24: Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicio

Parámetro	Expresado en	Unidad ¹⁾	Uso agrícola ²⁾	Uso industrial ³⁾	Ecosistemas sensibles ⁴⁾
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
Niquel	Ni	mg/kg	<50	<100	<40
Plomo	Pb	mg/kg	<100	<500	<80

- 1) Expresado en base de sustancia seca (gravimétrico; 105°C, 24 horas).
- 2) Valores límites permisibles enfocados en la protección de suelos y cultivos.
- 3) Valores límites permisibles para sitios de uso industrial (construcciones, etc.).
- 4) Valores límites permisibles para la protección de ecosistemas sensibles tales como Patrimonio Nacional de Areas Naturales y otros identificados en el correspondiente Estudio Ambiental.

Costos de tratamientos

Gráfico 6: Comparación del costo/beneficio de cada tratamiento.



Al evaluar la gráfica anterior podemos concluir que el T1 es el tratamiento más indicado para la remediación de los lodos residuales del tanque de almacenamiento de los aceites minerales usados de ETAPA EP., a pesar de que su desarrollo implicó un costo más alto en relación con los otros tratamientos, sin embargo es el que mayor porcentaje de remoción de hidrocarburos presentó durante el ensayo, es decir, es el que tiene mayor capacidad biodegradadora de hidrocarburos.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES.

La presente investigación permitió establecer las siguientes conclusiones:

- Al tratar las muestras de lodos residuales del tanque de almacenamiento con un proceso previo de desintoxicación con productos complementarios, se observó los dos productos presentan porcentajes de remoción de hidrocarburos semejantes, es decir tienen una efectividad parecida.
- El proceso de biorremediación por compostaje de la muestra testigo M0 y de las desintoxicadas y deshidratadas M1 y M2, alcanzó tasas de remoción del 50 al 96%, donde el mejor tratamiento fue el T1, que contenía ecosoil y que al parecer fue un factor que pudo incidir en la mayor remoción de hidrocarburos de petróleo de los lodos residuales.
- El análisis estadísticos de los resultados de las concentraciones de TPH de las muestras tomadas en todo el ensayo, indicó que los tratamientos **T0** (muestra + compostaje), **T1** (muestra + ecosoil + compostaje) y **T2** (muestra + sphag sorb + compostaje) son estadísticamente diferentes, ya que presentaron una remoción de hidrocarburos del 50%, 96% y 74% respectivamente.
- El análisis estadísticos de los resultados de las concentraciones de TPH de las muestras tomadas en todo el ensayo, indicó que los tratamientos **T0** (muestra + compostaje), **T1** (muestra + ecosoil + compostaje) y **T2** (muestra + sphag sorb + compostaje) son estadísticamente diferentes, ya que presentaron una remoción de hidrocarburos del 50%, 96% y 74% respectivamente.
- Al inicio del ensayo, la concentración de TPH de la muestra del T1 presenta un valor de 266100 mg/kg y al finalizar el proceso de remediación y eliminación se consiguió reducir a un valor de 11610 mg/kg que se encuentran por encima de los límites permisibles (<4000mg/kg) establecido en la Tabla 6, del RS-RAOH Decreto 1215, por lo tanto precisamos que el suelo remediado no podrá ser destinado para ningún uso.
- Al determinar los costos totales de la investigación, el T1 es el tratamiento más indicado para la remediación de los lodos residuales del tanque de almacenamiento de los aceites minerales usados de ETAPA EP., a pesar de que su desarrollo implicó un costo más alto en relación con los otros tratamientos, sin embargo es el que mayor porcentaje de remoción de hidrocarburos presentó.

6. RECOMENDACIONES.

- Hidrocarburos totales de petróleo TPH, se les denomina a todos compuestos químicos que son muy contaminantes, por lo tanto, deben ser evaluados en diferentes ambientes, con el fin de buscar alternativas de tratamiento que permitan mejorar sus condiciones antes de su disposición final. Estas problemáticas se ha estudiado a nivel de laboratorio, sin embargo, se deben plantear investigaciones a escala real.
- En base a los resultados finales de esta investigación y de acuerdo a lo establecido en la Tabla 6, del RS-RAOH Decreto 1215, “Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicio”, ningún tratamiento cumple con el límite permisible, sin embargo el T1 puede ser una opción para remediación de suelos que tengan concentraciones inferiores a 266100 mg de TPH/Kg de muestra, ya que presento un porcentaje de remoción del 96%.
- Se recomienda realizar monitoreos constantes del sedimento que fue remediado para llevar un constante seguimiento de la evolución del mismo.
- Es necesario realizar las técnicas de biorremediación en sitios en donde las condiciones atmosféricas se puedan controlar de tal manera que no afecten al proceso.
- Es recomendable antes de diseñar los tratamientos a aplicarse para una biorremediación, indagar la cantidad de población microbiana nativa en el suelo o sedimento, así como también la cantidad de nutrientes, para decidir si se requiere la adición de población microbiana adaptada al contaminante o de nutrientes que puedan mejorar las condiciones del proceso.
- Tanto los tratamientos ex situ como in situ son una buena alternativa para conseguir degradar los hidrocarburos. A mi criterio el tratamiento in situ diseñado, puede ser recomendado para mantener un correcto manejo ambiental de los residuos aceitosos peligrosos que se generan en el tanque de almacenamiento de los aceites minerales usados de ETAPA EP, posterior a un estudio completo de factibilidad y rentabilidad.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- www.elmercuriodigital.es. PRINCIPALES PROBLEMAS AMBIENTALES DE LA HUMANIDAD. Cristian Frers. 2010. Argentina.
- www.internatura.org. EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL. Cristian Frers. 2010. Ciudad autónoma de Buenos Aires. República de Argentina. 2010
- PETROLEO Y GAS NATURAL: INDUSTRIAS, MERCADOS Y PRECIOS. Iglesias, Enrique Parra. Madrid Ediciones Akal s.a. 2003
- www.unicolmayor.edu.co/investnova/NOVA. EFECTO DE LA ADICION DE FERTILIZANTES INORGANICOS COMPUESTOS EN LA DEGRADACION DE HIDROCARBUROS EN SUELOS CONTAMINADOS CON PETROLEO. *Artículo*. Pardo, J., et al 2004. . Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle. Bogotá D.C., Colombia
- BIORREMEDIACIÓN PARA LA DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES PRESENTES EN LOS SEDIMENTOS DE UNA ESTACIÓN DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE. Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en Ecotecnología., UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES PEREIRA. Mayo 2012.
- www.crcpress.com HYDROPROCESSING OF HEAVY OILS AND RESIDUA. Ancheyta, Jorge; Speight, James G. Estados Unidos (2007)
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). Industrial oil y waste control 121p.
- www.eppetroecuador.ec PETROLEO EN EL ECUADOR. *Artículo*. Gordillo R., 2010. Ecuador.
- www.eppetroecuador.ec PETROECUADOR, Reglamento Sustitutivo Del Reglamento Ambiental Para Operaciones Hidrocarburíferas en El Ecuador, Publicado Mediante Decreto No. 1215 En El Registro Oficial No. 265, 13 de febrero del 2001.
- www.energia.gob.mx/res/85/refinacion REFINACION DEL PETROLEO. SENER. PROSPECTIVA DE PETROLÍFEROS. 2011
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, Guía Para La Elaboración, Presentación y Ejecución De Programas De Remediación Del Sector Hidrocarburífero, noviembre, 2001.
- www.cepsa.com/cepsa LUBRICANTES: INFORMACION BASICA DE LUBRICACION. *Documento en versión digital*. CEPESA. 2005

- www.pemex.com/octanaje LOS ACEITES LUBRICANTES AUTOMOTRICES.
- www.atsdr.cdc.gov.es HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO. Agosto, Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Estados Unidos. 1999
- www.euskalnet.net RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE LOS ACEITES MINERALES. Depuroil s.a. 1999
- IMPACT OF POLLUTION ON COASTAL AND MARINE ECOSYSTEMS INCLUDING COASTAL AND MARINE FISHERIES AND APPROACH FOR MANAGEMENT *tomado de Silva Narváez-Flórez, Maetha L. Gómez y María M. Martínez.* Shahidul Md, Tanaka M, 2004.
- EVALUACION PRELIMINAR DEL ESTADO DE CONTAMINACION EN SUELOS DE LA PROVINCIA DE NEUQUEN DONDE SE EFECTUAN ACTIVIDADES DE EXPLOTACION HIDROCABURIFEA. *Licenciado en saneamiento y protección ambiental.* UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE. Autor: Pedro Augusto Brissio. Director: MSc. Mónica Savini. Co-Director: Lic. Martin Herrera Desmit. Octubre del 2005.
- [www.ingenierosdeminas.org/aspectos tecnologicos](http://www.ingenierosdeminas.org/aspectos_tecnologicos) BIORREMEDIACION. Sánchez Martín, J., 2005. Universidad de Oviedo. España
- www.reviberoammicol.com TRATRAMIENTOS BIOLÓGICOS DE SUELOS CONTAMINADOS: CONTAMINACION POR HIDROCARBUROS. Moreno et al 2004. Madrid España
- BIORREMEDIACION DE UN SUELO TROPICAL CONTAMINADO CON RESIDUOS ACEITES INTEMPERIZADOS. *Tesis previa a la obtención del título de Doctorado en la UNIVERSIDAD FEDERAL DE RIO DE JANEIRO.* Teresa Cristina Ferreira, Fernando Jorge Santos Oliveira y Francisca Pessoa de França. Noviembre 2012.
- BIORREMEDIACIÓN DE RESIDUOS DEL PETRÓLEO Vargas, P., Cuéllar, R., y Dussán, J. 2004. Ecopetrol. Hipótesis. Apuntes Científicos Uniandinos No. 4. Colombia.
- SEMINARIO DE HIDROCARBUROS. Vasallo, J., y Herrera, D. 2002. Escuela Superior de Salud y Ambiente. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén. Argentina.
- EFECTO DE PRETRATAMIENTOS FÍSICOQUÍMICOS EN LA BIODEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO EN UN SUELO INTEMPERIZADO, POR COMPOSTEO. Velasco, N. 2004. Especialista en Biotecnología Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. México D.F.

- TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS. Volke, T., y Velasco, J. 2002. Instituto Nacional de Ecología. INESEMARNAT. México.
- PETROECUADOR, Reglamento Sustitutivo Del Reglamento Ambiental Para Operaciones Hidrocarburíferas En El Ecuador, Publicado Mediante Decreto No. 1215 En El Registro Oficial No. 265, 13 de febrero del 2001.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, Guía Para La Elaboración, Presentación Y Ejecución De Programas De Remediación Del Sector Hidrocarburífero, noviembre, 2001.
- PETROECUADOR, Proyecto Eliminación De Piscinas Contaminadas Y Limpieza De Derrames En El Distrito Amazónico, diciembre 2007.
- SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS, La Biorremediación Como Una Solución Ecológicamente Compatible Cooperación Técnica Alemana GTZ, Informe interno (2000)
- Nind, W., Fundamentos ambientales, Editorial Limusa, 1era edición, México, 1997.
- Kelly Peña & Jenny Dussán. "Optimización del consorcio microbiano (Perep) en la biorremediación de lodos aceitosos en la región del Casanare Colombiano". PERENCO COLOMBIA LIMITED y BIOINTECH EU.
- Jenny Dussán & Hugo Vladimir Ramirez. "Contingencia de derrames sin proceso de "landfarming", inoculación directa en lodos ex situ: Evaluación preliminar". BIOINTECH EU.
- María Alejandra Bautista & Jenny Dussan. "Evaluación por DGGE del consorcio de bacterias degradadoras de hidrocarburos utilizando diferentes regiones del 16S RDNA". Fondo de Investigaciones del Comité de Investigaciones y Postgrado Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes.

8. ANEXOS

Anexo 1: Análisis químico, realizado en las diferentes muestras tomadas en los tratamientos (T1, T2, y T0).



Laboratorio Analítico

**INFORME DE RESULTADOS
CONFIDENCIAL**



IR-CT1301939

NOMBRE DEL CLIENTE:	ETAPA EP	REPRESENTANTE:	Ing. Juan Carlos Castro Cordero
DIRECCIÓN:	CUENCA ECUADOR	TELÉFONO:	No hay información
LUGAR DE MUESTREO:	SEDIMENTOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	FECHA DEL MUESTREO:	5 de Agosto del 2013
RESPONSABLE MUESTREO:	Ing. Javier Crespo	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:	ALEATORIO
RECEPCIONADO POR:	Maritza Jarrín	FECHA DE RECEPCIÓN:	6 de Agosto del 2013
ANALIZADO POR:	Guillermo Pusdó		
FECHA DE ANÁLISIS:	Del 6 al 13 de Agosto del 2013		
FECHA DE EMISIÓN:	13 de Agosto del 2013		

ANÁLISIS DE SUELO

INFORMACIÓN CÓDIGO CLIENTE	S-1	MÉTODO
CÓDIGO HAVOC	S130860	

ENSAYO	UNIDAD		
TPH	mg/Kg	266100 ⁴	MES-02 EPA 8440, 418.1

INCERTIDUMBRE DE MÉTODO

ENSAYO	NIVEL	INC. EXPANDIDA
TPH	40 mg/Kg	6.2 %

NOTAS IMPORTANTES:

- El Laboratorio HAVOC no realizó el muestreo.
- La muestra fue receptada en el Laboratorio.
- El parámetro analizado fue solicitado por el cliente.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados del análisis realizado.
- (*) Valor superior al rango acreditado.

Atentamente,



Alejandra J. Brito G.
Responsable del Laboratorio



HAVOC
Laboratorio Analítico



INFORME DE RESULTADOS
CONFIDENCIAL



IR-CT1302552

NOMBRE DEL CLIENTE: ETAPA EP
DIRECCIÓN: Beningno Malo y Sucre-Cuenca

REPRESENTANTE: Ing. Javier Crespo Vázquez
TELÉFONO: 074175-555

LUGAR DE MUESTREO: ETAPA EP CUENCA-ECUADOR
RESPONSABLE MUESTREO: Ing. Javier Crespo

FECHA DEL MUESTREO: 16 de Octubre del 2013
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: ALEATORIO

RECEPCIONADO POR: Maritza Jarrín
ANALIZADO POR: Guillermo Pusdà

FECHA DE RECEPCIÓN: 17 de Octubre del 2013

FECHA DE ANÁLISIS: Del 17 de Octubre al 23 de Octubre del 2013
FECHA DE EMISIÓN: 23 de Octubre del 2013

ANÁLISIS DE SUELOS

INFORMACIÓN CÓDIGOS CLIENTE	T1 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T2 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	MÉTODO
CÓDIGOS HAVOC	S1311316	S1311317	

ENSAYO	UNIDAD			MÉTODO
TPH	mg/Kg	89490 ^A	116240 ^A	MESS-02 EPA 8440, 418.1

INCERTIDUMBRE DE MÉTODO

ENSAYO	NIVEL	INC. EXPANDIDA
TPH	40 mg/Kg	6.2 %

NOTAS IMPORTANTES:

- El Laboratorio HAVOC no realizó el muestreo.
- Las muestras fueron recibidas en el Laboratorio.
- El parámetro analizado fue solicitado por el cliente.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados del análisis realizado.
- (^A) Valor superior al rango acreditado.

Atentamente,

Alexandra J. Brito G.
Responsable del Laboratorio





HAVOC
Laboratorio Analítico

**INFORME DE RESULTADOS
CONFIDENCIAL**



LABORATORIO DE
ANÁLISIS DE
SUELOS Y AGUAS

IR-CT1302645

NOMBRE DEL CLIENTE: ETAPA EP
DIRECCIÓN: Benigno Malo y Sucre-Cuenca

LUGAR DE MUESTREO: ETAPA EP CUENCA-ECUADOR
RESPONSABLE MUESTREO: Ing. Javier Crespo

RECEPCIONADO POR: Maritza Jarrín
ANALIZADO POR: Guillermo Pusedá

FECHA DE ANÁLISIS: Del 31 de Octubre al 06 de Noviembre del 2013
FECHA DE EMISIÓN: 05 de Noviembre del 2013

REPRESENTANTE: Ing. Javier Crespo Vázquez
TELÉFONO: 074175-555

FECHA DEL MUESTREO: 30 de Octubre del 2013
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: ALEATORIO

FECHA DE RECEPCIÓN: 31 de Octubre del 2013

ANÁLISIS DE SUELOS

INFORMACIÓN CÓDIGOS CLIENTE	T1 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T2 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T0 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	MÉTODO
CÓDIGOS HAVOC	51311328	51311329	51311330	

ENSAYO	UNIDAD				
TPH	mg/Kg	47121 ^a	66514 ^a	136872 ^a	MESS-02 EPA 8440, 418.1

INCERTIDUMBRE DE MÉTODO

ENSAYO	NIVEL	INC. EXPANDIDA
TPH	40 mg/Kg	6.2 %

NOTAS IMPORTANTES:

- El Laboratorio HAVOC no realizó el muestreo.
- Las muestras fueron recibidas en el Laboratorio.
- El parámetro analizado fue solicitado por el cliente.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados del análisis realizado.
- (^a) Valor superior al rango acreditado.

Atentamente,



Alexandra J. Brito G.
Responsable del Laboratorio





INFORME DE RESULTADOS
CONFIDENCIAL



IR-CT1302798

NOMBRE DEL CLIENTE:	ETAPA EP	REPRESENTANTE:	Ing. Javier Crespo Vázquez
DIRECCIÓN:	Beningno Malo y Sucre-Cuenca	TELÉFONO:	074175-555
LUGAR DE MUESTREO:	ETAPA EP CUENCA-ECUADOR	FECHA DEL MUESTREO:	13 de Noviembre del 2013
RESPONSABLE MUESTREO:	Ing. Javier Crespo	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:	ALEATORIO
RECEPCIONADO POR:	Maritza Jarrín	FECHA DE RECEPCIÓN:	14 de Noviembre del 2013
ANALIZADO POR:	Guillermo Pusdá		
FECHA DE ANÁLISIS:	Del 14 de Noviembre al 20 de Noviembre del 2013		
FECHA DE EMISIÓN:	20 de Noviembre del 2013		

ANÁLISIS DE SUELOS

INFORMACIÓN CÓDIGOS CLIENTE	T1 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T2 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T0 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	MÉTODO
CÓDIGOS HAVOC	S1311341	S1311342	S1311343	

ENSAYO	UNIDAD				
TPH	mg/Kg	38023 ^a	64450 ^a	135670 ^a	MES5-02 EPA 8440, 418.1

INCERTIDUMBRE DE MÉTODO

ENSAYO	NIVEL	INC. EXPANDIDA
TPH	40 mg/Kg	6.2 %

NOTAS IMPORTANTES:

- El Laboratorio HAVOC no realizó el muestreo.
- Las muestras fueron receptadas en el Laboratorio.
- El parámetro analizado fue solicitado por el cliente.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados del análisis realizado.
- (^a) Valor superior al rango acreditado.

Atentamente,

Alexandra J. Brito G.
Responsable del Laboratorio.





INFORME DE RESULTADOS
CONFIDENCIAL



IR-CT1302886

NOMBRE DEL CLIENTE: ETAPA EP
DIRECCIÓN: Benigno Malo y Sucre-Cuenca

REPRESENTANTE: Ing. Javier Crespo Vázquez
TELÉFONO: 074175-555

LUGAR DE MUESTREO: ETAPA EP CUENCA-ECUADOR
RESPONSABLE MUESTREO: Ing. Javier Crespo

FECHA DEL MUESTREO: 25 de Noviembre del 2013
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: ALEATORIO

RECEPCIONADO POR: Maritza Jarrin
ANALIZADO POR: Guillermo Pusdó

FECHA DE RECEPCIÓN: 26 de Noviembre del 2013

FECHA DE ANÁLISIS: Del 26 de Noviembre al 04 de Diciembre del 2013
FECHA DE EMISIÓN: 04 de Diciembre del 2013

ANÁLISIS DE SUELOS

INFORMACIÓN CÓDIGOS CLIENTE	T1 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T2 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T0 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	MÉTODO
CÓDIGOS HAVOC	51311366	51311367	51311368	

ENSAYO	UNIDAD				
TPH	mg/Kg	30783 ^a	57660 ^a	133632 ^a	MESS-02 EPA 8440, 418.1

INCERTIDUMBRE DE MÉTODO

ENSAYO	NIVEL	INC. EXPANDIDA
TPH	40 mg/Kg	6.2 %

NOTAS IMPORTANTES:

- El Laboratorio HAVOC no realizó el muestreo.
- Las muestras fueron receptadas en el Laboratorio.
- El parámetro analizado fue solicitado por el cliente.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados del análisis realizado.
- (^a) Valor superior al rango acreditado.

Atentamente,

Alexandra J. Brito G.
Responsable del Laboratorio





INFORME DE RESULTADOS
CONFIDENCIAL



IR-CT1303266

NOMBRE DEL CLIENTE:	ETAPA EP	REPRESENTANTE:	Ing. Javier Crespo Vázquez
DIRECCIÓN:	Beningno Malo y Sucre-Cuenca	TELÉFONO:	074175-555
LUGAR DE MUESTREO:	ETAPA EP CUENCA-ECUADOR	FECHA DEL MUESTREO:	09 de Diciembre del 2013
RESPONSABLE MUESTREO:	Ing. Javier Crespo	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:	ALEATORIO
RECEPCIONADO POR:	Maritza Jarrín	FECHA DE RECEPCIÓN:	10 de Diciembre del 2013
ANALIZADO POR:	Guillermo Pusdà		
FECHA DE ANÁLISIS:	Del 10 de Diciembre al 16 de Diciembre del 2013		
FECHA DE EMISIÓN:	16 de Diciembre del 2013		

ANÁLISIS DE SUELOS

INFORMACIÓN CÓDIGOS CLIENTE	T1 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T2 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T0 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	MÉTODO
CÓDIGOS HAVOC	51311376	51311377	51311378	

ENSAYO	UNIDAD				
TPH	mg/Kg	18190 ^A	48653 ^A	131023 ^A	MES5-02 EPA 8440, 418.1

INCERTIDUMBRE DE MÉTODO

ENSAYO	NIVEL	INC. EXPANDIDA
TPH	40 mg/Kg	6.2 %

NOTAS IMPORTANTES:

- El Laboratorio HAVOC no realizó el muestreo.
- Las muestras fueron receptadas en el Laboratorio.
- El parámetro analizado fue solicitado por el cliente.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados del análisis realizado.
- (^A) Valor superior al rango acreditado.

Atentamente,

Alexandra J. Brito C.
Responsable del Laboratorio





Laboratorio Analítico

**INFORME DE RESULTADOS
CONFIDENCIAL**



IR-CT1303555

NOMBRE DEL CLIENTE:	ETAPA EP	REPRESENTANTE:	Ing. Javier Crespo Vázquez
DIRECCIÓN:	Beningo Malo y Sucre-Cuenca	TELÉFONO:	074175-555
LUGAR DE MUESTREO:	ETAPA EP CUENCA-ECUADOR	FECHA DEL MUESTREO:	23 de Diciembre del 2013
RESPONSABLE MUESTREO:	Ing. Javier Crespo	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:	ALEATORIO
RECEPCIONADO POR:	Maritza Jarrín	FECHA DE RECEPCIÓN:	24 de Diciembre del 2013
ANALIZADO POR:	Guillermo Pusá		
FECHA DE ANÁLISIS:	Del 24 de Diciembre del 2013 al 02 de Enero del 2014		
FECHA DE EMISIÓN:	02 de Enero del 2014		

ANÁLISIS DE SUELOS

INFORMACIÓN CÓDIGOS CLIENTE	T1 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T2 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T0 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	MÉTODO
CÓDIGOS HAVOC	S1311396	S1311397	S1311398	

ERSAYO	UNIDAD				
TPH	mg/Kg	11327 ^a	40560 ^a	130234 ^a	MESS-02 EPA 8440, 418.1

INCERTIDUMBRE DE MÉTODO

ERSAYO	NIVEL	INC. EXPANDIDA
TPH	40 mg/Kg	6.2 %

NOTAS IMPORTANTES:

- El Laboratorio HAVOC no realizó el muestreo.
- Las muestras fueron receptadas en el Laboratorio.
- El parámetro analizado fue solicitado por el cliente.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados del análisis realizado.
- (*) Valor superior al rango acreditado.

Atentamente,



Alexandra J. Brito G.
Responsable del Laboratorio





Laboratorio Analítico

**INFORME DE RESULTADOS
CONFIDENCIAL**



IR-CT1400048

NOMBRE DEL CLIENTE:	ETAPA EP	REPRESENTANTE:	Ing. Javier Crespo Vázquez
DIRECCIÓN:	Benigno Malo y Sucre-Cuenca	TELÉFONO:	074175-555
LUGAR DE MUESTREO:	ETAPA EP CUENCA-ECUADOR	FECHA DEL MUESTREO:	09 de Enero del 2014
RESPONSABLE MUESTREO:	Ing. Javier Crespo	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:	ALEATORIO
RECEPCIONADO POR:	Maritza Jarrín	FECHA DE RECEPCIÓN:	10 de Enero del 2014
ANALIZADO POR:	Guillermo Pustá		
FECHA DE ANÁLISIS:	Del 10 de Enero al 16 de Enero del 2014		
FECHA DE EMISIÓN:	16 de Enero del 2014		

ANÁLISIS DE SUELOS

INFORMACIÓN CÓDIGOS CLIENTE	T1 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T2 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	T0 SEDIMENTOS TRATADOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITES MINERALES USADOS	MÉTODO
CÓDIGOS HAVOC	S141126	S140127	S140128	

ENSAYO	UNIDAD				
TPH	mg/Kg	3949 ^A	38653 ^A	123979 ^A	MESS-02 EPA 8440, 418.1

INCERTIDUMBRE DE MÉTODO

ENSAYO	NIVEL	INC. EXPANDIDA
TPH	40 mg/Kg	6.2 %

NOTAS IMPORTANTES:

- El Laboratorio HAVOC no realizó el muestreo.
- Las muestras fueron recibidas en el Laboratorio.
- El parámetro analizado fue solicitado por el cliente.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados del análisis realizado.
- (^A) Valor superior al rango acreditado.

Atentamente,



Alexandra J. Brito G.
Responsable del Laboratorio



Anexo 2: Programa SPSS 17, utilizado para el análisis estadístico de la presente investigación.

The screenshot shows the IBM SPSS Statistics Editor de datos interface. The main window displays a data table with the following data:

	TRATAMIENTOS	TPH	var												
1	T0	266100													
2	T0	266100													
3	T0	256872													
4	T0	243670													
5	T0	210632													
6	T0	165023													
7	T0	130234													
8	T0	123979													
9	T1	266100													
10	T1	69490													
11	T1	67121													
12	T1	56023													
13	T1	30783													
14	T1	18190													
15	T1	11327													
16	T1	3949													
17	T2	266100													
18	T2	116240													
19	T2	115514													
20	T2	104450													

The interface also shows a menu bar with options like Archivo, Editar, Ver, Datos, Transformar, Analizar, Marketing directo, Gráficos, Utilidades, Ventana, and Ayuda. At the bottom, there are tabs for 'Vista de datos' and 'Vista de variables', and a status bar indicating 'IBM SPSS Statistics Processor está listo' and 'Unicode ON'.

Anexo 3: Tabla de los límites Permisibles para la Identificación y Remoción de Suelos Contaminados en todas las fases de la Industria Hidrocarburífera.

aguas grises y negras deberá realizarse por separado, salvo para los casos establecidos en el artículo 29 literal e, de este Reglamento

Tabla 6: Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicios.

Los límites permisibles a aplicarse en un proyecto determinado dependen del uso posterior a darse al suelo remediado, el cual constará en el respectivo Programa o Proyecto de Remediación aprobado por la Subsecretaría de Protección Ambiental.

De presentar los suelos naturales (no contaminados) del área concentraciones superiores a los límites establecidos, se pueden incrementar los valores del respectivo parámetro hasta este nivel, siempre que se haya comprobado este fenómeno estadísticamente a través de un monitoreo de suelos no perturbados ni influenciados en el mismo área.

El monitoreo consistirá de una caracterización inicial del sitio y/o material a remediarse, un monitoreo de por lo menos un muestreo con los respectivos análisis cada seis meses, y una caracterización final una vez concluidos los trabajos. Dependiendo de la tecnología de remediación aplicada, la frecuencia del monitoreo será mayor, conforme al Programa o Proyecto de Remediación aprobado por la Subsecretaría de Protección Ambiental.

Parámetro	Expresado en	Unidad ¹⁾	Uso agrícola ²⁾	Uso industrial ³⁾	Ecosistemas sensibles ⁴⁾
Hidrocarburos totales	TPH	mg/kg	<2500	<4000	<1000
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's)	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

¹⁾ Expresado en base de sustancia seca (gravimétrico; 105°C, 24 horas)
²⁾ Valores límites permisibles enfocados en la protección de suelos y cultivos.
³⁾ Valores límites permisibles para sitios de uso industrial (construcciones, etc.).
⁴⁾ Valores límites permisibles para la protección de ecosistemas sensibles tales como Patrimonio Nacional de Áreas Naturales y otros identificados en el correspondiente Estudio Ambiental.

112

Anexo 4: Especificaciones técnicas del producto Encapsulante

ARCOIL

DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO
Nombre comercial: ENCAPSUL
Nombre químico: Polisilicatos

CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES FÍSICO-QUÍMICAS
Composición: Polisilicatos de aluminio
Gravedad específica (agua = 1): 1,15
Solubilidad en agua: 16%
Punto de fundición: 2.000° C
pH: 6,5 a 8
Densidad del vapor (aire = 1): N/A
Apariencia y color: Polvo granular, color beige
Olor: Ninguno

DOSIFICACIÓN
Dependiendo de la severidad de la contaminación del material a tratar, su granulometría y al grado de humedad se recomienda a utilizar de 3 a 4 sacos de 50 lbs por metro cúbico.

MÉTODO DE APLICACIÓN
Si se trata de grandes volúmenes, para conseguir una mezcla homogénea y en el menor tiempo, se puede recurrir al empleo de una mezcladora (mixer). En nuestro medio se utilizará perfectamente una concretora.
En cantidades menores, los suelos contaminados pueden tratarse manualmente con el empleo de pala, como si se tratara de preparar hormigón dando tantas "vueltas" cuantas veces fueran necesarias hasta conseguir una mezcla muy homogénea en textura y color.

INFORMACIÓN SOBRE SALUD
Efectos crónicos y agudos por sobre exposición
Inhalación: Puede causar irritación de garganta y los
Ingestión: Puede ocasionar corrosión de la mucosa gástrica, irritación de la garganta y los
Ojos: Las partículas de polvo pueden generar irritaciones menores.
Piel: No existe peligro.

INFORMACIÓN DE PROTECCIÓN PERSONAL
Protección respiratoria: Se debe usar mascarilla protectora para polvo químico.
Protección a la piel: Se recomienda el uso de guantes de caucho, látex, vinil, etc. No usar de tela.
Protección de ojos: Se debe usar gafas de seguridad a prueba de salpicaduras, resistente al polvo. Evite el uso de lentes de contacto.
Prácticas de trabajo e higiene: Después de la jornada de trabajo, remover la ropa, tomar una ducha y lavar la vestimenta.

PELIGROS DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN:
Punto de ignición:
No se quema con exposición a la llama.
Inflamación:
No inflamable, no explosivo
Otros:
No inhala

REACTIVIDAD:
Estabilidad:
Estable en condiciones normales de presión y temperatura.
Condiciones y materiales a evitar:
Incompatible con ácidos. Se descompone formando óxidos tóxicos.
Corrosividad: Ligeramente corrosivo en contacto con metales.

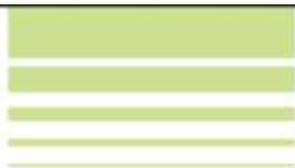
TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO:
Medidas en caso de dispersión: Barrer y almacenar en lugares limpios y frescos.
Disposición del material: En rellenos sanitarios, usado para procesos de land farming o en capas de rodadura.
Precauciones para manejo y almacenamiento:
Evitar generación de polvo. Almacenar en lugares secos.

Anexo 5: Especificaciones técnicas del producto Spagh Sorb



INTEMAN
Laboratorios

INTEMAN S.A.
Luzmardabáste, 23 (Parque Industrial de Jirón)
Tfno. 845 292 100* - Fax: 845 290 331
01015 VITORIA
http://www.inteman.com



SPHAG-SORB

Absorbente industrial orgánico

Información técnica

DESCRIPCIÓN
SPHAG-SORB es un ABSORBENTE INDUSTRIAL ORGANICO, elaborado de turba natural procedente de los pantanos de Canadá. La turba en su estado natural, es el primer paso en la formación de carbón y petróleo, es poco mas que la descomposición parcial de turbas en su estado biodegradable. Deshidratado hasta un contenido en humedad del 0% al 10%, es activado hasta convertirlo en un material de alta calidad, diseñado para ABSORBER y ENCAPSULAR todo tipo de aceites y solventes orgánicos, no permitiendo la lixiviación.

APLICACIONES
Para eliminar y absorber líquidos que se hayan vertido accidentalmente en gasolineras, talleres, fábricas, camiones de reparto, etc. SPHAG-SORB absorbe hidrocarburos (incluyendo PCBs) en tierra y agua, así como grasas animales y vegetales, sangre y orina, así como ácidos y bases fuertes. Aplicado INMEDIATAMENTE absorbe y LIMPIA manchas sobre hormigón.

PROPIEDADES

- SPHAG-SORB, es selectivo frente a hidrocarburos (es decir que no absorbe agua)
- No es tóxico, no es abrasivo, no contiene productos químicos ni otros aditivos, no oxida. Producto 100% natural.
- Reduce hasta el 90% los vapores de los combustibles.
- Ligero de peso para un manejo fácil.
- Gran capacidad de ABSORCIÓN y ENCAPSULACIÓN (igual a su volumen)
 - SPHAG-SORB (SS-2) Absorbe 54 lts.
 - SPHAG-SORB (SS-96)(TUBULAR) Absorbe 15 lts. por tubular (10 tubulares/caja)
 - SPHAG-SORB (SS-14) (ALMOHADILLA) Absorbe 7 lts. por almohadilla (20 almohadillas por caja)

*Todas las tasas de absorción antes relacionadas son aproximadas.

- No lixivia residuos tóxicos.
- Los productos absorbidos pierden sus características tóxicas y peligrosas.

CARACTERÍSTICAS

- ASPECTOFibroso, color marrón, suelto.
- BIODEGRADABILIDAD Posterior al producto absorbido.
- INFLAMABILIDADA partir de 260º C.

MODO DE EMPLEO

- Cuando se trate de derrames en tierra, hormigón, asfalto, etc., formar una barrera con el producto, a fin de que no se propague; cubrir la mancha con el producto, remover frotando, barrer con escoba, cepillo, etc., y recoger o reutilizar si no estuviera saturado.
- Cuando se trate de derrames sobre agua, actuar de la misma manera y a la hora de recoger, utilizar redes, recoge-hojas, aspiradoras, etc.

PRECAUCIONES

- Prever una buena ventilación y se aconseja la utilización de guantes, gafas, etc. dada su baja granulometría.
- Para su almacenaje, consérvese en lugar seco.

Las informaciones aquí reflejadas están basadas en nuestros conocimientos actuales más avanzados y se consideran ciertas y dignas de confianza a la fecha en la que se realizaron. Debido a que el usuario realiza las aplicaciones fuera de nuestro control, esta compañía no puede asumir responsabilidad por daños del uso y aplicación de nuestros productos. La compra de este producto implica la aceptación de estas condiciones.




REVISION: 04
REG.02-04-01
Rev: 00