



# **UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

## **REMEDIACIÓN DE LODOS ACEITOSOS DE LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS MEDIANTE COMPOSTAJE, EMPLEANDO RESIDUOS DOMÉSTICOS EN CALIDAD DE FUENTE DE NUTRIENTES.**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos  
para optar por el título de  
Ingeniero Ambiental

Profesor Guía  
Dr. Miguel Ángel Gualoto Oñate

**Autor**  
**Jonathan Arcos Freile**

**Año**  
**2010**

**QUITO**



## DECLARACION DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajo de Titulación”.

.....

Dr. Miguel Ángel Gualoto Oñate  
C.I.:

DECLARACION DE AUTORIA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se a citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigente”.

.....

Jonathan Arcos Freile.  
C.I.: 0802141127



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la oportunidad de vivir y esencialmente conocer las maravillas de su creación, que es la naturaleza, así poder de alguna manera concienciar y remediar la gran destrucción que causamos los humanos a nuestro gran hogar “La Tierra”.

A los docentes de la Universidad de las Américas que por su tiempo y su guía he podido lograr mis objetivos, en especial al Dr. Miguel Ángel Gualoto Oñate, profesional y persona de alta calidad humana que comparte sus valores y experiencias vividas a si como sus extensos conocimientos sin ninguna reproche a nosotros sus alumnos.

A Refinería Estatal Esmeraldas, en especial al Departamento de Gestión Integral, Dr. Rubén Chico, Ing. Ileana Sosa y a todo el personal que conforman dicho departamento, por el conocimiento proporcionado a lo largo de la realización de mi tesis.

Gracias a mis compañeros, amigos por brindarme su confianza, su cariño, apoyo y su gran amistad; que en los momentos más alegres y de tristezas supieron escucharme y entenderme.

## **DEDICATORIA**

A mis Amigos y Padres: Amalia y Tato, por el amor infinito que nos dan, apoyo incondicional que me han brindada a cada segundo de mi vida, los valores trasmitados a lo largo del tiempo; concejos sobretodo su bondad y humildad hacia nosotros sus hijos como a las demás personas

**GRACIAS POR SER MIS PADRES.**

A mis hermanos Oliver, Damian y Katty, por esos buenos momentos que me han sabido brindar, sobretodo soportar el difícil carácter que me a tocado cargar.

**GRACIAS MIS HERMANOS**

A la alegría de mi familia; que con su inocencia, hace que todos los días que pasan se nos olviden todos los problemas y dificultades que nosotros los adultos decimos tener, aunque sea por un instante. Gracias por todas esas razones que quisiera poder volver a ser NIÑO.

**GABIELITO MI SOBRINO**

## **RESUMEN**

Tesis sobre Remediación ambiental, particularmente sobre Biorremediación de suelos y lodos contaminados con hidrocarburos. El objetivo principal es de remediar suelos y lodos contaminados con hidrocarburos, residuos que se producen en cada una de las operaciones unitarias que se realizan en la refinación de petróleo. Los principales problemas identificados son: el mal manejo de residuos sólidos de hidrocarburos, procedentes de las diferentes áreas de la industria petrolera, como también suelos contaminados por derrames y los residuos hidrocarbúricos producidos en cada uno de los procesos como: refinación, almacenamiento, transporte y distribución.

Utilizar técnicas más eficientes, menos costosas y naturales como en este caso el COMPOSTAJE utilizando residuos domésticos que estimulan y aceleran los procesos de degradación de suelos y lodos contaminados con hidrocarburos mediante técnicas ambientalmente amigables con el medio ambiente. La conclusión general, es que, se describe al COMPOSTAJE domésticos como una de las técnicas más factibles y recomendadas en la remediación de lodos y suelos contaminados con hidrocarburos.

## **ABSTRAC**

Thesis on environmental remediation, particularly on bioremediation of soil and sludge contaminated with hydrocarbons. The main objective is to remediate soil and sludge contaminated with hydrocarbons, waste produced in each of the unit operations that are performed in oil refining. The main problems identified are: the mismanagement of solid hydrocarbons from the different areas of the oil, as well as soils contaminated by hydrocarbon spills and waste produced in each of the processes such as refining, storage, transportation and distribution.

Using techniques more efficient, less costly and more natural and in this case COMPOSTING using household waste that stimulate and accelerate the processes of degradation of soil and sludge contaminated with hydrocarbons using environmentally friendly techniques to the environment. The general conclusion is that COMPOSTING is described as one of the most feasible and recommended techniques in the remediation of sludge and oil contaminated soil.

## INDICE

Introducción.....	1
Capítulo I.....	2
1. Contenido temático.....	2
1.1 Introducción.....	2
Capítulo II.....	5
2. Justificación .....	5
2.1 Situación actual de los lodos aceitosos .....	5
2.2 Lodos aceitosos a nivel regional.....	8
2.3 Lodos aceitosos a nivel nacional.....	10
2.3.1 Complejo Industrial Shushufindi.....	11
2.3.2 Refinería La Libertad.....	15
2.3.3 Planta Cautivo.....	17
2.3.4 Terminal Pascuales.....	17
2.3.5 Terminal Beaterio.....	18
2.3.5.1 Sección Operativa.....	19
2.3. Situación actual en el Distrito Metropolitano de Quito.....	21
2.4. Estrategias generales de manejo.....	21
2.5. Regulaciones acerca del Manejo de Lodos.....	24
Capítulo III.....	26
3. Lodos Industriales.....	26
3.1 Introducción.....	26
3.2 Clases de lodo.....	28
3.2.1 Por su contenido en agua.....	28
3.2.2 Por su composición química.....	28

3.2.3	Por su origen.....	28
3.2.4	Por su contenido de sólidos.....	28
3.2.5	Por su destino final.....	29
3.3	Métodos más frecuentes en el tratamiento de lodos.....	29
3.3.1	Espesado de fangos.....	30
3.3.2	Digestión de fangos.....	30
3.3.3	Deshidratación de fangos.....	32
3.4	Lodos Industriales.....	32
3.4.1	Tipos de lodos Industriales.....	33
3.4.2	Lodos aceitosos.....	35
3.4.2.1	Caracterización de lodos aceitosos.....	36
Capítulo IV.....		38
4.	Metodologías de gestión de lodos aceitosos.....	38
4.1	Introducción.....	38
4.2	Componentes de un plan de gestión.....	38
4.2.1	Minimización.....	39
4.2.2	Valorización.....	39
4.2.3	Eliminación del desperdicio.....	40
4.2.4	Protección del medio ambiente.....	41
4.2.5	Información y comunicación.....	41
4.2.6	Tecnología e investigación.....	41
4.3	Programa de infraestructura e información para la Gestión de residuos aceitosos.....	42
4.4	Subprograma de comunidad.....	43
4.5	Metodologías de gestión de residuos aceitosos.....	44
4.5.1	Incineración de lodos.....	45
4.5.2	Confinamiento.....	47
4.5.3	Encapsulamiento.....	47
4.5.4	Vidriado.....	48

4.5.5	Hormigonado.....	49
4.5.6	Biorremediacion.....	50
4.6	Clasificación de tecnologías de remediación.....	51
4.6.1	Estrategia de remediación.....	52
4.6.2	Lugar en que se realiza el proceso de Remediación.....	52
4.6.3	Tipos de tratamiento biológico.....	53
4.6.3.1	Bioestimulación.....	53
4.6.3.2	Bioaumentación.....	53
4.6.3.3	Bioventeo.....	54
4.6.3.4	Fitorremediación.....	55
4.6.3.5	Landfarming.....	56
4.6.3.6	Landfarming Ingenieril.....	57
4.6.3.7	Compostaje.....	58
Capitulo V.....		60
5.	Compostaje.....	60
5.1	Introducción.....	60
5.2	El proceso de compostaje.....	61
5.2.1	Mesolítico.....	62
5.2.2	Termofílico.....	62
5.2.3	De enfriamiento.....	62
5.2.4	De maduración.....	62
5.3	Fabricación de compost.....	63
5.3.1	Compostaje en montón.....	63
5.3.2	Compostaje en silos.....	65
5.3.3	Compostaje en superficie.....	65
5.4	Tipos de compostaje.....	65
5.5	Materiales para la producción de compost.....	67
5.6	Factores que condicionan en proceso de Compostaje.....	69
5.6.1	Temperatura.....	69

5.6.2	Humedad.....	69
5.6.3	pH.....	70
5.6.4	Concentración de oxígeno.....	70
5.6.5	Relación C/N equilibrada.....	70
5.6.6	Población microbiana.....	70
5.7	Compostaje de lodos.....	71
Capítulo VI.....		73
6.	Marco legal e institucional.....	73
6.1	Introducción.....	73
6.2	Texto unificado de legislación ambiental.....	73
Capítulo VII.....		76
7.	Propuesta de investigación.....	76
7.1	Línea base.....	76
7.1.1	Características generales de REE.....	76
7.1.2	Descripción del área en estudio.....	78
7.1.3	Datos del área de estudio.....	79
7.1.3.1	Medio físico (Abiótico).....	79
7.1.3.2	Medio biótico.....	83
7.1.3.3	Medio antrópico.....	84
7.1.4	Generación de Efluentes en la REE.....	85
7.1.5	Generación de Residuos en la REE.....	86
7.1.5.1	Generación de Desechos por Fuente Productora.....	86
7.2	Caracterización de los residuos a tratar.....	88
7.3	Diseño de la propuesta.....	89
7.3.1	Materiales.....	89
7.3.2	Metodología a utilizar.....	90
7.3.3	Control de parámetros de proceso.....	91

7.3.4	Parámetros.....	92
7.3.5	Control de parámetros en campo.....	92
7.4	Análisis e interpretación de resultados.....	93
7.4.1	Caracterización de suelos contaminados de REE.....	93
7.4.2	Fase de laboratorio.....	95
A1.	Protocolo de aislamiento microbiano.....	96
A2.	Preparación de medios de cultivo y materiales de Laboratorio.....	96
A3.	Siembra de microorganismos.....	96
A4.	Identificación de microorganismos.....	96
A5.	Preparación del pool microbiano.....	100
A6.	Pruebas de biodegradación.....	100
A7.	Resultados experimentales de las pruebas de Biodegradación.....	103
A8.	Control de parámetros.....	105
A9.	Cinética del sistema de Biorremediación.....	112
A10.	Variación de HAP's.....	118
A11.	Problemas de la investigación.....	119
7.4.3.	Fase de campo.....	119
7.4.4.	Resultados obtenidos.....	126
 Capítulo VIII.....		128
8.1.	Conclusiones.....	128
8.1.1.	Pruebas de laboratorio.....	128
8.1.2.	Pruebas de campo.....	129
8.2.	Recomendaciones.....	130
BIBLIOGRAFIA.....		132
GLOSARIO DE TERMINOS.....		135
ANEXOS.....		139
Anexo 1: Descripción de la metodología propuesta		

Biorremediación en laboratorio de Lodos de Refinería Estatal Esmeraldas.....	139
Anexo 2: Prueba de Oxidasas.....	142
Anexo 3: Pruebas de Gelatina .....	142
Anexo 4: Pruebas de Nitratos .....	142
Anexo 5: Tabla No 24 Resultados de pruebas de Gram y morfología.....	143
Anexo 6: Identificación del origen de los residuos sólidos.....	150
Anexo 7: Plano del área externa de residuos sólidos en REE, Área de distribución actualizada para almacenamiento, tratamiento y confinamiento de residuos sólidos.....	151
Anexo 8: Análisis de laboratorio inicial de lodos aceitosos extraídos de REE para pruebas de Biorremediación. 8 de mayo del 2009.....	152
Anexo 9: Análisis de laboratorio preliminar de lodos aceitosos extraídos de REE para pruebas de Biorremediación. 20 de agosto del 2009.....	153
Anexo 10: Análisis de laboratorio preliminar de lodos aceitosos extraídos de REE para pruebas de Biorremediación 8 de septiembre del 2009.....	154
Anexo 11: Análisis de laboratorio final de lodos aceitosos extraídos de REE para pruebas de Biorremediación. 30 de septiembre del 2009.....	155
Anexo 12: 2.25. Tabla: Cantidades estimadas de lodos presentes en los tanques para almacenamiento de combustibles en la terminal Pascuales.....	156
Anexo 13: 7.26. Tabla: Tabla No7. Límites permisibles de Lixiviados para la disposición final de lodos y rípios de perforación en superficie.....	156
Anexo 14: 7.27 Tabla: Tabla No 8. A) clasificación de desechos procedentes de todas las fases y operaciones hidrocarburíferas, y recomendaciones de reducción, tratamiento y disposición.....	157

Anexo 15: 7.28. Tabla: Tabla No. 8. B) clasificación de desechos procedentes de todas las fases y operaciones hidrocarburíferas, y recomendaciones de reducción, tratamiento y disposición.....	158
Anexo 16: Fotografías del tratamiento de biorremediación de lodos de REE en campo.....	159
Anexo 17: Fotografías del tratamiento de biorremediación de lodos de REE en laboratorio.....	165
Anexo 18: Hoja técnica de Zeolite-C.....	169
Anexo AA: Protocolos de custodia.....	170



## INTRODUCCION

### TEMA

“Remediación de lodos aceitosos de La Refinería Estatal de Esmeraldas, mediante Compostaje empleando residuos domésticos, en calidad de fuente de nutrientes”.

### OBJETIVO GENERAL

Remediar lodos aceitosos de la Refinería Estatal de Esmeraldas, mediante compostaje de residuos sólidos biodegradables doméstico.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una caracterización físico - químico de lodos aceitosos en estado inicial y en su estado de degradación.
- Estimular el proceso de degradación de lodos aceitosos con el uso de compostaje doméstico.
- Medir las variables operativas para lograr la degradación de lodos aceitosos.
- Definir los tiempos de tratamiento y los parámetros de control.
- Determinar la relación lodos aceitosos - materia orgánica - desarrollo Biológico; ideal para la degradación ideal para el compostaje.

## CAPITULO I

### 1. CONTENIDO TEMATICO.

#### 1.1 INTRODUCCIÓN.

Los derrames de petróleo y sus derivados a nivel mundial, han provocado una severa contaminación. Los compuestos de hidrocarburos son tóxicos para los seres vivos ya que son Mutagénicos, carcinogénicos, y causantes principales de la contaminación del suelo, aire y de los cuerpos de agua. La contaminación por hidrocarburos tiene un pronunciado efecto sobre las propiedades físicas químicas y microbiológicas del suelo, llegando a impedir o retardar el crecimiento de la vegetación sobre el área contaminada, y, en la mayoría de casos alcanza a contaminar los cuerpos de agua subterráneos.

Las técnicas de tratamiento de suelos consisten en la aplicación de procesos químicos, biológicos o físicos a materiales contaminados a fin de cambiar su estado y comportamiento ambiental, cuyas propiedades y concentraciones cumplen la normativa ambiental vigente, por cuanto están dentro de los límites permitidos. Los procesos de remediación de suelos destruyen contaminantes o los modifican a fin de disminuir su peligrosidad además, pueden reducir la cantidad del material contaminado presente en un lugar o remover el componente de los desechos que los hace peligrosos o por último inmovilizarlo.

*(Álvarez, Y. 2009; pág. 1).*

El compostaje es el proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener "compost". El compost o mantillo se puede especificar como el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo. El compost es un nutriente para el suelo que mejora la estructura y reduce la erosión y estimula la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas.

*(Aubert, C et al., 1998, a) (<http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm.a>)*

La tecnología de Biorremediación con Compostaje se basa en la estimulación de la actividad biodegradadora de las poblaciones microbianas presentes en un residuo, mediante la adición de pool bacteriano (microbiano), diseñado “a medida” según las características y exigencias de cada residuo contaminado a tratar y enriquecido en poblaciones microbianas degradadoras de los contaminantes presentes en dicho suelo. Los microorganismos degradadores encontrados en los residuos altamente contaminados suelen desarrollar mecanismos reguladores genéticos que responden a la presencia o ausencia de determinados compuestos contaminantes, teniendo muchos de ellos la capacidad de utilizar los propios contaminantes como fuente de carbono.

Sin embargo, los residuos contaminados suelen tener una actividad microbiana baja, esencialmente debido a la falta de condiciones ambientales favorables, como la baja concentración de materia orgánica, oxígeno, nitrógeno y/o fósforo, etc. Así, la añadidura de pool bacteriano, enriquecidos con poblaciones microbianas biodegradadoras y con un alto porcentaje de materia orgánica biodegradable durante el proceso de tratamiento in-situ, provocará un aumento de la capacidad biorremediadora intrínseca del residuo contaminado, acelerando así el proceso de recuperación de los espacios degradados por la presencia de dichos residuos.

Un tipo especial de residuos con alto potencial contaminante son los lodos aceitosos, producidos en las operaciones unitarias de los procesos de refinación de petróleo, estaciones de almacenamiento de combustibles, estaciones de bombeo entre otras.

Los lodos residuales aceitosos se caracterizan por un alto contenido de asfáltenos e hidrocarburos poliaromáticos recalcitrantes (difíciles de biodegradar), además de un porcentaje alto de metales pesados, azufre y otros compuestos volátiles como: dietanolamina, mercaptanos; que producen malos olores y constituyen un riesgo para la salud del personal el ambiente interno y externo de las instalaciones que las producen.

Los lodos residuales aceitosos son un problema ambiental en todas las instalaciones de procesamiento, almacenamiento y comercialización de

hidrocarburos, este es el caso de la Refinería La Libertad, Refinería Shushufindi, Estación Pascuales, Beaterio, y Refinería de Esmeraldas.

*(Thomas. J. et al. 2001)*

## CAPITULO II

### 2. JUSTIFICACIÓN

La investigación se justifica por cuanto la producción de lodos aceitosos en la actualidad, implica altos costos financieros de tratamiento y elevados riesgos para el ambiente.

Se justifica, por el hecho de que no se ha realizado mayores esfuerzos investigativos por los diferentes estamentos involucrados los cuales no han presentado proyectos de gestión integral de lodos aceitosos, sustentables en los aspectos técnico, económico y ambiental incrementándose los riesgos ambientales por la acumulación de lodos aceitosos.

Se justifica además, porque es responsabilidad de los ecuatorianos; el proponer soluciones a los graves problemas ambientales del país, independientemente de lo que pueda o no hacer el Estado.

#### 2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS LODOS ACEITOSOS A NIVEL MUNDIAL, REGIONAL Y NACIONAL.

La degradación del ambiente, es un tema altamente preocupante, tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados. La erosión de los suelos, deterioro de la calidad de agua, deforestación, declinación en la productividad de los suelos, cambios climáticos, destrucción de la capa de ozono, disminución y alteración de la biodiversidad de los ecosistemas, acumulación de desechos sólidos, son algunos de los problemas ambientales de mayor interés para las comunidades científicas y ambientalistas.

*(Infante, C y Vásquez, P., 2000; Vol. 50).*

El manejo inadecuado de los materiales y residuos peligrosos ha generado a nivel mundial, un problema de contaminación de los suelos y cuerpos de agua. Entre las más severas contaminaciones destacan las que se produjeron y

todavía se producen a causa de la extracción y comercialización del petróleo en todos los países productores de hidrocarburos en América Latina; principalmente en Venezuela, Brasil, México, Argentina, y Ecuador.

Dichas contaminaciones del suelo han provocado un deterioro creciente de las fuentes de abastecimiento de agua potable, ya sea superficial o subterránea.

*(Schmidt Dr. W, et al, 2001)*

Los derrames de petróleo y sus derivados en el ambiente mundial, han incitado una inexorable contaminación del suelo y de los cuerpos de agua. Estos compuestos son tóxicos para los seres vivos ya que son Mutagénicos y carcinogénicos *(Flores y col, 2001)*.

La contaminación por petróleo se caracteriza por su persistencia en el ecosistema, a pesar de los procesos de degradación natural y/o antrópica a los que pueden ser sometidos. Estudios recientes en la zona de Alaska *(Carls y col., 2001)*, donde ocurrió el derrame del Exxon Valdés, muestran concentraciones medias anuales de hasta 62258 mg/kg de hidrocarburos totales (base húmeda) en sedimentos del área. Otra prueba de la persistencia de estos contaminantes es que los perfiles de concentración obtenidos en columnas de sedimentos han servido como archivos naturales para la reconstrucción de descargas históricas antropogénicas *(Santschi y col., 2001)*, lo cual resulta importante para evaluar el éxito de medidas recientes de control de la contaminación.

La contaminación por hidrocarburos tiene un pronunciado efecto sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de un suelo, pudiendo impedir o retardar el crecimiento de la vegetación sobre el área contaminada *(Luque y otros, 1995) (Lieth y Markert, 1990)*.

La solución ambiental adecuada de los residuos sólidos con altos contenidos de hidrocarburos generados durante los procesos de la perforación, extracción y producción del petróleo se encuentra dentro de las prioridades fundamentales de la industria petrolera. *(EPA 2001 a)*.

Entre los principales focos de contaminación por hidrocarburos se encuentra el transporte marítimo. El traslado de materiales es una de las principales fuentes

de contaminación por hidrocarburos de los océanos. De hecho, el grupo de expertos sobre aspectos científicos de la protección del medio ambiente marino de Naciones Unidas (GESAMP) estima que desde los barcos se produce el 37% de la contaminación de este tipo, que se calcula en 457.000 toneladas medias anuales.

La contaminación marina por hidrocarburos desde los barcos se produce de diferentes maneras. Por un lado, existen grandes vertidos debido a los accidentes de buques que transportan fuel. Éste es el caso del Prestige, que provocó el vertido de más de 60.000 toneladas de fuel pesado y una marea negra de grandes dimensiones que dejó más de 2.890 km de costa afectados, cientos de miles de aves impregnadas con crudo y con afecciones a la salud que aún hoy día, permanecen.

Pero los episodios de contaminación no se deben exclusivamente a accidentes. Otro foco muy preocupante es el de los pequeños vertidos frecuentes que se producen desde los barcos sobre todo por fugas, vertidos ilegales u operaciones de rutina como la limpieza de instalaciones y cisternas, que ocurren en alta mar. Éste es el caso de la contaminación de la Bahía de Algeciras que, aparte de otras fuentes de contaminación de origen industrial, soporta gran cantidad de vertidos dado que se trata de la zona de mayor tráfico marítimo de España.

Un estudio científico llevado a cabo por el Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía del CSIC determinó que la contaminación de los sedimentos de la Bahía de Cádiz que estaban afectados por bajos o moderados pero continuos vertidos de hidrocarburos están más contaminadas que los afectados por grandes vertidos accidentales como el del Prestige.

El bunkering es la práctica de transferir combustible de un barco a otro. Una maniobra muy arriesgada porque provoca vertidos de hidrocarburos al mar con mucha frecuencia. Generalmente, se realiza con gabarras de pequeño tamaño que cargan menos de dos mil toneladas.

Sin embargo, en Gibraltar se realiza incluso con buques o “gasolineras flotantes”, que transportan entre 80.000 y 100.000 toneladas, algo que no está

permitido en ningún otro lugar de la UE. Tres son las “gasolineras flotantes” que actúan en Gibraltar. Sólo una de ellas tiene doble casco (como exige la legislación de la UE), Europa Supliré de Bunker Gibraltar.

Ni el Europa Venture, el Bunker Gibraltar, ni el Vema Baltic de Vemaoil podrían entrar en ningún otro puerto comunitario.

La Bahía de Algeciras ocupa el cuarto puesto mundial en volumen de bunkering. Anualmente se transfieren 6 millones de toneladas de combustible, dos en la parte española y 4 en la gibraltareña.

Del fuel comercializado en Gibraltar, el 40% es suministrado por la refinería de CEPESA de San Roque, que lo vende a través de su filial gibraltareña. La situación de incumplimiento de la legislación europea por parte de Gibraltar está convirtiendo la Bahía de Algeciras en una zona absolutamente degradada ambientalmente e insalubre. *(Lu Chau Thelmo 2003).*

La gestión de lodos aceitosos en la EU y algunos países como Alemania utilizan técnicas de Biorremediación y procesos físico - químicos como la incineración, que ha sido la principal tecnología de gestión de lodos aceitosos y que hoy en día por sus altos costos y por el alto índice de contaminación que elimina al ambiente se han tomado medidas para que se utilicen técnicas más amigables con el medio ambiente y más económicas, otras técnicas con frecuencia como el encapsulamiento, vidriado entre otras aunque son de alto costo es la solución más rápida que se le da a un residuo altamente contaminante como los lodos aceitosos y de hidrocarburo.

*(Gualoto M, Dr. 2008).*

## **2.2 LODOS ACEITOSOS A NIVEL REGIONAL.**

En América Latina; principalmente en Venezuela, Brasil, México, Argentina, y Ecuador, se han aplicado diversas técnicas, con variado índice de éxito para contrarrestar el efecto de la contaminación por lodos aceitosos. Sin embargo, no se ha elaborado una guía que permita analizar la eficacia, costos, así como

las ventajas y desventajas de la aplicación de dichas técnicas en México y otros países.

Una de las prácticas más comunes que se ha realizado en el pasado, consiste en la utilización de encapsuladores para estabilizar presas de crudo. Estos productos absorben el hidrocarburo y lo retienen en su estructura interna.

Pero, la mayoría de los encapsuladores no contienen algún componente que lleve a cabo la biodegradación con el fin de descomponer el petróleo encapsulado. Además de que ciertos contaminantes como los son algunos compuestos orgánicos no polares (aceites y grasas, hidrocarburos aromáticos, halogenados), así como algunos compuestos orgánicos polares (alcoholes, ácidos orgánicos) pueden retardar o inhibir la hidratación adecuada de los encapsuladores evitando su correcta cementación o endurecimiento.

En otros casos, se han aplicado productos a base de detergentes, con el objeto de hacer un lavado del suelo y así separar la matriz (suelo, sedimento o agua) del lodo aceitoso a un costo considerable. Los surfactantes sintéticos frecuentemente aplicados en el lavado de suelos, debido a su alta solubilidad, movilizan contaminantes orgánicos adsorbidos al suelo.

No obstante, ellos tienden a inhibir la actividad microbiológica sobre las moléculas del contaminante. Con esta técnica, más de 100 sitios han sido remediados en el Oriente Ecuatoriano en buena medida, pero sin tomar en cuenta los inmensos costos subsiguientes relacionados con el tratamiento, limpieza y utilización final del crudo bombeado desde estas presas para su reincorporación en el ciclo productivo.

En México se ha ampliado esta tecnología para la limpieza de 45,000 ton de sedimentos contaminados por lodo aceitosos e hidrocarburos en cooperación entre PEMEX y una empresa alemana especializada en estos servicios.

En varios sitios contaminados con lodos aceitosos se ha aplicado la Biorremediación como metodología de tratamiento, la misma que presenta problemas con resultados regulares debido a dificultades en la estimulación de las bacterias y del monitoreo continuo de los sitios pese a ello son experiencias promisorias.

Tecnologías como el proceso de incineración, la desorción térmica, extracción con vapor o la vitrificación resultan demasiado costosas y/o ecológicamente incompatibles para considerarse como una solución viable.

*(Schmidt Dr. W, 1999).*

En la República Argentina, mediante técnicas de Biorremediación o biológica para tratamiento tanto in-situ como ex-situ, se ha dado buenos resultados en la degradación de suelos altamente contaminados por hidrocarburos y lodos aceitosos a bajo costo y lograr limpiar el suelo hasta los niveles requeridos por las regulaciones ambientales Argentinas, el desarrollo ha estado especialmente orientado al tratamiento de suelos con alta concentración de hidrocarburos en experimentos de laboratorio y de campo.

Se ha partido de lodos aceitosos con concentraciones de hidrocarburos totales en algunos casos superiores al 20 % (peso/peso) y en la mayor parte de los casos se ha trabajado estimulando la población microbiana autóctona. También se han realizado experiencias de inoculación con cultivos mixtos definidos de bacterias, levaduras y hongos.

Se ha observado una mineralización creciente del hidrocarburo hasta prácticamente desaparecer al cabo de 18 meses de tratamiento. En todos los casos ha habido desarrollo de vegetación espontánea después del tratamiento.

*(Ercoli, E.C, et al. 2000).*

No se ha podido encontrar mayores datos sobre la gestión de lodos aceitosos a nivel público y privado, ya que la mayoría de información en textos y trabajos realizados se basa en Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

### **2.3 LODOS ACEITOSOS A NIVEL NACIONAL.**

Desde los años setentas que se descubrió petróleo en nuestro país, el Ecuador se convirtió en un país explotador y exportador de petróleo, para lo que se han construido varias refinerías donde se procesa el crudo y se obtienen los derivados necesarios para el desarrollo de la industria nacional. Justamente en

estas refinerías y en las estaciones de bombeo, almacenamiento y comercialización de derivados de hidrocarburos, es donde se generan ingentes cantidades de lodos aceitosos. La cantidad de lodos aceitosos generados en el Ecuador crece diariamente, no así las metodologías de tratamiento y gestión ambiental, generando graves riesgos para la salud ambiental; factor que hace imperioso la toma de decisiones en cuanto a la generación de un programa nacional de gestión de residuos industriales, impulsado por el Estado y apoyado por todas las industrias del sector hidrocarburífero.

A continuación presentamos una breve descripción de la situación de los residuos industriales y lodos aceitosos en las principales estaciones de almacenamiento y refinerías de le Ecuador.

### **2.3.1 COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSHUFINDI**

El Complejo Industrial Shushufindi (CIS) geográficamente se localiza en la Región Amazónica Ecuatoriana, Provincia de Sucumbíos, Cantón y Parroquia Shushufindi.

La Provincia de Sucumbíos que fuera creada por Decreto Ejecutivo en Febrero de 1989, está conformada en la actualidad por siete cantones (Sucumbíos, Gonzalo Pizarro, Cascales, Lago Agrio, Shushufindi, Putumayo y Cuyabeno) y 33 parroquias.

Esta zona corresponde a bosque húmedo subtropical, es una selva extremadamente húmeda debido a la alta pluviosidad de origen convencional y orográfico con una nubosidad casi continua y largos periodos de precipitación diaria. Los suelos del CIS, están conformados por limos inorgánicos de alta compresibilidad, limos inorgánicos no plásticos de baja compresibilidad, arenas limosas no plásticas, suelos típicos de depósitos fluviales. Estos suelos presentan coloraciones que van del café oscuro hasta el gris.

Las condiciones de precipitaciones, temperatura y evaporación de la zona determinan un régimen de de humedad muy alto, superior a 86%.

El Complejo Industrial Shushufindi es uno de los cuatro distritos de los que conforman la Filial PETROINDUSTRIAL de PETROECUADOR (Matriz, Refinería Esmeraldas, Refinería La Libertad y CIS)

Los diversos procesos para refinación de petróleo en el Complejo Industrial Shushufindi (CIS), como en toda refinería generan varios tipos de desechos sólidos y semisólidos que provienen de las unidades operativas y administrativas.

El Complejo Industrial Shushufindi (CIS) operado por PETROINDUSTRIAL, filial de PETROECUADOR, es la encargada dentro del holding, de la industrialización del petróleo tanto de los pozos de la PETROPRODUCCION - Distrito Shushufindi como del gas asociado al Campo Shushufindi y Campo Libertador , para la obtención de productos derivados como diesel, gasolina y gas licuado de petróleo (GLP) principalmente, para su posterior transporte y comercialización a los principales centros poblados a través del sistema de poliductos, tanqueros y camiones para los tanque de GLP.

El CIS procesa actualmente un promedio de 132 m<sup>3</sup>/hora de crudo, para ello utiliza alrededor de 655 Tn/año de productos químicos, tales como ácidos, bases, etc., los cuales deben tener un adecuado manejo, de sus residuos en lo que se refiere al almacenamiento temporal, recolección, transporte y disposición final, de lo contrario pueden causar un grave impacto ambiental, tanto al aire, agua y suelo.

El Complejo Industrial Shushufindi está conformado por tres Unidades de Procesos con sus respectivas capacidades de producción y son: Refinería Amazonas 1 y Refinería Amazonas 2 que con una capacidad de producción de 10.000 BPD cada una, producen Diesel 1 y 2, Gasolina de bajo octano, Jet Fuel y Crudo reducido y la Planta de Gas con una capacidad instalada de 25 MMFPDF (Millones de pies cúbicos de gas natural por día), procesa entre 7 a 8 MMFPDF y produciendo 110 TM de GLP y 120 m<sup>3</sup> de gas residual.

Los residuos peligrosos más notables en el CIS son: **los lodos contaminados con aceites de la Planta de Efluentes**, lodos de la limpieza de tuberías, lodos de la limpieza de intercambiadores, recipientes, colectores, cubetos de tanques de almacenamiento, tanques y químicos gastados, polvos o residuos de

catalizadores, residuos de azufre, sulfuro de hierro, residuos de laboratorio, restos de refractario, coque, residuos de aislamiento térmico, asbesto, equipos usados de protección personal, restos de material quirúrgico.

Para nuestra investigación presenta relevancia la generación de lodos y su caracterización por cuanto los permiten establecer referentes de generación composición y procesamientos, útiles para nuestra el desarrollo de nuestra investigación.

Entre los lodos identificados los de mayor importancia por su composición y cantidad son los lodos e hidrocarburos intemperizados, los mismos que son descritos en la fuente citada.

**a) Lodos e hidrocarburos intemperizados**

Los residuos que son evacuados producto de la limpieza o mantenimiento de los tanques de almacenamiento de crudo y productos limpios, son transportados en tanqueros de vacío (Vacum) y depositados en dos piscinas de crudo y lodos intemperizados, cuyas medidas de largo ancho y profundidad respectivamente son 15 x 5 x 3 m (Piscina 1) y 10 x 10 x 2 m (Piscina 2), por lo tanto su capacidad máxima es de 425 m<sup>3</sup> . Estas piscinas se llenan cada dos años y son evacuadas y limpiadas por personal de PETROPRODUCCIÓN, que efectúa la evacuación de las piscinas en Tanqueros Vacum llevando el residuo para su recuperación a la Planta de tratamiento ubicada en Sacha.

Otro tipo de lodos de importancia para nuestra investigación son los lodos de aguas negras y grises del CIS, por cuanto nuestra investigación se centrara en la Biorremediación de lodos complejos que constituyen una mezcla de todos los residuos generados por la REE y el slop de los procesos de la planta.

**b) Lodos de planta de tratamiento de aguas negras y grises del CIS.**

Las aguas negras conocidas también como aguas servidas, se definen como un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orines procedentes de los vertidos orgánicos humanos o animales y las aguas grises

son aquellas que son usadas para la higiene corporal o del hogar, básicamente son aguas con jabón, algunos residuos grasos de la cocina y detergente biodegradables.

Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

Los sedimentos que se generan en las etapas primaria y secundaria se denominan lodos. Estos lodos contienen gran cantidad de agua (99%), microorganismos patógenos y contaminantes orgánicos e inorgánicos.

La adecuada gestión de estos lodos es vital para lograr mínimos impactos sobre el medio ambiente como consecuencia secundaria de la operación de las plantas de tratamiento de las aguas servidas.

Los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas negras y grises son materiales orgánicos ricos en nutrientes como el Nitrógeno, Potasio y Fósforo, contienen también trazas de metales y pequeñas cantidades de otros elementos y pueden ser tratados como un residuo o como un recurso susceptible de ser utilizado (biosólidos).

Los lodos son líquidos con concentraciones de sólidos que van desde 0,5 a 10 %, es decir están constituidos mayoritariamente por agua. Independientemente del tratamiento o disposición final de los lodos, en la amplia mayoría de los casos será necesaria una etapa de deshidratación a efectos de reducir el volumen y transformarlos en sólidos.

La pérdida de agua de un lodo puede ocurrir en forma natural por acción de la gravedad o en forma artificial por aumento de la gravedad o presión externa, éste método se considera como un tratamiento físico de separación.

En el caso del CIS, en la Planta de tratamiento de Aguas negras y grises se tiene en los tanques sedimentos de lodos en aproximadamente 60 m<sup>3</sup>, que se han acumulado en los casi cinco años de funcionamiento, los cuales serán tratados en lechos de secado que se construirán a finales del 2008.

Los desechos peligrosos del CIS proviene principalmente de desechos de hidrocarburos, desechos sólidos de procesamiento (lodos, tamices moleculares, filtros de arcilla, carbón activado, desechos de productos químicos

aditivos, recipientes de productos químicos, desechos de resinas gastadas), desechos de mantenimiento de unidades y equipos, productos químicos caducados de bodega, etc.

En el CIS se ha construido un Relleno Sanitario a donde deberían ser llevados todos los desechos para su tratamiento, clasificación secundaria, almacenamiento temporal o disposición definitiva en celdas de confinamiento de hormigón armado, según sea aplicable. El Relleno está ubicado en el sector sur oriental del CIS, sobre un terreno elevado no inundable. En el sector se proyecta ubicar un área dedicada a Landfarming y dos Lechos de Secado:

Al Relleno Sanitario llegan desechos sólidos de todas las áreas del CIS, teniendo los siguientes destinos: incineración a cielo abierto de papel y cartones, incineración de ropa y materiales contaminados en un incinerador portátil, deposición en celdas para compostaje de la materia orgánica, confinamiento en relleno de seguridad de químicos caducados, tamiz molecular y carbón activado. *(Valverde, R. Octubre de 2008, a)*

Para tener una idea mas completa de la problemática de los lodos y residuos generados en las actividades hidrocarburíferas, citaremos también el caso de la Refinería de La Libertada que nos brinda información valida para generar una propuesta de investigación técnicamente sustentada en función de la composición cantidades, y problemática ambiental que estos residuos generan.

### **2.3.2 REFINERÍA LA LIBERTAD.**

La Refinería la Libertad y Planta Cautivo se emplazan en el Cantón La Libertad, Provincia de Santa Elena, en un área geográfica conocida como Península de Santa Elena. La Refinería La Libertad (RLL) se localiza en el área Urbana, cerca del área de Playa rodeada por los barrios “La Carioca”, la Base Militar Marañón, el Barrio “Puerto Nuevo” y la Ciudadela” Las Acacias”. El clima es cálido-húmedo, con dos estaciones: la estación lluviosa, que se extiende de enero a mayo, y la estación seca entre los meses de junio a diciembre. La

temperatura promedio es de 21°C (mínima) y de 30°C (máxima), presenta una humedad relativa del 50% en los meses críticos (de enero a mayo), la humedad alcanza el 97% de la humedad media anual respectivamente es 76%; los vientos dominantes tienen dirección Suroeste.

Se registra una precipitación anual es de aproximadamente 1,000 mm, con valores máximos de 70 mm teniendo un promedio de 30 días anuales de lluvia. El sitio tiene una extensión aproximada de 2,7 Ha, considerados desde la calle (NE) adyacente a la Escuela Primaria del Batallón Marañón hasta la excavación existente en la playa, es decir casi 160 m x 170 m, los cuales están considerados en el volumen total de la Refinería de La Libertad.

*(Valverde, R. 2008 b).*

La RLL opera actualmente con tres unidades de destilación primaria, que en la última década fueron sometidas a mantenimiento y sistematización de sus equipos e instalaciones.

En la actualidad produce 45.000 barriles diarios de derivados con una carga anual promedio de 14'850.000 barriles.

La cercanía de las áreas de extracción del petróleo en el interior de la península de Santa Elena y las proximidad del mar para aprovechar el agua para refrigerar sus equipos de fraccionamiento, así como ruta de salida de sus productos, fueron factores decisivos para la ubicación de la primera refinería de petróleo en la libertad.

La RLL también se encuentran dos plantas industriales Universal y Dubb (craking térmico) en que alcanzan una producción de 6000 barriles diarios de derivados de petróleo.

Dentro de la RLL hay otra planta industrial llamada Parsons con una capacidad inicial de refinación de 20.000 barriles diarios, en 1972 la planta industrial comenzó a refinar en crudo oriente.

### **2.3.3 PLANTA CAUTIVO:**

Es la más versátil, compacta, con sus propios generadores eléctricos, integrada por tres calderos de 150 libras de presión cada uno tiene su propia taquería para productos semi elaborados, posee su propia línea submarina para el despacho de diesel y fuel oil y actualmente procesa 9000 barriles diarios de crudo oriente. (*Magazine Petroindustrial N° 1, Agosto 2006*).

Se estima que el volumen de los residuos de hidrocarburos presentes en el sitio es de alrededor de 1000 m<sup>3</sup> de líquidos residuales. .

En las pozas antes usadas como lagunas de oxidación de las aguas servidas del Batallón Marañón se encuentran alrededor de 500 m<sup>3</sup> de líquidos contaminados que constituyen acumulaciones de aguas y residuos aceitosos que probablemente escurrieron desde el interior de la Refinería de La Libertad siguiendo las líneas de flujo hidrogeológicas propias del terreno.

(*Valverde, R. 2008, c*)

Otra fuente de información en relación de generación de lodos aceitosos y residuos industriales del sector hidrocarburíferas es la estación de abastecimiento Pascuales, la misma que brevemente caracterizamos a continuación.

### **2.3.4 TERMINAL PASCUALES.**

El Terminal Pascuales se abastece de combustibles transportados a través de los poliductos Tres Bocas - Pascuales, Santo Domingo – Pascuales y Libertad – Pascuales; este terminal tiene una capacidad aproximada de almacenamiento de 34 millones de galones de combustible, contando para ello con dos plataformas de tanques distribuidas en: Reductora (almacenamiento) con 17 tanques y Pascuales (despacho) compuesta de 8 tanques que distribuyen el combustible a las provincias de Guayas, El Oro, Loja, Azuay y parte de las provincias de Los Ríos, Manabí, Chimborazo y Bolívar. Debido a

los sistemas de transportación utilizados (marítimo y poliductos), los grandes volúmenes de combustible manejados y capacidad de almacenamiento en los tanques presentes en el Terminal Pascuales, sumado al tiempo de permanencia del combustible en los tanques hasta alcanzar el estado de reposo debido a la pérdida de energía cinética, se sedimentan los sólidos (óxidos e impurezas) y decanta el agua contenidos en los combustibles, los cuales se van acumulando con el tiempo, haciendo necesaria la limpieza de los tanques, procesos que generan las siguientes cantidades estimadas de lodos por cada tipo de combustible. (VER ANEXO No 60)

Es importante señalar que debido al origen común, proceso de refinación, secuencia de separación de los combustibles manejados en el Terminal Pascuales y tomando en cuenta que son transportados a través de medios similares, los lodos generados en los tanques serán considerados compatibles y tratados bajo el mismo sistema. (*Sistema de Tratamiento, 2007*)

Otra fuente de información en relación de generación de lodos aceitosos y residuos industriales del sector hidrocarburíferas es la estación de terminal Beaterio, de la cual hablaremos a continuación.

### **2.3.5 TERMINAL BEATERIO**

Las instalaciones del Terminal de Productos Limpios El Beaterio se dividen en dos secciones; administrativa y operativa. Posee una extensión de 27 Ha. De éstas, a espacios verdes pertenecen 12Ha. y las 15Ha. restantes corresponden a la infraestructura física instalada. Actualmente se encuentra en fase de operación, recibe por medio de ductos productos limpios derivados del petróleo, los almacena y los distribuye a las comercializadoras mediante llenado de auto tanques, o los envía mediante poliducto a otras ciudades como Ambato.

### **2.3.5.1 SECCIÓN OPERATIVA.**

Dentro de esta sección se encuentran las siguientes áreas.

- Área de Productos Limpios
- Área de Seguridad Industrial y Control Ambiental
- Infraestructura Secundaria

#### **A) Área de productos limpios**

##### **a) Estación reductora**

Esta estación se encarga de recibir los derivados de petróleo transportados a través de los poliductos Esmeraldas y Shushufindi, reduce la presión de los derivados de petróleo de 600 PSI a 700 PSI, y posteriormente se acopian en los tanques de almacenamiento. Esta estación cuenta con dos tanques de alivio y mezcla SLOP, que reciben los productos, para luego de un análisis de laboratorio determinar sus características, y el derivado almacenado se transporta hacia la planta de mezclas.

##### **b) Islas de carga y patio de bombas**

Existen tres islas de carga que en conjunto tienen catorce brazos de carga, y junto a ellas existe el brazo quince que funciona con un sistema mecánico que descarga dos veces a la semana destilado de petróleo en el caso que sea requerido. Aproximadamente se abastecen de 115 a 120 vehículos que requieren un promedio de 1'150.000 galones en 8 horas (ABRUS, Julio 2006), cuyo proceso consiste inicialmente en la manipulación de medidores e impresoras, luego la conexión de la manguera y equipos de carga y finalmente el llenado del auto tanque. Para el despacho se cuenta con 14 bombas operativas, el tipo de producto que maneja cada una se detalla a continuación.

##### **c) Estación de bombeo**

Esta estación se encarga de enviar combustible hacia Ambato a través del Poliducto Quito-Ambato, cuyo sistema es controlado desde un cuarto de control. El bombeo está compuesto por tres bombas con sus respectivos motores de combustión a diesel.

El volumen de bombeo es de 450 bls/h, y se lo realiza de dos a tres horas al día, para el abastecimiento de combustibles de las bombas se trabaja con dos tanques de combustible dispuestos en cubetos de concreto con sistemas de canales perimetrales y válvulas de cierre conectados al sistema de drenaje que conduce las aguas al API del Terminal. (ABRUS, Julio 2006, a)

En esta estación se ve la presencia de canales perimetrales por los que se descargan las aguas hacia la piscina API.

**d) Área de la planta de jet fuel y mezcla**

También existe la planta de mezclas, donde la gasolina súper de 90 octanos se junta con la nafta base de 60 octanos. Para este proceso existe un tanque colorante, válvulas, medidores, 4 bombas y la tubería e instrumentación.

**e) Tanques de almacenamiento**

Existen 17 tanques de diferente capacidad, localizados dentro de los cubetos de hormigón. Además se cuenta con canales perimetrales por los que se descargan las aguas hacia la piscina API, así como también existen dos tanques de 1 500 galones de gasolina, súper y diesel, para consumo interno.

**f) Tratamiento de aguas industriales**

La Terminal cuenta separador API de aguas industriales provenientes del drenaje de tanques, de la limpieza de las islas de despachos y bombas, además de aguas contaminadas con aceite y/o combustibles. El separador está constituido por dos cámaras, sus dimensiones son aproximadamente 1.07m de profundidad, 13.20m de largo y 2.15m de ancho por cada una de las piscinas que lo componen; tiene una capacidad aproximada por piscina de  $30.35\text{m}^3$  que equivalen a 8029.1 GLS, dando un total de 16.058 GLS para el separador. En esta instalación se separa el aceite del agua por gravedad; el agua así separada se descarga fuera de la Terminal en el drenaje natural.

En el caso de que el separador tenga que contener un derrame (no muy grande) se toma en cuenta también las dos entradas del separador de:

2.15 m\* 0.98 m \* 1 m cada una con una capacidad de 2.1 m<sup>3</sup> dando un total aproximado de 1.110 GLS más. La API en su entrada tiene un sistema de válvulas que permite el desvío de las aguas residuales hacia el drenaje por el sector oriental.

#### **g) Piscina de lodos**

La piscina de lodos posee las siguientes dimensiones: 30m de largo\*20m de ancho\*1.5m de profundidad. Con capacidad total para 900m<sup>3</sup> de sedimentos, lodos, emulsiones y aguas. (*Álvarez Y. Marzo 2009, b*)

### **2.3. SITUACIÓN ACTUAL EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

De acuerdo a los registros de la Dirección de Medio Ambiente del Municipio de Quito existen 303 establecimientos cuyas actividades productivas generan descargas líquidas al ambiente, de ellas un 30 %, es decir 90 industrias, tienen tratamientos de tipos físico-químicos y biológicos. El resto de industrias no han instalado sistemas de tratamiento o presentan soluciones alternativas.

De las visitas efectuadas a algunos de estos establecimientos, se pudo apreciar que no existen registros de generación de lodos ni se realizan análisis de caracterización de los mismos, con pocas excepciones. Dado que uno de los objetivos del proyecto fue conocer la cantidad de lodos generados, no fue posible cumplirlo por lo señalado anteriormente. Sin embargo, basándose en información sobre la caracterización de aguas residuales presentada por las industrias, se ha estimado la generación de 5 ton/día de lodos en base seca, sin considerar la adición de sólidos por los tratamientos de depuración de aguas.

### **2.4. ESTRATEGIAS GENERALES DE MANEJO**

Las estrategias generales deben contener acciones de: prevención, reúso o revalorización y disposición ambientalmente adecuada de los mismos. Para conseguir esto, se propone un modelo que establece las acciones que deben

tomarse en cuenta en el caso de la generación de lodos al tratar las aguas residuales industriales no domésticas.

**La prevención** consiste en reducir potencialmente la generación de lodos al reducir la contaminación y uso del agua en la fase de la producción. Casi todas las industrias tienen un potencial de optimización de las cantidades y calidades de los lodos generados. Por la diversidad y la estructura particular de cada una de ellas, la optimización requiere de un análisis individual. La prevención de la generación de lodos, se puede lograr tomando medidas regulatorias que incentiven a los sectores industriales generadores a aplicar programas de producción limpia, a reciclar materiales y/o subproductos generados en el proceso o a modificar los procesos de producción que minimicen la generación de estos residuos.

**El reuso o revalorización** del agua y/o contaminantes como de los lodos generados se puede lograr reciclando el agua, metales u otros materiales residuales o generados en los procesos de producción. Dependiendo de la composición y tipo de lodo, puede reciclarse para recuperar ciertos materiales presentes (de ser necesario adecuarlos según los requerimientos del proceso), utilizarse como fertilizante para mejorar suelos (en terrenos autorizados por la autoridad competente) aquellos que cumplan con características determinadas por la autoridad correspondiente, ya sea en forma cruda o después de algún tratamiento o aprovechar su contenido energético. Los lodos orgánicos a partir de un mínimo poder calórico, pueden ser incinerados para recuperar la energía, generando electricidad o produciendo vapor (principio desecho-a-energía), pero restringiendo aquellos que no pueden ser eliminados por este procedimiento, debido a las características de sus componentes.

**El tratamiento** de aguas residuales usando metodologías adecuadas o conocidas como neutralización, filtración, precipitación, evaporación, oxidación, etc., permite que esta puedan ser evacuadas a la alcantarilla, una vez que sus parámetros estén dentro de los límites establecidos por las reglamentaciones ambiental del ramo, mientras que el lodo generado y que no pueda ser

revalorizado tiene que ser dispuesto finalmente de manera ambientalmente adecuada y segura. Los lodos pueden ser sometidos a tratamiento cuya metodología dependerá de sus características, su contenido de humedad, contenido de nutrientes y contenido de carbono, así como de la presencia de sustancias peligrosas tóxicas, tales como metales pesados, PCBs, compuestos organoclorados y organofosforados, etc.

La disponibilidad de tecnologías, eficientes de alto rendimiento, bajos costos operativos y eficiencia ambiental es sin duda una de las condiciones fundamentales para el tratamiento de lodos industriales residuales de distinta fuente.

**Disposición final.** En general, se debe considerar la disposición final como la última opción dentro de una estrategia general de manejo de lodos. La disposición dependerá del tipo de lodo. Los sitios de disposición deberán contar con sistemas técnicos de operación y diseño sencillos, con mínimos requerimientos de operación, control, supervisión y mantenimiento.

Como estrategia para conseguir estos propósitos, se deberá realizar lo siguiente:

- Aplicar un concepto de manejo basado principalmente en la separación de los diferentes tipos de lodos y control de las actividades de la disposición tales como: calidad de lodos aceptados que cumplan totalmente con los requisitos exigidos en el lugar de la disposición para evitar generar emisiones secundarias de subproductos (gases, agua), registro, monitoreo, análisis de lixiviados, etc.
- Disponer en forma separada los lodos incompatibles o de diferente calidad, para evitar la mezcla de los diferentes contaminantes
- Tener un sistema especial en las áreas de disposición para lograr drenar, coleccionar y tratar los lixiviados generados.
- Los sitios para disposición final de lodos deben ser cuidadosamente seleccionados, diseñados técnicamente, tomando en cuenta criterios geológicos satisfactorios, hidrología, uso actual y futuro del agua

subterránea, geotecnia, estabilidad de pendientes, protección de la erosión, provisión de servicios, factores socioeconómicos, etc. (ABRUS, Julio 2006, b)

## **2.5. REGULACIONES ACERCA DEL MANEJO DE LODOS.**

De acuerdo al proyecto de Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito, sobre manejo de lodos, el sistema de manejo de este tipo de residuos debe ser organizado, documentado y controlado, para lo cual se debe implementar una serie de regulaciones que definan la clasificación del lodo, valores límite para contaminantes tóxicos y lixiviados, procedimientos para la caracterización de lodos, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final, etc., que permitan realizar un manejo ambientalmente adecuado y seguro, que no cause afectaciones a la salud de la población ni al medio ambiente. La implementación de la reglamentación, del proyecto de ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito, permitirá regular y controlar todas las actividades del sistema de manejo de los lodos en todas y cada una de sus etapas (desde la generación hasta la disposición final) y, sancionar a quienes incumplan con lo establecido para el efecto.

Para la caracterización de lodos se pueden aplicar dos procedimientos, esto de acuerdo a su lugar de generación u origen del residuo.

- El análisis de componentes se puede realizar a través de un balance de masas del proceso generador del lodo utilizando la información de la calidad de materia prima utilizada.
- Análisis de lixiviados (TCLP), consiste en someter a una muestra de residuo a un proceso acelerado de descomposición simulando la situación más crítica que sufrirá al ser depositado en un relleno; en el lixiviado resultante se analiza los parámetros requeridos para su caracterización.

Otros análisis que se deben realizar son:

Análisis de Corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infecciosos (CRETIB) del lodo, para determinar el tipo al que corresponde. Dentro de los procedimientos correspondientes para su análisis deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

- Equipo utilizado para el análisis.
- Normas y métodos aplicados para el análisis.

No se encuentran fuentes de información actualizadas y confiables sobre generación de lodos, volúmenes que se general en cada empresa, que clase de lodos se producen en cada empresas, cuales empresas son la generadoras de lodos en su procesos industriales y que empresas tienen un sistema de gestión de lodos dentro del DMQ. <sup>[1]</sup>

---

<sup>1</sup> La información sobre generación de lodos producidos en DMQ no es actualizada. Nota del Autor

## CAPITULO III

### 3. TIPOS DE LODOS, PROPIEDADES, CARACTERIZACIÓN, LODOS ACEITOSOS.

#### 3.1. INTRODUCCION.

Como resultado del tratamiento del agua residual, se generan lodos que concentran los contaminantes originalmente presentes en el agua transformados o combinados con otros compuestos y que por sus características pueden afectar o no al medio ambiente. Los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales poseen características muy diversas. Algunos lodos denominados biosólidos son susceptibles de ser rehusados o revalorizados como mejoradores de suelos. Otros lodos pueden destinarse a la recuperación y reciclaje de los elementos presentes en ellos o a un rehúso posterior. Así también hay otro tipo de lodos que deben ser destinados a sitios especiales de confinamiento y en ocasiones, de acuerdo a sus características de peligrosidad deben ser manejados como desechos peligrosos.

Según el proyecto de ordenanza para el manejo de lodo en el DMQ (Distrito Metropolitano de Quito), se define como lodo a la suspensión de sólidos en líquidos provenientes del tratamiento de aguas, alcantarillados, fondos de tanques u otros similares sin restricción de componentes y estado.

Además el Proyecto de Ordenanza mencionado, establece las siguientes clasificaciones para lodos.

- A) Lodos Peligrosos (LP).
- B) Lodo No Peligroso (LNP).
  - b1) Lodos asimilables a biosólidos (LB)
  - b2) Lodos asimilables a residuos domésticos (LD)
  - b3) Lodos no asimilables a residuos domésticos (LND)

Las categorías de lodos mencionadas anteriormente se definen y muestran a continuación:

**A) Lodo peligroso:** es aquel lodo que presenta características corrosivas, reactivas, tóxicas, explosivas y biológico infecciosas; las cuales podrían causar daños a la salud humana y afectar al medio ambiente.

**B) Lodo No Peligroso (LNP).**

**b1) Lodos asimilables como biosólidos (LB):** es aquel que por sus características físico-químicas y biológicas, equivalen a las provenientes de las plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas y pueden tener un fin benéfico al reusarlos en aplicación sobre el suelo.

**b2) Lodos asimilables como residuos domésticos (LD):** son aquellos que por sus características físico-químicas y biológicas, no llega a ser catalogado como biosólidos pero puede llegar a serlo mediante un tratamiento adecuado.

**b3) Lodos no asimilables como residuos domésticos (LND):** son aquellos que por sus características físico-químicas y biológicas, no llega a ser catalogado como biosólidos ni podrían serlo después de aplicarles un tratamiento, pero tampoco se catalogan como lodos peligrosos.

*(MDMQ, Proyecto de Ordenanza, Marzo del 2004, a).*

Lodo es un material sedimentable de las aguas residuales en tanques Imhoff, clarificadores (primarios o secundarios), lagunas y en sistemas acuáticos o de tratamiento en el suelo.

Lodo es el residuo del tratamiento de las aguas, que se deposita en el fondo de un decantador, caracterizándose por su alto contenido en agua, siendo variable su contenido en microorganismos según sea su procedencia urbana o industrial.

Son lodos activos aquellos en periodo de floculación o floculados, con una gran flora bacteriana y otros microorganismos capaces de mineralizar la materia

orgánica. Se producen por aireación prolongada de las aguas negras o de gran contenido en microorganismos.

([www.monografias.com/trabajos10/tratamie/tratamie.shtml](http://www.monografias.com/trabajos10/tratamie/tratamie.shtml), a)

### **3.2. CLASES DE LODOS**

Atendiendo a los distintos factores que caracterizan los lodos, se pueden clasificar de la siguiente forma:

#### **3.2.1. POR SU CONTENIDO EN AGUA**

- Lodos líquidos.- cuyo contenido en agua es superior al 80%.
- Lodos plásticos o paleables.- su contenido en agua es inferior al 80%, por lo que pueden ser manejados mediante pala y transportados en camiones de caja abierta.
- Lodos sólidos.- cuyo contenido en agua es inferior al 60%.

#### **3.2.2. POR SU COMPOSICIÓN QUÍMICA**

- Lodos orgánicos
- Lodos inorgánicos
- Lodos tóxicos y peligrosos

#### **3.2.3. POR SU ORIGEN**

- Arenas y detritos.
- Lodos primarios.
- Lodos secundarios. (*Aislabe, J. 1997p. 218, 305, 356, 361*)

#### **3.2.4. POR SU CONTENIDO EN SÓLIDOS**

- En sedimentación libre
  - Frescos.
  - Espesados
  - Diferidos-húmedos.
- Por precipitación química

- Frescos.
- Digeridos húmedos.
- Por filtración.
  - Frescos.
  - Espesados sedimentados
  - Digeridos húmedos
- Lodos activados
  - Frescos
  - Espesados
- Digeridos húmedos

### **3.2.5. POR SU DESTINO FINAL**

- Lodos incinerables.
- Lodos agrícolas.
- Lodos para vertido controlado.
- Lodos para depósito de seguridad.

La cantidad y calidad de los lodos generados por una Planta de Tratamiento dependen fundamentalmente de:

- a) De las características del agua residual tratada.
- b) Del proceso de tratamiento empleado.

*(<http://www.monografias.com/trabajos10/tratamie/tratamie.shtml>, b)*

### **3.3. METODOS MAS FRECUENTES EN EL TRATAMIENTO DE LODOS**

A lo largo de la historia que inicia con la revolución industrial en Inglaterra, la sociedad humana ha venido generando ingentes cantidades de residuos, los mismos que han sido evacuados libremente en el ambiente sin tratamiento alguno. Esta costumbre felizmente ha cambiado en las últimas décadas del siglo XX, bajo el influjo de legislaciones ambientales desarrolladas en países desarrollados y una oleada ambientalista motivada por los cambios severos en el clima mundial. La metodología empleada por excelencia en la gestión de

lodos residuales industriales y aceitosos, ha sido por muchos años, la incineración, técnica que si bien reduce drásticamente el volumen de los lodos, genera problemas de contaminación atmosférica, la concentración de contaminantes en los restos de la incineración (cenizas y escorias), que presentan elevada toxicidad y representan un riesgo considerable para la salud ambiental. Otro factor digno de considerar, es su elevado costo. A manera de ejemplo, en el Ecuador la compañía Weatherford, acantonada en la ciudad del Coca, es una compañía de servicios petroleros dedicada al mantenimiento, lavado y reparación de tubería y maquinaria de perforación; que genera mensualmente 37m<sup>3</sup> de lodos residuales aceitosos, los mismos que eran incinerados por la Cemento Nacional a un costo de 730 USD/m<sup>3</sup>, generando un egreso anual de 324120 USD. (*Estudio de Impacto Ambiental del campamento Base de Weatherford, El Coca, 2005*)

En relación al tratamiento de lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, los procesos más usuales aplicados para su disminución y eliminación, son los siguientes:

### **3.3.1. ESPESADO DE FANGOS**

Antes de proceder a la eliminación o estabilización de los lodos es conveniente, cuando no necesario, proceder a su espesado, del que resultan las siguientes ventajas:

- Reducción del volumen, con el consiguiente ahorro en medios técnicos.
- Homogeneización de los lodos procedentes de varios decanta.

### **3.3.2. DIGESTION DE LOS FANGOS**

**Digestión aerobia.**- Por digestión o estabilización de los fangos se entiende la eliminación en presencia del aire de la parte fermentable de los lodos. La digestión de lodos se aplica con el propósito de producir un compuesto final más estable y eliminar cualquier microorganismo patógeno presente en el lodo crudo.

**Digestión anaerobia.-** Es un proceso que tiene lugar en ausencia de aire, el oxígeno necesario se obtiene de la sustancia tratada, por el cual se los carbohidratos, proteínas y los aminoácidos y grasas se descomponen en metano y CO<sub>2</sub>. La digestión anaeróbica se usa principalmente para estabilizar lodos primarios y secundarios. El proceso convencional de digestión anaerobia se efectúa en dos etapas: la primaria con calentamiento y mezcla, produce la mayor cantidad de gases y la segunda es una etapa de asentamiento tranquilo usada para el almacenamiento, espesamiento del lodo digerido y la formación de un sobrenadante claro. El sobrenadante, rico en material orgánico soluble (DBO hasta 10000 mg/L), se recircula para tratamiento aerobio en la planta y el lodo digerido es extraído para secado y disposición final. Lo ideal sería que el proceso fuera continuo y proveyera dispersión completa e inmediata de los compuestos en el digestor, dando oportunidad de contacto óptimo entre el lodo y los microorganismos.

La digestión anaerobia de lodos también se practica en digestores convencionales de una sola etapa, siendo similar el proceso, pero efectuándose todo dentro de un solo tanque.

En el proceso de digestión anaerobia de tasa baja es el más antiguo, también conocido como convencional o de tasa estándar. En estos digestores los lodos se dosifican intermitentemente al digestor, sin mezcla y sin calentamiento. En el digestor de tasa baja ocurrirá una estratificación de cuatro zonas; capa de espuma, capa sobrenadante, capa de sólidos en digestión activa, y capa de sólidos digeridos e inertes. El sobrenadante y el lodo digerido se extraen periódicamente. Debido a la estratificación y a la carencia de las mezclas, solo un 50% del volumen total del digestor es usado efectivamente, por ello el proceso de tasa baja se usa en especial en plantas pequeñas.

En un digestor de tasa alta, todas las reacciones del proceso de conversión anaerobia de residuos orgánicos ocurren simultáneamente en el mismo tanque. En condiciones de estado permanente la operación debe de estar equilibrada para que no exista acumulación de productos intermedios, lo que depende de muchos factores como la composición del lodo, la concentración, el pH, la

temperatura, y la mezcla; sin embargo generalmente se supone que la tasa de reacción global del proceso esta controlada por la de conversión de ácidos volátiles del metano.

### **3.3.3. DESHIDRATACION DE FANGOS**

Consiste en la eliminación del mayor porcentaje de agua de los lodos tratados, mediante alguno de los siguientes medios:

- Eras de secado
- Lagunas de fangos
- Filtración al vacío
- Centrifugación
- Filtro banda
- Filtro prensa
- Secado, a su vez directo o indirecto. (*Mc Ghee, 6ª edición*)

### **3.4. LODOS INDUSTRIALES.**

Los lodos industriales son los residuos aceitosos procedentes de las operaciones de lavado de tubería, maquinarias y accesorios, mantenimiento y reparación de herramientas de perforación, aceites de corte, residuos de lubricantes y combustibles, lodos residuales del tratamiento de aguas residuales, residuos industriales de otros procesos productivos: papel, aglomerados, metalmecánica, cueros y textiles. (*Teresa, J. 1999, Pag.486*)

De las plantas industriales surgen lodos, que pueden ser extraídos por tratamiento primario y secundario. Se usa la digestión para disminuir las materias volátiles, mineralizar la materia orgánica y lograr la concentración de los lodos. (<http://www.alexanderbonilla.com/files/agua/archivo26.htm>)

La norma de Usos y Disposición Final del Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 47-2000 de la República de Panamá considera como Lodo Industrial al "Lodo generado por instalaciones de tratamiento de aguas residuales

industriales tales como: cervecería, procesadoras de comida, instalaciones químicas, fabricas de pinturas, refinerías de petróleo, fabricación de artículos eléctricos y electrodomésticos, tenerías, industrias electrónicas, galvanoplastia, textiles, fabricación de pulpa de papel, industria de plásticos, instalaciones automotrices, fabricantes de gomas, procesadoras de carnes, pollo, pescado, o cualquier otra actividad industrial que genere lodos.

Además de la industria pueden generarse lodos de proceso como residuo remanente de algún residuo industrial.

*(Norma de Usos y Disposición Final de Lodo. Panamá, 2001)*

Los lodos industriales como es natural tienen una composición que depende del tipo de industria de que se trate. El principio de los lodos industriales tiene un elevado porcentaje de agua dulce (del 45 al 95 %, en función del tipo del lodo), y es muy frecuente que posean iones diversos en disolución, que a veces son tóxicos. Los lodos industriales son de granulometría fina o muy fina los que les proporciona comportamientos muy parecidos a los de la arcilla que arrastran los ríos, si son más o menos inertes o estables, pues en caso contrario se tendrá que añadir las actividades de actividad química o bioquímica que tengan respecto al medio marino. *(Seoáñez M, 2001)*

#### **3.4.1. TIPOS DE LODOS INDUSTRIALES.**

La generación de lodos industriales en procesos de producción en común, sobre todo en los siguientes tipos de industrias: Textil, química, farmacéutica, pulpa y producción del papel; metalmecánica siderúrgica, electro galvanizado, electrónica, procesamiento de alimentos, curtido del cuero, etc. Estos tipos de lodos pueden ser clasificados en función de la toxicidad y la prioridad de manejo, teniendo los siguientes tipos de lodos industriales:

**Prioridad I:** reuso como fertilizante dependiendo de la composición, prevención dependiendo del proceso de generación, relleno sanitario o incineración.

**Lodos orgánicos** con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos, fácilmente biodegradable, prioridad I.

**Prioridad II:** reuso y revalorización dependiendo de la composición, compostaje, incineración o relleno. Lodos orgánicos e inorgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos, los orgánicos no fácilmente biodegradables, prioridad II.

**Prioridad III:** Prevención dependiendo de los procesos de generación del lodo o disposición en monorellenos. *(MDMQ, Proyecto de Ordenanza, Manejo de Lodos, 2004, b)*

Lodos orgánicos e inorgánicos conteniendo contaminantes tóxicos, prioridad III. Los lodos producidos en los procesos de tratamiento de aguas residuales esta compuesto de materia orgánica contenida en el agua residual cruda, en forma diferente, pero también susceptible de descomposición. El lodo primario es un lodo digerible con fuerte olor fecal. La reducción de sólidos volátiles es el criterio usado para medir el rendimiento de los procesos de digestión de lodos. El resultado de la digestión es reducir el contenido volátil a cerca del 50% y de los sólidos aproximadamente un 70% de los valores originales. Los sólidos orgánicos remanentes son de de naturaleza homogénea, relativamente estables, con olor a alquitrán; sin embargo la deshidratación del lodo digerido es difícil.

Los lodos que se producen en los procesos de tratamientos de aguas son principalmente los siguientes:

- Lodos primarios provenientes de la sedimentación de aguas residuales.
- Lodos secundarios provenientes del tratamiento biológico de aguas residuales.
- Lodos digeridos provenientes de los dos anteriores, separados o mezclados.
- Lodos provenientes de la coagulación y sedimentación de aguas y aguas residuales.
- Lodos provenientes de la planta de ablandamiento.
- Lodos provenientes de desarenadores y rejillas. *(Romero, A. 2000)*

### 3.4.2. LODOS ACEITOSOS.

Lodos aceitosos son residuos semisólidos de elevada densidad y con alto contenido de hidrocarburos, como: sólidos congénitos del crudo, hidrocarburos impregnados al suelo, sedimentos de sistemas de contención de hidrocarburos (tanques, fosas, presas, etc.).

*(<http://www.greenpeace.org/espana/contaminacion/contaminacion-refineras>)*

Los lodos aceitosos se originan en los tanques de almacenamiento de crudo, combustóleo, gasóleo y en plantas de tratamiento de efluentes. Los lodos aceitosos están constituidos por parafinas, asfáltenos, agua y material inorgánico este último en pequeña proporción, pero englobado por hidrocarburos que dificultan su separación. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Fango>)

Las características de los lodos varían mucho dependiendo de su origen, su edad, del tiempo de proceso del cual provienen y de la fuente original de los mismos. Todos los lodos crudos tienen un contenido bajo de sólidos (1-6%) por ello, la disposición de su pequeño contenido de sólidos requiere en manejo de un gran volumen de lodo.

El volumen de lodo que se produce en un tanque de sedimentación debe conocerse o estimarse para cuantificar los diferentes componentes del sistema de tratamiento y disposición de los lodos. Dicho volumen depende principalmente de las características del agua residual, del grado de tratamiento previo, del tiempo de sedimentación, de la densidad de los sólidos, del contenido de humedad, del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos.

*(Aislabe J, et al, 2000, pag. 218, 305, 356, 361)*

El lodo se caracteriza por su densidad, concentración de sólidos, viscosidad y sedimentabilidad. La concentración de sólidos totales se determina por secado a 105 °C, y la de los suspendidos por filtración. Cabe distinguir los fijos de los volátiles. En cuanto a la sedimentabilidad, se ensaya en un cono Imhoff de 1 litro durante media hora. En el caso de fangos secundarios, tenemos el IVF (Índice Volumétrico de fangos), que informa sobre el posible esponjamiento.

Finalmente, se puede calcular la resistencia específica a la filtración (torta).  
(<http://es.wikipedia.org/wiki/Fango>)

#### **3.4.2.1. CARACTERIZACIÓN DE LODOS ACEITOSOS.**

Las características de un lodo, pueden definirse mediante el análisis de lixiviados (TCLP) o mediante el CRETIB.

El análisis de lixiviado (TCLP), consiste en someter a una muestra de residuo a un proceso acelerado de descomposición simulando la situación mas critica que sufrirá a ser depositado en un relleno ; en el lixiviado resultante se analiza los parámetros requeridos para su caracterización.

Mientras que el CRETIB es un conjunto de análisis fisicoquímicos de Corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso. Por estos medios se puede precisar la utilidad o peligrosidad de un lodo, para de esta manera darle un uso posterior o una disposición final adecuada.

Dentro de las características importantes de los lodos se encuentran:

- El contenido de sólidos
- El contenido de humedad,
- El contenido de nutrientes,
- El contenido de sustancias químicas y
- El contenido de metales pesados.

Estas características varían con el tipo de operación o proceso de aguas residuales que los produce, así como la contención de agua residual. Se decidió realizar el tratamiento de Biorremediación por compostaje domestico ya que los lodos obtenidos tenían un bajo grado de metales pesados y no se encontraban sustancias químicas toxicas.

Los lodos aceitoso de acuerdo a su formación o dependiendo del tratamiento que se les da presentan diferentes colores, olores, densidades y consistencias. El lodo aceitoso que se obtuvo para el tratamiento de Biorremediación; el lodo

aceitoso obtenido presenta un color negro brillante, con una consistencia pastosa y oleosa, con un olor fuertemente a hidrocarburo.

## CAPITULO IV

### 4. METODOLOGÍAS DE GESTIÓN DE LODOS ACEITOSOS

#### 4.1 INTRODUCCION.

A escala mundial, durante las dos últimas décadas ha surgido una preocupación por el deterioro ambiental y de salud, por los problemas que originan los residuos, y en especial los residuos industriales, con características especiales.

Una adecuada gestión de los residuos comprende las etapas de generación, manipuleo, acondicionamiento, recolección, transporte, almacenamiento, reciclaje, tratamiento y disposición final de los mismos, de manera segura, sin causar impactos negativos al medio ambiente, y con un costo reducido.

En cuanto a los residuos industriales, no se ha abordado en el país un estudio que proporcione datos acerca de generadores, identificación y cuantificación de los residuos, situación que no favorece la formulación de un programa de gestión, ni el dimensionamiento de infraestructura necesaria para el efecto.

Al no existir una infraestructura para el manejo de residuos, los generadores, adoptan cada uno sus conductas de manejo, con sistemas de disposición temporal o definitiva, las cuales generalmente son susceptibles de causar severos problemas inmediatos o tardíos al ambiente en abierta contraposición de la legislación ambiental nacional.

#### 4.2. COMPONENTES DE UN PLAN DE GESTIÓN.

Cualquier programa de gestión lodos aceitosos requiere del desarrollo de políticas estatales definidas y claras, apoyándose en las siguientes estrategias:

- Minimización y prevención
- Valorización
- Eliminación de Residuos
- Protección del medio ambiente
- Colaboración, Flexibilidad, información y comunicación

- Tecnología e investigación.

#### **4.2.1 MINIMIZACIÓN**

Se entiende por minimización el conjunto de acciones que se aplican en un proceso productivo encaminadas a la reducción y segregación en el lugar de origen, de manera que permitan que se reduzcan las corrientes de residuos, tanto en cantidades como en peligrosidad y que como consecuencia se obtenga un resultado positivo para el medio ambiente.

Si a pesar de las acciones de minimización, se llegan a presentar residuos, se debe proceder a tratar de encontrar formas de valorización para los mismos, ya que esto además de ser deseable en el sentido de reducir la cantidad de residuos a tratar o disponer, disminuye la presión que se ejerce sobre los recursos naturales.

Todas las medidas encaminadas a prevenir o valorizar un residuo, deben ser analizadas tanto desde el punto de vista técnico como económico.

##### **Acciones específicas:**

- Establecer para cada empresa un programa de minimización de los residuos, que cuente con metas definidas, el cual debe estar aprobado por la autoridad ambiental.
- Diseñar un plan que permita la evaluación de los logros obtenidos y el seguimiento al programa de minimización establecido. *(Sánchez M, et al 2000,a)*

#### **4.2.2 VALORIZACIÓN**

La valorización comprende acciones encaminadas a aprovechar los residuos, se contemplan en esta línea de acción, el reciclaje fuera del sitio origen de los residuos utilizados por terceros como materia prima y la valoración energética (utilización de los residuos como combustible). El objetivo básico es buscar valor a los residuos y mejorar las actividades relacionadas con la valoración de los productos obtenidos.

**Acciones específicas**

- Definir metas de gestión por la vía .de valorización energética y por vía reciclaje.
- Valorar los residuos peligrosos generados en otros sectores (aceites pilas, baterías).
- Promover el establecimiento de empresas que recuperen y den valorización a los residuos.
- Fomentar el uso de materias recuperadas y la activación de las bolsas de residuos.
- Informar y dar a conocer las opciones de valorización de los residuos.
- Promover la cultura del reciclaje.
- Crear líneas de investigación para el aprovechamiento de los residuos.

**4.2.3 ELIMINACIÓN DEL DESPERDICIO**

En la etapa final de la adecuada gestión de un residuo cuando no se le encuentra utilidad, por lo general se le hace un tratamiento fisicoquímico, incineración, confinamiento en celdas de seguridad o depósitos controlados.

Agotadas las posibilidades de reducción en la fuente, las empresas deben establecer programas específicos para cada residuo. Si no se dan oportunas medidas de manejo particular al interior de las empresas, se dificultarán las medidas o acciones posteriores en la gestión del residuo.

**Acciones específicas**

- Determinar cuales son los residuos que deben ser tratados físicamente, que tipos de sistemas son los necesarios.
- Determinar los lugares para el montaje de celdas de seguridad.
- Determinar cuales residuos pueden ser incinerados y analizar las condiciones actuales de las plantas incineradoras.
- Confinamiento de los residuos en sitios controlados.

#### **4.2.4 PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

En la ciudad hay sitios que han sido tomados para la disposición de residuos estos lugares no tenían un adecuado manejo, ni un control, en cuanto a la disposición por lo que existe la probabilidad de que los componentes ambientales suelo y agua puedan estar contaminados.

##### **Acciones específicas**

- Crear líneas de investigación para determinar el índice de contaminación
- de vertederos agotados o existentes.
- Establecer la base para el desarrollo de una estrategia para la recuperación de los suelos y cuerpos de agua.
- Crear instrumento de planificación y gestión de la información.
- Revisar con los organismos de planificación el ordenamiento de los sitios contaminados y determinar su uso.

#### **4.2.5 INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN.**

Esta línea de acción está orientada hacia el desarrollo de un programa de información, que sea accesible a todas las organizaciones industriales, además se propone crear un ente asesor para la pequeña empresa que tenga como finalidad facilitar a este importante subsector el mejoramiento de su desempeño y el cumplimiento de las normas ambientales aplicables.

Es importante tener un inventario anual o bianual de forma que se pueda contar con datos estadísticos que faciliten la proyección de la generación de los residuos a futuro y permitan proponer ajusten en las metas para la reducción de los mismos.

#### **4.2.6 TECNOLOGÍA E INVESTIGACIÓN**

El mejoramiento continuo debe ser la política básica en la producción de toda empresa, algunas de ellas cuentan con un departamento de investigación y

desarrollo, pero debido a que la mayoría no tienen los recursos para poder implementar programas similares, es importante que el estado promueva la creación de centros de investigación, con los siguientes criterios:

#### **Acciones específicas**

- Desarrollo de un programa para que las instituciones de educación superior hagan parte de los procesos de investigación y desarrollo de nueva tecnología.
- Apoyo logístico y financiero de los sectores públicos y privados para el desarrollo de los programas de investigación en las universidades.
- Es importante que la visión y los hábitos industriales, se orienten a las mejoras del proceso productivo, que cada etapa en la que se generen residuos peligrosos, se analice buscando acciones encaminadas a la prevención que resulten atractivas.
- Si bien es cierto que dado que los costos ambientales no están aún en nuestro país integrados a los costos de producción y que en el momento no son exigencias de la entidad ambiental requerimientos especiales de tratamiento o disposición de residuos, las tendencias internacionales y la necesidad de minimizar los riesgos y el daño ambiental hará indispensable la implementación de medidas.

*(<http://www.alexanderbonilla.com/files/agua/archivo26.htm>, b)*

#### **4.3. PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA E INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS ACEITOSOS.**

A todo lo anterior es necesario incorporar un programa de desarrollo de infraestructura operativa para la gestión de residuos aceitosos. Este programa sintetiza la información de la infraestructura existente y se desarrollan acciones tendientes a definir tratamientos para los residuos no enmarcados en un programa específico.

Por otro lado este programa debe recoger la necesidad de la construcción de sistemas de tratamientos (sistemas de incineración o tratamientos físico-

químicos), sistemas de transferencia, y de disposición de un depósito de seguridad para los residuos generados por el parque industrial de la ciudad o región.

Para que los sistemas de valorización, tratamiento o eliminación puedan ser viables desde el punto de vista técnico o económico, se requiere una cantidad mínima; de no presentarse la cantidad requerida para el montaje de un sistema de tratamiento adecuado, en la ciudad, se contemplará la posibilidad de suscribir acuerdos con los gestores de otras ciudades que estén en capacidad de tratarlos adecuadamente. *(Seoáñez M, 2001, b)*

Para garantizar el éxito de un programa de gestión de residuos aceitosos es necesario un **SUBPROGRAMA DE INFORMACIÓN DE RESIDUOS, a través del cual** la entidad ambiental competente (MAE, Municipios, entre otros) centralice, controle, analice y evalúe la información existente en materia de residuos procedente de las declaraciones, de los generadores. Se dispondrá de documentos de control entre los que podrían estar: autorizaciones de los generadores, registros de los gestores, documentos de control y vigilancias a pequeños generadores.

La información relacionada con el manejo de los residuos peligrosos debe ser recopilada por la entidad ambiental, con base en ella se debe monitorear la efectividad de los planes y plantear alternativas sobre las acciones a seguir.

#### **4.4. SUBPROGRAMA DE COMUNIDAD**

Teniendo en cuenta la premisa que para tener éxito en proyectos que fomentan el desarrollo sostenible se requiere la participación activa de la comunidad, se debe concebir un programa relacionado a los lodos aceitosos y residuos peligrosos debe ser dirigido a todos los públicos.

Para poder alcanzar un desarrollo sustentable se requiere un cambio de actitud que permita a cada uno de los actores tomar las medidas adecuadas en primera instancia para prevenir y minimizar la generación de residuos; estos cambios se consiguen a través de la educación.

### Propuesta de acción

- Conformación de comités ambientales
- Comité de seguimiento de la propuesta de gestión de residuos industriales
- Comité Ambiental Distrital
- Comités de base
- Jornadas de capacitación distritales
- Preparación en mecanismos de comunicación.

*(Sánchez M, et al, 2000, b)*

### 4.5. METODOLOGÍAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS ACEITOSOS

Desde 1900 los procesos de temperatura alta se han empleado para combustión de los sólidos de aguas residuales municipales, época en que la combustión de dichos sólidos era aplicable por su bajo costo y porque las normativas de control para emisiones de gases no existía.

Estos procesos son considerados una alternativa de tratamiento de lodos cuando no hay terreno suficiente para disposición, cuando las normas ambientales son muy restrictivas o cuando se requiere destrucción de material tóxico. La incineración es un proceso de combustión completa. La combustión es la oxidación exotérmica rápida de los elementos combustibles. La pirolisis clásica es la destilación destructiva, reducción o craqueo térmico y condensación de materia orgánica mediante calor o presión en aumento de oxígeno. *(Seoáñez M, 2001, c)*

Es el proceso controlado en cuanto a los factores de temperatura y oxigenación para quemar desechos sólidos y líquidos, considerado como un método de eliminación de residuos, transformando su fracción combustible en materias inertes y gases.

*(Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador Decreto No. 1215)*

En una aplicación natural del proceso de secado, convirtiendo el fango en ceniza inerte, que se puede eliminar fácilmente. Con una deshidratación

adecuada (aproximadamente el 30-5 de sólidos), el proceso es autosuficiente sin necesidad alguna de combustible suplementario, excepto en el calentamiento inicial y control térmico.

Cuando la incineración se utiliza para la reducción del volumen de basura u otros residuos sólidos que tengan un bajo contenido de humedad, conviene incorporar el equipo necesario para la reducción del volumen del lodo del agua residual. Si la incineración se emplea para la reducción del volumen del lodo, es preferible incinerar el lodo sin tratar que el lodo digerido, dado su mayor poder calorífico. *(Aislabie J, et al, 2000,b.)*

La incineración consume energía y también puede llevar a la producción de otros materiales tóxicos como las dioxinas, que requieren de una costosa depuración antes de poder salir a la atmósfera. El arrastre por aire provoca también la emisión al ambiente de pequeñas cantidades de compuestos tóxicos, y según el método utilizado, puede implicar la necesidad de transferencia de materiales tóxicos al carbono activado, que a su vez necesitaría un tratamiento. *(Morris L y Michael A, 1997)*

Entre las metodologías de gestión de lodos aceitosos industriales podemos mencionar a más de la incineración a:

- Confinamiento
- Encapsulamiento
- Vidriado
- Hormigonado y
- Biorremediación

#### **4.5.1. INCINERACIÓN DE LODOS.**

Los lodos procesados por incineración suelen ser lodos crudos desaguados sin estabilizar. La estabilización no es recomendable porque la digestión de los lodos reduce su contenido de sólidos volátiles y su poder calorífico, aumentando así la necesidad de combustible auxiliar.

El valor calorífico de un lodo es función de las cantidades y tipos de elementos combustibles existentes, en tanto que sus elementos combustibles son

básicamente en carbono fijo, el hidrogeno, y el azufre. El azufre en lodos de aguas negras existe en concentraciones muy bajas.

El valor calorífico de un lodo se determina mediante bombas calorimétricas, el ensayo se hace con muestras de 25 g quemadas en un contenedor sellado sumergido en agua. El calor de combustión se determina anotando la elevación de temperatura del baño del agua; en general se considera que se requiere 3,2 kg de aire para liberar 10 MJ a partir del lodo o del combustible suplementario.

El incinerador mas utilizado en los Estados Unidos para incineración de lodos es el horno de pisos múltiples. Dichos equipos son durables de operación relativamente simple y pueden manejar carga de cantidades y calidad variables. El lodo alimentado debe tener un contenido de sólidos superior al 15%. Las cargas medias de torta húmeda son de 40 kg/m<sup>2</sup>h de superficie de piso efectivo, pero pueden oscilar entre 25 y 75 Kg/m<sup>2</sup>h con emisiones a la atmosfera desde los depuradores de vía húmeda inferiores a 0.65 g/Kg de lodo seco tratado.

**El incinerador de lecho fluidizado (proceso por el cual una corriente ascendente de fluido líquido, gas o ambos se utiliza para suspender partículas sólidas)** en un deposito vertical cilíndrico de acero revestido con material refractario, que contiene un lecho de arena y orificios para la alimentación de aire fluidizante para la producción y mantenimiento de una combustión continua.

El primer incinerador de lecho fluidizado para lodos de aguas residuales fue instalado en Estados Unidos en 1962. Normalmente tienen diámetros de 2,5 a 7,5 m con un lecho de arena en reposo de 0,8 m de espesor. El aire para fluidización se inyecta a 20 – 35 kN/m<sup>2</sup> de presión. El lecho se expande hasta aproximadamente un 100% de su volumen en reposo y su temperatura se controla entre 760 y 816 °C mediante quemadores colocados por encima y por debajo del lecho. (Aislabie J, et al, 2000,c.)

#### 4.5.2. CONFINAMIENTO.

Es el conjunto de medidas destinadas a aislar la fuente de contaminación, evitando la salida de lixiviados, polvo y gases y la entrada de aguas superficiales y subterráneas. Algunas de estas medidas son la cobertura, la instalación de barreras y los sistemas de recogida de aguas y lixiviados.

([Http://www.etsav.upc.es/personals/monclus/cursos/1301.htm](http://www.etsav.upc.es/personals/monclus/cursos/1301.htm))

Para residuos de baja y media actividad se usan bidones estándar de acero, que puede blindarse en su interior con hormigón y plomo. Si se inmoviliza con asfalto, cemento o polímeros, la mezcla se puede hacer en el propio bidón, quedando adaptado a el cuando se solidifica. Para residuos de alta actividad, el proceso de embidonado se realiza con técnicas de control remoto, en recintos dotados de blindaje, con sistema de filtración y purificación de aire y con sistemas de detección de radiación provistos de alarmas e indicadores. Los contenedores son de acero inoxidable (aleación Cr-Ni) y de aceros recubiertos de Co, Ti, Pb. (Aislabe J, et al, 2000, d.)

#### 4.5.3. ENCAPSULAMIENTO.

Consiste en aislar los residuos en una matriz que evite su exposición a los posibles agentes que puedan facilitar su dispersión. (Sánchez M, et al, 2000, c)

Ciertas sustancias químicas requieren ser destruidas por incineración a temperaturas por sobre los 1200°C, para convertirlas en no peligrosas. Si los volúmenes para depósitos son insuficientes para permitir la viabilidad de una operación con incinerador a esas altas temperaturas, y si no están disponibles alternativas como el cemento o cal.

Un proceso de encapsulación para el depósito permanente de esos químicos es en celdas de concreto especiales para soportar el considerable esfuerzo interno. Químicos que son sometidos a encapsulamiento son:

- PCB (policlorato de bifenilo)
- OCB (orto cloro fenol)

- Compuestos de mercurio
- Venenos del grupo uno de pesticidas (DDT)
- Capacitadores (reellenos de PCB).

La encapsulación se da un los reellenos sanitarios de clase uno. Con arcilla como la formación geológica en la base del sitio.

Los bloques, de 3.2 (4.6 metros de tamaño, son tirados en la base del barro. El piso, reforzado con una malla (especie de red que forma una completa jaula dentro del concreto), se coloca primero con un espesor de 25 a 30 centímetros. El concreto se deja endurecer durante tres a cuatro días, entonces el bloque es cargado para encapsulación el tambor/capacitador. Cada tambor/capacitador tiene unos 100 mm de espacio entre sí y la próxima unidad, tanto que el concreto está rodeando completamente cada unidad.

Entonces el bloque es cargado, y se hace un diagrama sobre su contenido y su posición relativa, el alambrado de la jaula es inclinado, tendiéndose sobre el tope, y 28 delgadísimas capas de concreto se colocan en la celda; se llenan todas las brechas entre tambor/capacitador.

El bloque está completamente sellado cuando se tapa totalmente la zanja de barro (arcilla). (EPA, 2001, b).

#### **4.5.4. VIDRIADO.**

Los residuos son mezclados con sílice y calentados a temperaturas extremadamente altas, y a continuación refrigerados hasta llegar, preferentemente, a un sólido vidrioso.

Una variación de esta técnica, es usando electrodos de grafito reduciendo los residuos enterrados, seguido de una vitrificación in-situ. Todo sistema de vitrificación emplea algunos tipos de cubiertas para capturar y tratar los humos y vapores emitidos durante la operación. Debido a que estos sistemas utilizan una gran cantidad de energía, estos son costosos, ellos han sido generalmente considerados sólo para altos niveles de radioactivos u otros residuos extremadamente peligrosos. (Pojasek 1979).

#### 4.5.5. HORMIGONADO.

Las técnicas basadas en cemento, generalmente, usan materiales de cemento ordinario de Portland (OPC) con aditivos para mejorar las características físicas y disminuir la percolación de las sustancias sueltas, desde el residuo sólido resultante. El residuo peligroso es mezclado en una pasta con agua y polvo de cemento no hidratado. El mecanismo de estabilización es la formación de productos hidratados desde componentes de silicato y agua. Se forma un gel de silicato de calcio hidratado. Este gel entonces se hincha y forma la matriz de cemento compuesto de fibras de silicato, que actúan como sistema de enclavamiento, y los productos hidratados. (*Birchall, Howard y Bailey, 1978*).

Una serie de compuestos pueden interferir con el proceso de solidificación (*USEPA 1981*). Algunos, tales como sales de manganeso, estaño, cobre y plomo, pueden incrementar los tiempos de fraguado y disminuir, grandemente, la resistencia física. Impurezas tales como materia orgánica, limo (sedimentos) y algunas arcillas, pueden causar demora en el fraguado. Estas impurezas y otros materiales insolubles, bastante finos para pasar por un tamiz de 200 mesh, pueden cubrir las partículas más grandes y debilitar los lazos agua/cemento. Variaciones del proceso básico pueden ajustar las características físicas y químicas atípicas del residuo. Por ejemplo, mientras el agua es esencial para la hidratación y fraguado del cemento, un exceso de agua impediría el endurecimiento. Para residuos líquidos o tipos de pasta, un agente abultador, generalmente, PFA, es adicionado para alcanzar una consistencia aceptable para la adición del cemento. Otro problema frecuentemente encontrado con residuos ácidos es que el cemento, siendo alcalino, primero absorbe la acidez libre y luego comienza a fraguar a un pH cercano a 11.

La adición de OPC a tales residuos es entonces destructiva y muchas veces primero se introduce el limo o PFA para espesar el residuo y alcanzar un pH alrededor de 7. Un mínimo del 10 % en peso, del cemento es generalmente requerido para producir el endurecimiento del producto sólido con la necesaria resistencia mecánica.

Los minerales arcillosos, tales como la bentonita, con su capacidad de intercambio catiónico y gran superficie específica, reaccionarán con los compuestos orgánicos y por lo tanto han sido usados para aumentar el rango de residuos aceptados por fijación a residuos inorgánicos, conteniendo sobre el 5% de ciertos orgánicos, generalmente básicos (*Kupiec 1980*).

Hay muchos tipos de minerales arcillosos pero sólo aquellos con la suficientemente alta capacidad de intercambio catiónico son aceptables. Ejemplos de arcillas son la vermiculita y la montmorillonita las que tienen capacidades de intercambio catiónico en el rango de 130 a 150 meq por 100 g (*Grim 1962, Thang 1974*). El agente de fraguado, usualmente OPC, refuerza la acción de **gelling** de la arcilla y forma un material físicamente estable tal que tiene la habilidad de atrapar y ligar los residuos contenidos.

Ese material residual es convertido en un sólido químico y físicamente estable, similar al suelo, el que es demandado por ser substancialmente insoluble en agua pero esponjoso, con lo que reabsorbe el agua a través de su apreciable extensión.

La cementación puede ser aplicada a residuos que contienen grandes cantidades de sulfato de calcio o sulfito de calcio, tales como el proveniente de la limpieza de lodos del gas combustible o de la desulfuración de lodos.

Una porción del residuo, usualmente 8 a 10% en peso, es calcinado y, luego, re-mezclado con el residuo para absorber el exceso de humedad. El producto resultante es un sólido estable, fácilmente manejable. (*Pojasek 1979*)

#### **4.5.6 Biorremediación.**

El término Biorremediación se utiliza para describir una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos (plantas, hongos y bacterias) para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos a productos metabólicos inocuos o menos tóxicos. Esta estrategia biológica depende de las actividades catabólicas de los organismos, y por siguiente de su capacidad para utilizar los contaminantes como fuente de alimento y energía. Las rutas de biodegradación de los contaminantes orgánicos varían en función de la estructura química del

compuesto y de las especies microbianas degradadoras. El proceso de Biorremediación incluye reacciones de oxidación-reducción, procesos de desorción e intercambio iónico e incluso reacciones de acomplejamiento y de quelación que resultan en la inmovilización de metales. (EPA, 2001, c)

Proceso de tratamiento de residuos que aprovecha el potencial de ciertos microorganismos de degradar y descomponer los contaminantes orgánicos, optimizando a través de técnicas mecánicas y fisicoquímicas las condiciones para la acción microbiológica. (Sánchez M, et al, 2000, c)

Las tecnologías de remediación representan una alternativa a la disposición en tierra de desechos peligrosos que no han sido tratados, y sus capacidades o posibilidades de éxito, bajo las condiciones específicas de un sitio, pueden variar ampliamente. Como ya se mencionó el uso de una tecnología de remediación en particular depende, además de los factores específicos del sitio y de las propiedades físico-químicas del contaminante, de su disponibilidad, de la fiabilidad demostrada o proyectada, de su estado de desarrollo (laboratorio, escala piloto o a gran escala) y de su costo. (EPA, 2001, d)

#### **4.6. CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN.**

Las tecnologías de remediación pueden clasificarse de diferentes maneras, en base a los siguientes principios:

##### **4.6.1. ESTRATEGIA DE REMEDIACIÓN.**

##### **4.6.2. LUGAR EN QUE SE REALIZA EL PROCESO DE REMEDIACIÓN.**

##### **4.6.3. TIPO DE TRATAMIENTO.**

Es importante mencionar que cada una de estas clasificaciones proporciona diferente información acerca de las tecnologías de remediación.

A continuación se describen con más detalle las clasificaciones anteriores:

#### 4.6.1. ESTRATEGIA DE REMEDIACIÓN.

Son tres estrategias básicas que puedan usarse separadas o en conjunto para remediar los sitios contaminados:

**a) Destrucción de los contaminantes:**

Este tipo de tecnología busca alterar la estructura química de los Contaminantes.

**b) Extracción o separación:**

Los contaminantes se extraen y/o separan del medio contaminado, aprovechando sus propiedades físicas o químicas (volatilización, solubilidad, carga eléctrica). (EPA, 2001, e)

**c) Aislamiento o inmovilización del contaminante.**

Los contaminantes son estabilizados, solidificados o contenidos con el uso de métodos físicos o químicos.

#### 4.6.2. LUGAR EN QUE SE REALIZA EL PROCESO DE REMEDIACIÓN.

En general se distinguen dos tipos de tecnologías:

**In situ:** Son las aplicaciones en las que los contaminantes son tratados en el mismo lugar de su evacuación, los contaminantes son removidos del suelo contaminado, sin necesidad de transportarlo a otro lugar, sobre él se adicionan nutrientes (NPK) y microorganismos, para que el proceso de biorremediación se inicie.

**Ex situ:** la realización de este tipo de tecnología, requiere de excavación, dragado o cualquier otro proceso para remover el suelo contaminado antes de su tratamiento que puede realizarse en el mismo sitio o fuera de él.

(EPA, 2001, f)

### **4.6.3. TIPOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

Las técnicas de tratamiento biológico son variadas y se han probado en diferentes países con variados contaminantes y bajo condiciones ambientales muy variadas. Entre las más empleadas podemos citar a:

- Landfarming, en campo abierto, en piscinas, en plataforma cubierta.
- Compostaje, aerobio y anaerobio.
- Pila aireada.
- Bioventeo.
- Fitorremediación
- En biorreactor; aerobio, anaerobio, de lecho fijo o en suspensión.

Independientemente de la metodología de tratamiento biológico, siempre se hace necesario, la implementación de estrategias operativas que aceleran el proceso de biorremediación, incrementando su eficiencia. Las estrategias en cuestión son:

#### **4.6.3.1 BIOESTIMULACIÓN.**

La Bioestimulación implica la introducción de soluciones acuosas (que contengan nutrientes, microelementos y oxígeno) a través del suelo contaminado, para estimular la actividad de los microorganismos autóctonos, y mejor así la Biodegradación de contaminantes orgánicos o bien la inmovilización de contaminantes inorgánicos. (*Infante, C. 2009, a*)

#### **4.6.3.2. BIOAUMENTACIÓN.**

Esta tecnología se utiliza cuando se requiere el tratamiento inmediato de un sitio contaminado, o cuando la microflora autóctona es insuficiente en número o capacidad degradadora. Consiste en la adición de microorganismos vivos, que tengan la capacidad para degradar el contaminante en cuestión para promover su biodegradación o su biotransformación.

El tamaño del unóculo a utilizar depende de la zona contaminada, de la dispersión de los contaminantes y de la velocidad de crecimiento de los microorganismos degradadores. (Infante, C. 2009, b)

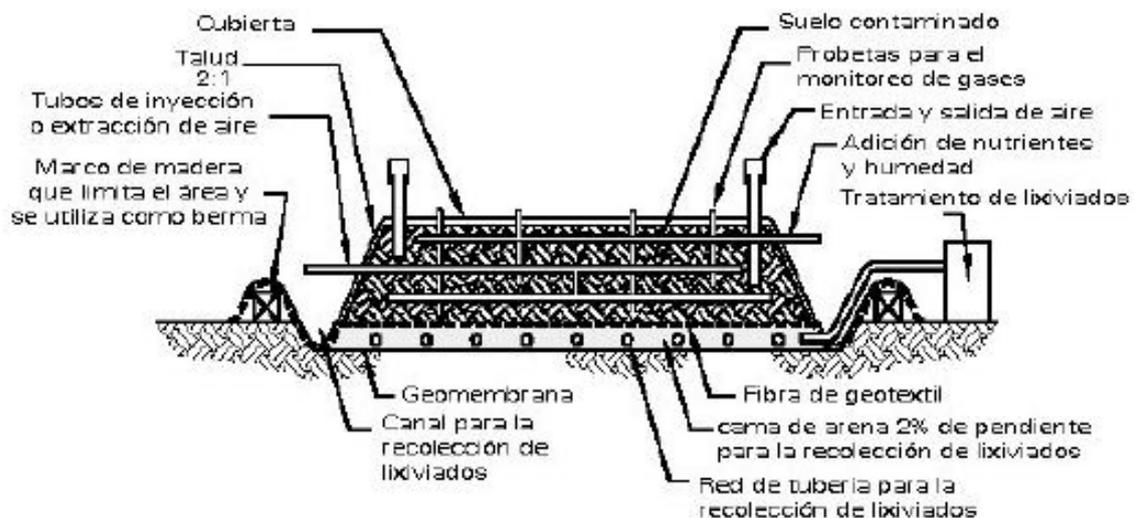
Entre las técnicas de biorremediación más conocidas podemos mencionar a:

#### 4.6.3.3. BIOVENTEO.

El Bioventeo es una tecnología relativamente nueva, cuyo objetivo es estimular la biodegradación natural de cualquier compuesto biodegradable en condiciones aerobias.

El aire se suministra en el sitio contaminado a través de pozos de extracción por movimientos forzados (extracción o inyección), con bajas velocidades de flujo, con el fin de proveer solamente el oxígeno necesario para sostener la actividad de los microorganismos degradadores. (Infante, C. 2009, c)

4.1. Imagen: Esquema del Bioventeo



#### 4.6.3.4. FITORREMEDIACIÓN.

La Fitorremediación o fitoextracción, también conocida fitoacumulación; se refiere a la entrada y traslado de metales y orgánicos del suelo, por las raíces de las plantas hacia la biomasa aérea o parte vegetal. (*Infante, C. 2009, d*)

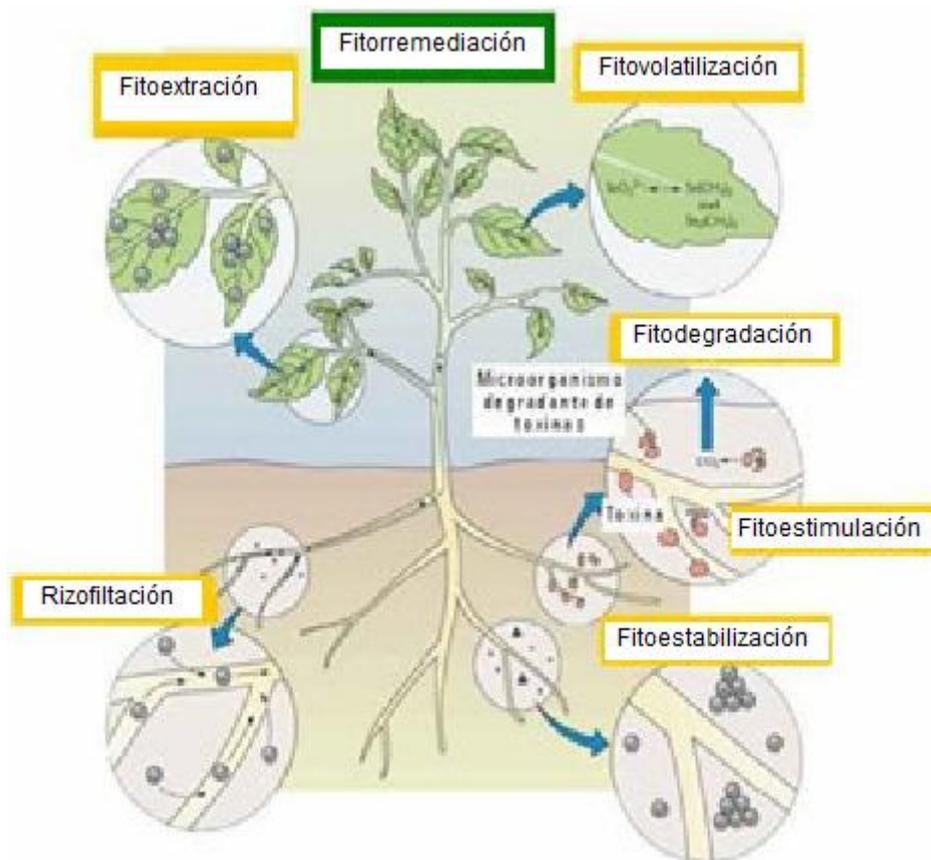
Es un proceso biológico que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelo, lodos, aguas y sedimentos, que puede aplicarse tanto in situ como ex situ. Los mecanismos para la Fitorremediación incluyen la rizo degradación, la fito extracción, la fito- degradación y la fito- estabilización. (*EPA, 2001, g*)

Una vez que el metal es extraído y que las plantas han sido cultivadas por varios periodos para limpiar o recuperar el área impactada, las mismas son cosechadas, incineradas y llevadas a un relleno o el metal es reciclado con propósitos comerciales.

El procedimiento de utilizar diversas cosechas de las plantas es repetida tantas veces como sea necesario para llevar al suelo al límite necesario de limpieza. Exudados de las raíces y actividad en la rizosfera solubilizan compuestos, conllevan a cambios de pH favoreciendo reacciones que permiten la movilización de contaminantes a la solución del suelo y de ahí en las raíces.

Aumento de la volatilización o tasa de transpiración de sustancias contaminantes, con plantas modificadas genéticamente ha sido posible remover mercurio de suelos y trasladarlo hacia el aire. En suelos contaminados con selenio, este mecanismo ha sido utilizado donde el elemento es transformado a selenato y luego a dimetilselenuro. (*Sánchez M, et al, 2000, d*)

#### 4.2. Imagen: Proceso en que ocurre la Fitorremediación.



#### 4.6.3.5. LANDFARMING:

Se lo realiza en los 30 primeros cm del suelo, el desecho o contaminante es mezclado con el suelo, se agregan los aditivos necesarios para que ocurra la Bioestimulación. Es necesario controlar la humedad, para ellos se adiciona agua mediante procesos de humidificación y se usan sistemas de escorrentías que permitan drenar el exceso.

También se puede ser usada para el tratamiento de un desecho acondicionando una celda de biotratamiento con un geotextil o membrana impermeable con sistema de recolección de lixiviados.

Los lixiviados pueden ser trasladados en la misma celda de biotratamiento o llevados a otro sitio para su posterior tratamiento.

Es necesario controlar las dosis de aplicación del desecho en una misma biocelda porque los metales se acumularían.

Esta práctica tiene como ventaja principal su factibilidad de aplicación, sin embargo requiere de grandes extensiones de terreno para generaciones de desecho continuo.

Requiere del control de humedad y aireación para su efectividad. La frecuencia de aireación es de dos veces semanales los dos primeros meses y luego una vez semanal hasta lograr el objetivo o criterios de limpieza. La frecuencia varía el tipo de contaminante. (Sánchez M, et al, 2000, e)

**4.3. Imagen:** Piscinas de Landfarming de experimentación en Argentina.

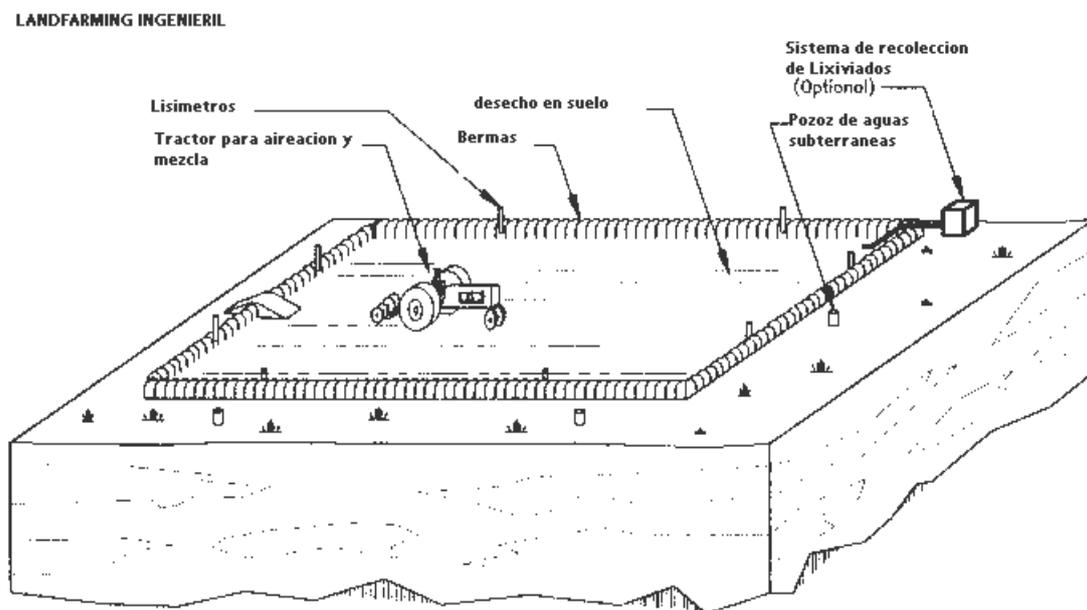


#### **4.6.3.6. LANDFARMING INGENIERIL.**

El Landfarming Ingenieril debe llevar sistemas de geotextil o geomembrana, sistemas de recolección de lixiviados y lisímetros para evaluar y controlar las salidas como efluentes líquidos del sistema, así como bermas para conformar la biocelda. La colocación de pozos de monitoreo es recomendable para evaluar la calidad de las aguas.

El riego es suministrado con camión cisterna acoplado a una boquilla o sistema regular de flujo a nivel de la manguera para impedir erosión del suelo y garantizar homogeneidad en la aplicación. Los fertilizantes deben ser aplicados al inicio en la conformación de la mezcla o biodegradar en las proporciones adecuadas para satisfacer las necesidades metabólicas de los microorganismos. (Sánchez M, et al, 2000, f)

#### 4.4. Imagen esquema de Landfarming Ingenieril



#### 4.6.3.7. COMPOSTAJE.

Es la mezcla de desechos acondicionado con biomasa vegetales y/o animal con el objetivo de dar estructura, porosidad al desecho facilitando la biodegradación.

Se apila el desecho hasta 2-3 m de altura y luego es removido con maquinaria de un camellón a otro para airear. El proceso es aerobio para los compuestos de hidrocarburos.

Su ventaja principal es que requiere menor suelo o ninguno en comparación con landfarming y el material resultante del proceso puede servir como abono orgánico previa evaluación.

Una desventaja es que el volumen del desecho incrementa por la adición de los agentes estructurantes.

Con esta práctica el terreno es recuperado o rehusado lo cual tiene gran aceptación desde el punto de vista ambiental; se pueden controlar de una manera más efectiva los factores abióticos que influyen sobre la biodegradación.

Las pilas de composting deben ser colocadas en lonas impermeables y con leve inclinación para recoger los lixiviados. *(Sánchez M, et al, 2000, g)*

## CAPITULO V

### 5 COMPOSTAJE

#### 5.1 INTRODUCCIÓN.

El compostaje es la degradación biológica controlada de materiales orgánicos, hasta formar un compuesto estable, de color oscuro de textura suelta y olor a tierra similar al humus, denominado compost. El proceso puede llevarse a cabo por vías aerobias o anaerobias.

El compostaje aerobio acelera el proceso de descomposición del material orgánico y permite obtener altas temperaturas, necesario para la destrucción de patógenos, mientras que el anaerobio va siempre acompañado de malos olores que no se presentan en el primero, razón por la cual es poco común hacer compostaje. El proceso de compostaje busca tres objetivos fundamentales.

- La conversión biológica del material orgánico putrescible en un compuesto estable.
- La destrucción de patógenos gracias a las altas temperaturas alcanzadas.
- La reducción másica del material húmedo, a través de la remoción de agua y de sólidos totales volátiles. (*Aislabe J, et al, 2000, e.*)

El compost se puede definir como el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo. El compost es un nutriente para el suelo que mejora la estructura y ayuda a reducir la erosión y ayuda a la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas. Al favorecer la fermentación aeróbica (con oxígeno) de residuos orgánicos como restos vegetales, animales, excrementos y purines, por medio de la reproducción masiva de bacterias aerobias termófilas que están presentes en forma natural en cualquier lugar (posteriormente, la fermentación

la continúan otras especies de bacterias, hongos y actinomicetos). Normalmente, se trata de evitar (en lo posible) la putrefacción de los residuos orgánicos (por exceso de agua, que impide la aireación-oxigenación y crea condiciones biológicas anaeróbicas malolientes), aunque ciertos procesos industriales de compostaje usan la putrefacción por bacterias anaerobias.

La tecnología de Biorremediación con compostaje se fundamenta en la estimulación de la actividad biodegradadora de las poblaciones microbianas presentes en un suelo contaminado, mediante la adición de un compost, diseñado “a medida” según las características y requerimientos de cada suelo contaminado a tratar y enriquecido en poblaciones microbianas degradadoras de los contaminantes presentes en dicho suelo. Los microorganismos degradadores presentes en suelos altamente contaminados suelen desarrollar mecanismos reguladores genéticos que responden a la presencia o ausencia de determinados compuestos contaminantes, teniendo muchos de ellos la capacidad de utilizar los propios contaminantes como fuente de carbono.

Sin embargo, los suelos contaminados suelen tener una actividad microbiana baja, básicamente debido a la falta de condiciones ambientales favorables, como la baja concentración de materia orgánica, oxígeno, nitrógeno y/o fósforo, etc. Así, la adición, durante el proceso de tratamiento in-situ de los suelos contaminados, de compost diseñados “a medida”, enriquecidos en poblaciones microbianas biodegradadoras y con un alto porcentaje de materia orgánica biodegradable, provocará un aumento de la capacidad biorremediadora exclusiva de cada suelo contaminado, acelerando así el proceso de recuperación de los suelos contaminados. (Thomas J. et al. 2001, b).

## **5.2. EL PROCESO DE COMPOSTAJE.**

El proceso de composting o compostaje se divide en cuatro períodos, atendiendo a la evolución de la temperatura:

### **5.2.1. MESOLÍTICO.**

La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH. (Aubert, C, et al 1998, b), (<http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>, b ).

### **5.2.2. TERMÓFÍLICO.**

Cuando se alcanza una temperatura de 40 °C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60 °C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosa.

### **5.2.3. DE ENFRIAMIENTO.**

Cuando la temperatura es menor de 60 °C, reaparecen los hongos termófilos que re invaden el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40 °C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.

### **5.2.4. DE MADURACIÓN.**

Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus. (Aubert, C, et al 1998, c), (<http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>, c ).

## **5.3. FABRICACIÓN DE COMPOST.**

Desde hace muchos años, los jardines han usado el compost para mejorar la tierra. Hoy en día también es una manera importante de reducir la basura que se quema o se añade en los vertederos públicos. Los desperdicios de jardines y cocinas constituyen hasta 20 por ciento de la basura producida por una familia. La compostación es una manera eficaz de reciclar estos desperdicios.

Por eso es una manera simple pero importante de mejorar la calidad de vida de nuestras comunidades y el medio ambiente. La energía para el proceso de compostación proviene de la luz solar capturada por las plantas. El compostaje proporciona los mismos beneficios si se produce en un montón caliente cuidadosamente atendido o en un montón descuidado de descomposición lenta. (Craig G, et al. 2000)

### **5.3.1. COMPOSTAJE EN MONTÓN.**

Es la técnica más conocida y se basa en la construcción de un montón formado por las diferentes materias primas, donde se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

#### **A) Realizar una mezcla correcta.**

Los materiales deben estar bien mezclados y homogeneizados, por lo que se recomienda una trituración previa de los restos de cosecha leñosos, ya que la rapidez de formación del compost es inversamente proporcional al tamaño de los materiales. Cuando los restos son demasiado grandes se corre el peligro de una aireación y desecación excesiva del montón lo que perjudica el proceso de compostaje. (Aubert, C, et al 1998, d),

Es importante que la relación C/N esté equilibrada, ya que una relación elevada retrasa la velocidad de humificación y un exceso de N ocasiona fermentaciones no deseables. La mezcla debe ser rica en celulosa, lignina (restos de poda, pajas y hojas muertas) y en azúcares (hierba verde, restos de hortalizas y orujos de frutas). El nitrógeno será aportado por el estiércol, el purín, las leguminosas verdes y los restos de animales de mataderos. Mezclaremos de manera tan homogénea como sea posible material pobre, ricos en nitrógeno, materiales secos y húmedos.

#### **B) Formar el montón con las proporciones convenientes.**

El montón debe tener el suficiente volumen para conseguir un adecuado equilibrio entre humedad y aireación y deber estar en contacto directo con el

suelo. Para ello se intercalarán entre los materiales vegetales algunas capas de suelo fértil. La ubicación del montón dependerá de las condiciones climáticas de cada lugar y del momento del año en que se elabore. En climas fríos y húmedos conviene situarlo al sol y al abrigo del viento, protegiéndolo de la lluvia con una lámina de plástico o similar que permita la oxigenación. En zonas más calurosas conviene situarlo a la sombra durante los meses de verano. Se recomienda la construcción de montones alargados, de sección triangular o trapezoidal, con una altura de 1,5 metros, con una anchura de base no superior a su altura. Es importante intercalar cada 20-30 cm de altura una fina capa de de 2-3 cm de espesor de compost maduro o de estiércol para la facilitar la colonización del montón por parte de los microorganismos.

### **C) Manejo adecuados del montón.**

Una vez formado el montón es importante realizar un manejo adecuado del mismo, ya que de él dependerá la calidad final del compost. El montón debe airearse frecuentemente para favorecer la actividad de la oxidasa por parte de los microorganismos descomponedores. El volteo de la pila es la forma más rápida y económica de garantizar la presencia de oxígeno en el proceso de compostaje, además de homogeneizar la mezcla e intentar que todas las zonas de la pila tengan una temperatura uniforme. La humedad debe mantenerse entre el 40 y 60%.

Si el montón está muy apelmazado, tiene demasiada agua o la mezcla no es la adecuada se pueden producir fermentaciones indeseables que dan lugar a sustancias tóxicas para las plantas. En general, un mantillo bien elaborado tiene un olor característico. El manejo del montón dependerá de la estación del año, del clima y de las condiciones del lugar. Normalmente se voltea cuando han transcurrido entre 4 y 8 semanas, repitiendo la operación dos o tres veces cada 15 días. Así, transcurridos unos 2-3 meses obtendremos un compost joven pero que puede emplearse semienterrado. (Aubert, C, et al 1998, e).

### 5.3.2. COMPOSTAJE EN SILOS.

Se emplea en la fabricación de compost poco voluminosos. Los materiales se introducen en un silo vertical de unos 2 o 3 metros de altura, redondo o cuadrado, cuyos lados están calados para permitir la aireación. El silo se carga por la parte superior y el compost ya elaborado se descarga por una abertura que existe debajo del silo. Si la cantidad de material es pequeña, el silo puede funcionar de forma continua: se retira el compost maduro a la vez que se recarga el silo por la parte superior. (Aubert, C, et al 1998, f)

### 5.3.3. COMPOSTAJE EN SUPERFICIE.

Consiste en esparcir sobre el terreno una delgada capa de material orgánico finamente dividido, dejándolo descomponerse y penetrar poco a poco en el suelo. Este material sufre una descomposición aerobia y asegura la cobertura y protección del suelo, sin embargo las pérdidas de N son mayores, pero son compensadas por la fijación de nitrógeno atmosférico. (Aubert, C, et al 1998, g.)

## 5.4. TIPOS DE COMPOST.

El compost se clasifica atendiendo al origen de sus materias primas, así se distinguen los siguientes tipos:

- **De maleza.**

El material empleado es vegetación de sotobosque, arbustos, entre otros, excepto coníferas, zarzas, cardos y ortigas. El material obtenido se utiliza generalmente como cobertura sobre la superficie del suelo (acolchado o "mulching"). (<http://es.wikipedia.org/wiki/Fango>, b)

- **De maleza y broza.**

Similar al anterior, pero al que se le añade broza (restos de vegetación muertos, evitando restos de especies resinosas). Es un compost de cobertura. (Aubert, C, et al 1998, h.)

- **De material vegetal con estiércol.**

Procede de restos de vegetales, malezas, plantas aromáticas y estiércol de équidos o de pequeños rumiantes. Este tipo de compost se incorpora al suelo en barbecho, dejándolo madurar sobre el suelo durante varios días antes de incorporarlo mediante una labor. *(Aubert, C, et al 1998, i.)*

- **Compost tipo Quick-Return.**

Está compuesto por restos vegetales, a los que se les ha añadido rocas en polvo, cuernos en polvo, algas calcáreas, activador Quick Return, paja y tierra.

- **Compost activado con levadura de cerveza.**

Es una mezcla de restos vegetales, levadura fresca de cerveza, tierra, agua tibia y azúcar. Según la época en la que se aporta a la tierra y el cultivo, pueden encontrarse dos tipos de compost:

- **Compost maduro.**

Es aquel que está muy descompuesto y puede utilizarse para cualquier tipo de cultivo pero para cantidades iguales tiene un valor fertilizante menos elevado que el compost joven. Se emplea en aquellos cultivos que no soportan materia orgánica fresca o poco descompuesta y como cobertura en los semilleros. *(Aubert, C, et al 1998, j.)*

- **Compost joven.**

Está poco descompuesto y se emplea en el abonado de plantas que soportan bien este tipo de compost (patata, maíz, tomate, pepino o calabaza).

La elaboración de mantillo o compost está indicada en los casos en que la transformación de restos de cosechas en el mismo lugar es complicada, debido a que:

- Existe una cantidad muy elevada de restos de la cosecha anterior, que dificultan la implantación del cultivo siguiente.

- Se trata muchas veces de residuos muy celulósicos, con una relación C/N alta, lo que se traduce en un bloqueo provisional del nitrógeno del suelo.
- Se trata de suelos con escasa actividad biológica y en los que el proceso de humificación va a resultar lento.

## 5.5. MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST.

**5.1 Tabla:** Materiales y reactivos que se deben y no se deben utilizar para la fabricación del compost

"Marrones"	"Verdes"	Fuentes de microorganismos	No fabrique Compost con
Hojas	Césped	Compost Viejo	Plantas ni hojas enfermas
Plantas muertas	Maleza verde	Tierra	Plantas que están germinando
Paja	Restos de la cocina(no carne, aceites, grasas)	Estiércol de Vaca	Hierbas persistentes (todo tipo de hierbas malas locales)
Papel hecho jirones	Algas de estanques	Estiércol de gallina	Carne, productos lácteos y vegetales cocinados con grasa animal
Flores marchitas	Frió al tacto	Estiércol de Caballo	Corontas de choclo
Restos de madera no tratada, cenizas	Algas marinas	Iniciadores comerciales de Compost	Heces humanos o de mascotas
Restos de frutas			

**Fuentes.** Thomas J. Irwin, et al.

Para la elaboración del compost se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada. Generalmente estas materias primas proceden de:

- Restos de cosechas. Pueden emplearse para hacer compost o como acolchado. Los restos vegetales jóvenes como hojas, frutos, tubérculos, etc., son ricos en nitrógeno y pobres en carbono. Los restos vegetales

más adultos como troncos, ramas, tallos, etc. son menos ricos en nitrógeno.

- Abonos verdes, siegas de césped, malas hierbas, etc.
- Las ramas de poda de los frutales. Es preciso triturarlas antes de su incorporación al compost, ya que con trozos grandes el tiempo de descomposición se alarga.
- Hojas. Pueden tardar de 6 meses a 2 años en descomponerse, por lo que se recomienda mezclarlas en pequeñas cantidades con otros materiales. (Aubert, C, et al 1998,k.) (<http://desarrollosustentable.pemex.com>, a)
- Restos urbanos. Se refiere a todos aquellos restos orgánicos procedentes de las cocinas como pueden ser restos de fruta y hortalizas, restos de animales de mataderos, etc.
- Estiércol animal. Destaca el estiércol de vaca, aunque otros de gran interés son la gallinaza, conejina o sirle, estiércol de caballo, de oveja y los purines.
- Complementos minerales. Son necesarios para corregir las carencias de ciertas tierras. Destacan las enmiendas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, las rocas ricas en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas en polvo.
- Plantas marinas. Anualmente se recogen en las playas grandes cantidades de fanerógamas marinas como Posidonia oceánica, que pueden emplearse como materia prima para la fabricación de compost ya que son compuestos ricos en N, P, C, oligoelementos y biocompuestos cuyo aprovechamiento en agricultura como fertilizante verde puede ser de gran interés.
- Algas. También pueden emplearse numerosas especies de algas marinas, ricas en agentes antibacterianos y antifúngicos y fertilizantes para la fabricación de compost.

(<http://www.etsav.upc.es/personals/monclus/cursos/1301.htm>)

## **5.6. FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE**

Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada.

El compostaje requiere para su funcionamiento óptimo, el control seguimiento de algunas condiciones que tienen incidencia indirecta sobre el proceso, tales como temperatura, pH, aireación, contenido de humedad, relación carbono/nitrógeno, material llenante e inoculo. El compostaje o composteo ha sido una labor simple y tradicional practicada por agricultores y granjeros del mundo entero durante ciento de años, para mejorar las propiedades del suelo.

### **5.6.1. TEMPERATURA.**

Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55 °C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporado.

*(Aubert, C, et al 1998,l),( <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>. d)*

### **5.6.2. HUMEDAD.**

En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60 %. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75-85 % mientras que para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50-60%.

*(Aubert, C, et al 1998, m),( <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>. e)*

### **5.6.3. PH.**

Influye en el proceso debido a su acción sobre microorganismos. En general los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6-7,5).

### **5.6.4. CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO.**

El compostaje mediante un proceso aeróbico, es esencial ya que la concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada.

### **5.6.5. RELACIÓN C/N EQUILIBRADA.**

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el serrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las deyecciones animales y los residuos de matadero. (<http://www.greenpeace.org/espana/contaminaci-n, a>)

### **5.6.6. POBLACIÓN MICROBIANA.**

La compostación lleva a cabo parte del ciclo biológico de crecimiento y descomposición. Para crecer las plantas capturan energía del sol, dióxido de carbono del aire, nutrientes y agua de la tierra. Después de morir, las plantas (y los animales que las comen), se convierten en materia prima para el proceso

de descomposición y de compostación. Los microorganismos, hongos, insectos, gusanos, ácaros y otro animalitos convierten el carbono de las plantas muertas en energía para su propio crecimiento. Al mismo tiempo liberan dióxido de carbono al aire; asimismo incorporan los nutrientes de las plantas en descomposición a sus cuerpos y luego los devuelven a la tierra. Otros microorganismos y plantas utilizan el carbono y nutrientes liberados por este proceso y el ciclo empieza de nuevo.

El material que queda después del proceso de descomposición se parece a la materia orgánica que forma parte del suelo. Retiene agua, nutrientes y hace la tierra más porosa y fácil de labrar. (<http://www.greenpeace.org/espana/contaminaci-n, b>)

### **5.7. COMPOSTAJE DE LODOS**

Existen diferentes formas de realizar compostaje aerobios de lodos, las cuales van desde métodos muy artesanales, hasta procesos que involucran tecnologías de punta, por tanto, costosos. En general todos los métodos de compostaje incluyen las siguientes operaciones básicas:

- 1) Mezclados del material llenante con lodo.
- 2) Descomposición microbiana del material orgánico (compostaje).
- 3) Clasificación o tamizado del material.
- 4) Recirculación del material grueso.
- 5) Curado de material fino.
- 6) Almacenamiento y comercialización.

Aunque el compostaje ha recibido mucha atención, solamente una cantidad pequeña de lodos se procesa de esta manera, sola o en combinación con residuos sólidos, domésticos o municipales; de hecho no es un método alternativo de disposición sino un método de tratamiento para adecuar los biosólidos a su uso en agricultura u horticultura. Por esta razón se utiliza poco, pues resulta más económico usar biosólidos líquidos digeridos, directamente en la agricultura.

Los lodos que pueden ser compostados incluyen tanto lodos digeridos como lodos primarios y secundarios sin digerir. Aunque la digestión de lodos previa al compostaje disminuye la generación de olores, también disminuye los sólidos volátiles disponibles para la descomposición.

Para un compostaje efectivo como proceso de tratamientos de lodos se recomienda tener el compost a 40 °C durante por lo menos 5 días y en cuatro horas de dicho periodo, o por lo menos 55 °C dentro de la pila, seguido de un periodo de maduración para asegurar que la reacción de compostaje logre su culminación.

El compostaje se realiza en dos etapas metabólicas. La primera etapa o de síntesis convierte la materia orgánica en biomasa celular, mientras que la segunda o de respiración endógena, obliga a los microorganismos a metabolizar su propio protoplasma sin reposición del mismo, es decir, al agotamiento exhaustivo de las reservas energéticas de los microorganismos, lo cual conduce a la formación de compuestos inorgánicos simples y estables, considerados el producto final del compostaje.

Los microorganismos ejecutores del proceso pueden ser bacterias, hongos y actinomicetes, capaces de metabolizar sustancias simples y complejas. Las bacterias son las responsables de la mayor degradación del material orgánico, inicialmente a temperatura mesófila, menores de 40 °C, cuando descomponen carbohidratos, azúcares, proteínas y posteriormente a temperaturas termofílicas, superiores a 40 °C, cuando descomponen proteínas, lípidos, grasas y celulosa. Ellas son sin duda las responsables de las altas temperaturas alcanzadas en el proceso. Los hongos están presentes en la fase mesófila, metabolizan celulosa y hemicelulosa, y se desarrolla más hacia la parte exterior de las pilas por su naturaleza aerobia. (*Aislabie J, et al, 2000, f.*)

## CAPITULO VI

### 6. MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL: LEGISLACIÓN NACIONAL, REGIONAL E INTERNACIONAL.

#### 6.1 INTRODUCCIÓN.

La fundamentación legal establece una estructura normativa adecuada que permita el correcto desenvolvimiento de las actividades hidrocarburíferas de todas las operaciones unitarias en el país, establece de manera concreta normas, relativas a los deberes, derechos y procedimientos aplicables a cada caso en particular.

Las regulaciones varían de país en país y en ciertos casos de estado en estado, como es el caso de EE.UU. El nivel de limpieza esta relacionado con el uso de la tierra, uso industria, agricultura o residencial. El nivel de exigencia será mayor en la medida que el riesgo de afectación o probabilidad de causar algún efecto negativo al humano sea mayor.

Es evidente que no existen reglas universales ni extrapolables de un país a otro. La regulación de un país o estado sirven como referencia para otro. Lo recomendable es usar estas como punto de partida y hacer las evaluaciones o investigaciones al respecto que permitan o ser más flexibles o más estrictas con respecto al valor tomado de la literatura. Esto ocurre de esta manera, porque las condiciones climáticas, las características edáficas y hasta la cultura ambiental varía de un lugar a otro. (*Infante, C. 2009, e*)

#### 6.2. Texto Unificado de Legislación Ambiental

**Art. 86.-** Parámetros.- Los sujetos de control y sus operadoras y afines en la ejecución de sus operaciones, para descargas líquidas, emisiones a la atmósfera y disposición de los desechos sólidos en el ambiente, cumplirán con los límites permisibles que constan en el Anexo 2 Parámetros; Valores máximos referenciales y límites permisibles para el monitoreo ambiental interno rutinario y control ambiental, Tabla No. 6.

**6.2 Tabla:** Tabla No.6 del RAHO: Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados para uso industrial.

Parámetros	Unidad	Uso Agrícola	Uso Industrial	Ecosistemas Sensibles
<b>Hidrocarburos totales TPH's</b>	mg/kg	<2500	<4000	<1000
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's)</b>	mg/kg	<2	<5	<1
<b>Cadmio</b>	mg/kg	<2	<5	<1
<b>Níquel</b>	mg/kg	<50	<10	<40
<b>Plomo</b>	mg/kg	<100	<500	<80

**a) Piscinas con crudo y/o agua:**

**a.2)** El crudo residual que no se incorpore a la producción será tratado de acuerdo a su composición y características físico-químicas. Si luego de un tratamiento se logra una mezcla bituminosa estable que no presente lixiviados que afecten al ambiente.

**a.3)** El crudo que no pudiese ser recuperado será tratado en la propia piscina o ex situ de conformidad con el programa o proyecto de remediación aprobado, favoreciendo tecnologías de biorremediación con microorganismos endémicos del sitio en remediación; no se permite la aplicación de microorganismos genéticamente modificados.

**a.5)** Una vez evacuados el crudo y/o el agua, se tratarán el suelo del fondo y las paredes de la piscina conforme lo establecido en el punto a.3) de este artículo, hasta que cumpla con los parámetros y límites establecidos en la Tabla No. 6 del Anexo 2 de este Reglamento, y se rehabilitará el sitio.

La Tabla 7 de la RAHO describe los límites permisibles de lixiviados para la disposición final de lodos y ripios de perforación en superficie.

Los lodos y ripios de perforación, para su disposición final en superficie tienen que cumplir con los parámetros y límites permisibles indicados en la tabla, dependiendo de si el sitio de disposición final cuenta con una impermeabilización de la base o no. El muestreo se realizará de tal manera que

se obtengan muestras compuestas representativas en función del volumen total dispuesto en el respectivo sitio.

Los lodos de decantación procedentes del tratamiento de los fluidos de perforación se incluirán en el tratamiento y la disposición de los lodos y ripios de perforación. Además del análisis inicial para la disposición final, se requiere un seguimiento a través de muestreos y análisis periódicos:

1. A los siete días de la disposición de los lodos y ripios tratados;
2. A los tres meses de la disposición;
3. A los seis meses de la disposición. (VER ANEXO No 13)

La Tabla 8 de la RAHO describe la Clasificación de desechos procedentes de todas las fases y operaciones hidrocarburíferas, y recomendaciones de reducción, tratamiento y disposición.

- A) Desechos caracterizados como peligrosos (conforme a la clasificación de desechos peligrosos del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación; vigente desde 1992). (VER ANEXO No 14).
- B) Desechos no caracterizados como peligrosos:(sujetos a control conforme a este Reglamento). (VER ANEXO No 15).

## CAPITULO VII

### 7. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN:

#### 7.1 LÍNEA BASE

##### 7.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA REFINERÍA ESTATAL ESMERALDAS REE.

La construcción de la Refinería Estatal de Esmeraldas se inició a fines del año 1972 y su operación en 1977. El diseño fue realizado por la compañía Norteamericana UOP con una capacidad de procesamiento de 55615 barriles diarios de crudo procedente de la Región Amazónica Ecuatoriana, con un rango de 27,9 a 28,3 grados API (American Petroleum Institute).

La construcción la realizó el consorcio japonés Sumitomo Chiyoda. La primera ampliación concluyó en el año 1987, en que se instalaron unidades adicionales de Destilación Atmosférica, Destilación al Vacío y Reducción de Viscosidad. La capacidad de procesamiento alcanzada con esta ampliación fue de 90000 barriles diarios, con lo cual se cubriría el déficit de requerimiento nacional de productos limpios proyectados a esa fecha.

La segunda ampliación de la Refinería Estatal de Esmeraldas concluyó en 1997, a partir de la cual se inició técnicamente el procesamiento de crudos con menor grado API, debido a que el Ecuador, a través de las compañías extranjeras inició la producción de crudos semipesados entre 18 y 24 grados API, los mismos que mezclados con el crudo liviano, se obtuvo a esa fecha una calidad promedio para refinación de 25,4 grados API.

El objetivo principal de esta ampliación fue la adaptación de la Refinería Estatal de Esmeraldas para el procesamiento de crudos pesados, y consistió principalmente en la ampliación de la capacidad de refinación de 90000 a 110000 barriles por día, a fin de compensar la pérdida de producción de derivados debido a la disminución

de la calidad del crudo, eliminar el uso del TEL como aditivo en las gasolinas y mejorar la calidad del diesel.

Para este fin, se amplió la capacidad de refinación de las Unidades de Destilación Atmosférica, y se instalaron nuevas unidades como la Unidad Hidrodesulfurizadora de Diesel, además de otras plantas de tratamiento de efluentes, necesarias para cumplir con los requerimientos ambientales.

El diseño de esta ampliación fue realizada por el consorcio de compañías francesas IFP - BEICIP - FRANLAB, y la construcción estuvo a cargo del Consorcio Español Técnicas Reunidas - Eurocontrol.

En la actualidad, la Refinería procesa un petróleo crudo de 23,7 grados API, calidad que varía de acuerdo a la producción y mezcla de crudos transportados por el SOTE, desde los campos petroleros de la Región Amazónica Ecuatoriana.

Los productos terminados que produce la Refinería Estatal de Esmeraldas son:

- Gasolina de 80 y 89 octanos (extra y súper);
- Diesel 1 y 2;
- Jet Fuel;
- Fuel Oil (No. 4 para consumo nacional y No. 6 para exportación);
- Asfaltos; y,
- Azufre.

Existen dos plantas de recuperación del azufre contenido en el crudo, además se obtienen otros productos semielaborados que son utilizados como carga en las diferentes unidades de proceso.

Debido a la dinámica operativa del Complejo Industrial “Refinería Estatal de Esmeraldas”, existen residuos de hidrocarburos que se generan principalmente en los drenajes de los tanques de almacenamiento de crudo y derivados, purgas, drenajes operativos y los provenientes del mantenimiento de las unidades. Esta mezcla de residuos de hidrocarburos denominada “slop” es recolectada y tratada para su posterior reprocesamiento o exportación.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> *En la actualidad esta actividad no se realiza, el slop se viene depositando en piscinas dentro de las instalaciones de refinería. Nota del autor.*

Los diferentes procesos de ampliación, de una u otra manera, se los ha realizado dentro de las superficies originalmente establecidas; sin embargo, recientemente se ha concretado el traspaso de 149 Ha de tierras, que anteriormente pertenecieron a la “Ciudad de los Muchachos”, las que se encuentran junto a la instalaciones principales.

### 7.1.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

En términos generales, la Refinería Estatal de Esmeraldas está ubicada a siete kilómetros de la ciudad de Esmeraldas en dirección sur - oeste, junto a la antigua vía que conduce a la población de Atacames.

Las instalaciones se encuentran a 300 metros del río Teaone, a tres kilómetros del río Esmeraldas y a 3,8 kilómetros del Océano Pacífico, medidos en línea recta teniendo como centro a la Refinería.

El área de influencia operativa de la Refinería Estatal de Esmeraldas cubre una superficie aproximada de 114 hectáreas, ubicada dentro del área definida por las coordenadas UTM siguientes:

PUNTO	NORTE	ESTE
P1	10'104.300	644.500
P2	10'104.600	645.800
P3	10'102.800	646.800
P4	10'102500	645.300

### 7.5. Imagen: Vista satelital de la Planta Industrial de REE.



Elaborado por: Jonathan Arcos. Fuente: Google Earth.

### 7.1.3 DATOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Según el Estudio de Impacto Ambiental de la Refinería Estatal de Esmeraldas, los datos más relevantes del componente abiótico, biótico y social de la zona, pueden resumirse de la siguiente manera:

#### 7.1.3.1 MEDIO FISICO (ABIOTICO).

##### A) Clima

Según datos del INAMHI que opera en la Ciudad de Esmeraldas y que es la más representativa de la zona en estudio, el proyecto está dentro de las formaciones

bio - climáticas propuestas por Cañadas y determinan la formación ecológica con base al sistema Holdridge. La zona corresponde a un clima tropical de alta humedad, con una temperatura promedio de 30°C. El período de lluvias transcurre entre los meses de enero a mayo, siendo el mes de enero el de mayor pluviosidad. El resto del año corresponde a una temporada seca con lluvias leves y esporádicas.

Los vientos predominantes tienen un flujo del noreste y sureste con una velocidad promedio de 2.46 m/s, y se manifiestan marcadamente entre los meses de julio a octubre.

Las instalaciones se encuentran en la zona de vida bosque seco Tropical (bs-T), está construida sobre un terreno con una leve inclinación, en el fondo de un valle pequeño, a aproximadamente 20 a 40 metros sobre el nivel del mar.

La planta está rodeada de colinas entrelazadas recubiertas de vegetación, las cuales alcanzan una altura máxima de 200 m.

## **B) Geología**

Geológicamente la REE se encuentra asentada sobre las siguientes unidades geológicas.

- **Formación Onzole (Mioceno Superior).**

Esta formación pertenece al grupo Daule, litológicamente esta constituido por arcilla café y amarilla, arenas y limolitas estratificadas, su espesor es variable con una potencia 550 m, descansa concordantemente sobre la formación angostura. Aflora al noroeste y al norte de la REE en sectores colinados.

- **Terrazas Aluviales (Cuaternarios).**

Se puede dividir en dos unidades:

- a. Depósitos Colubio – Aluviales, asociados a depósitos de pie de monte

producto de la erosión y posterior acarreo de materiales coluviales por corriente fluviales, alcanzan hasta 20 m de potencia, litológicamente compuestos por arenas, grabas guijarrosas gruesas y limo arenosas; aflora a norte de la REE.

- b. Depósitos de aluviales recientes, asociados al valle del río Teaone, Litológicamente constituidos por limos, arena y graba, su potencia es desconocida, las instalaciones de la REE se asienta sobre esta unidad en su gran mayoría

### C) Geomorfología

Dentro de la zona de estudio de la REE se identificaron las siguientes geoformas:

- **Zonas Fluviales:** son relieves asociados a los procesos de erosión y contaminación del río Teaone, con pendientes inferiores al 5%, morfología ha favorecido para que se desarrollen asentamientos humanos.
- **Zonas Colinadas:** asociadas a las formaciones Onzole, son productos de procesos erosivos diferenciales, con pendientes que van desde el 25% y hasta el 70%.

### D) Suelos

Los suelos que predominan en el área de influencia de la REE se describen a continuación:

- **Suelos Fc (Ustropepts):** suelos ricos en bases, de regiones secas y cálidas. Son suelos de color pardo oscuro, textura arcillosa, de pH neutro o ligeramente alcalino y buena fertilidad, generalmente exhiben grietas cuando secos. Se distribuyen en las pendientes regulares de las partes bajas de mesas y colinas costeras y de pendiente suave de los valles fluviales y llanuras aluviales costeras. El mayor uso está dado en los pastizales tropicales y pueden ser aptos para los cultivos bajo condiciones de riego artificial.

Comprenden los depósitos fluviales limo arcilloso, localizadas en la terrazas altas antiguas y terrazas indiferenciadas, suelos profundos de textura variable, limosos a limo arcillosos con un pH superior a 7 y en ciertos casos con afloramientos de carbonato de calcio.

La parte sur de REE se asienta sobre este tipo de suelo.

- **Suelos Ec (Ustorthents):** son suelos clasificados como Orthents de zonas secas y cálidas. Se distribuyen sobre relieves accidentados de las vertientes de las colinas costeras o también sobre relieves de pendientes suaves. Comprenden los acantilados marinos, con deslizamientos y derrubios en pendientes dominantes de 12% al 25%, pueden encontrarse escombros arenosos y pedregosos.

#### **E) Uso Potencial de los Suelos**

Dentro del área de influencia trazada para la REE se determina cuatro usos del suelo predominante, siendo estas:

- a. **Bosques secos exteriores:** corresponde a un bosque seco tropical influenciado por su cercanía al océano. Para esta unidad se recomienda el mantenimiento de la cobertura vegetal natural.
- b. **Bosques secos interiores:** similares a los anteriores, se encuentran al interior del área de estudio, no recibe la influencia directa del océano. Aquí el mantenimiento de la cobertura forestal es indispensable no solo para proteger no solo a los suelos del proceso erosivo sino también para aminorar la polución que se origina por la quema de residuos provenientes del refinamiento de hidrocarburos.
- c. **Cultivos:** son de régimen tropical seco, que requieren de riego para poderlos en producción permanente. Por las condiciones fisiográficas planas, pueden ser mecanizables.

**d. Pastos:** se localizan en colinas medias y que no deben ser empleadas en cultivos, por las limitaciones de las pendientes.

## **F) Hidrología**

Geográficamente Refinería Estatal de Esmeraldas no está expuesta a inundaciones. Tiene relación con dos ríos de la región, el Esmeraldas y el Teaone. Las instalaciones se encuentran a 300 metros del río Teaone, a tres kilómetros del río Esmeraldas y a 3,8 kilómetros del Océano Pacífico, medidos en línea recta teniendo como centro a la Refinería.

### **7.1.3.2 MEDIO BIÓTICO**

En el área de influencia directa de la Refinería se encuentra una variedad de especies de fauna terrestre como en el bosque cercano. La vegetación que predomina en el área corresponde, también se observan sembríos de plátano, árboles, arbustos y demás plantas de regeneración natural.

*(EIA y Plan De Manejo Ambiental De La Refinería Estatal De Esmeraldas, 2007,a)*

#### **A) Flora.**

La flora más representativa de los alrededores de la Refinería Estatal Esmeraldas son los siguientes:

Algarrobo (*Prosopis inermis*); Chilca (*Verninia barcharoides*); Frejolillo (*Cassia tora*); Gualanga (*Urera caracasana*); Guayacán de costa (*Tabebuia chrysantha*); Guazímo (*Guazuma ulmifolia*); Jaboncillo (*Sapindum saponarium*); Laurel (*Cordia alliodora*); Mambla (*Eritrina poepigiana*); Manzano (*Pouteria sp*); Matapalo (*Coussapoa grandis*); Mate (*Crecentia sujete*); Muyuyo (*Cordia lutea*); Muyuyo de montaña (*Tecoma castenifolia*); Ovo de monte (*Spodia mombis*); Palma (*Batric minor*); Papaya de monte (*Carica sp*); Pela caballo (*Lisoma sp*).

*(EIA y Plan De Manejo Ambiental De La Refinería Estatal De Esmeraldas, 2007, b)*

## **B) Fauna.**

La fauna más representativa de los alrededores de la Refinería Estatal Esmeraldas son los siguientes: Armadillo (*Dassypus novemscinetus*); Guanta (*Canículus paca*); Guatuza (*Dasiprocta sp*); Puerco espín (*Ceondou bicolor*); Rata (*Rattas saltos*); Rata (*Rattus norvegicaes*); Zarigueya – zorro (*Didelphys marsupiales*). (*EIA y Plan De Manejo Ambiental De La Refinería Estatal De Esmeraldas, 2007,c*)

## **C) Aves**

La aves más representativas los alrededores de la Refinería Estatal Esmeraldas son los siguientes:

Huacharaca (*Ortalis vetula*); Garrapatero (*Crotophoga ani*); Loro verde (*Arasevera*); Perdiz (*Criptorellus mayor*); Tierrero (*Columbina talpacoti*).

(*EIA y Plan De Manejo Ambiental De La Refinería Estatal De Esmeraldas, 2007, d*)

### **7.1.3.3. MEDIO ANTRÓPICO. (aspectos socioeconómicos).**

Las características socioeconómicas permiten determinar las condiciones en las que se encuentra la población cercanas la REE, y a las afectaciones a que están expuestas. Permite también conocer las últimas expectativas de los habitantes y el cumplimiento o no de los proyectos por parte de la REE.

Esmeraldas es una provincia en la que el sector rural es predominante, para el año 1950 el 80% de la población se encontraba en este sector y para el 2001 el 41% de la población estaba en el sector urbano.

De acuerdo con el ultimo censo de población, el cantón Esmeraldas tenia 157792 habitantes y la ciudad de Esmeraldas 95124 habitantes los cuales 45543 son hombres (47,87%) y 49581 son mujeres (52.13%). El cual la población joven es mayoritaria, lo que significa que es una población con potencial y prespectivas futuras si tiene acceso a educación y salud. El 38% de la población entre 0 – 14 años y el 19% entre 15 – 24 años es decir el 54% esta entre 0-24 años. (*EIA y Plan De Manejo Ambiental De La Refinería Estatal De Esmeraldas, 2007, e*)

El cantón Esmeraldas tiene una densidad poblacional mas alta de la provincia (116,8 hab/Km<sup>2</sup>).

El nivel de educación en el cantón no es óptimo considerando los siguientes datos. El analfabetismo (población de 15 años o mas), es del 5,46 %, el alfabetismo en el caso de la mujeres es mayor que el de los hombres, 5,96% y 5.2% respectivamente, situación que se presenta a nivel nacional, pues no se da mayor importancia a la educación femenina. En cuanto a estudios realizados el 76,37% ha terminado a primaria (12 años y mas), el 32,98% la secundaria (18 años y mas), y el 28,02% la universidad (24 años y mas).

*(EIA y Plan De Manejo Ambiental De La Refinería Estatal De Esmeraldas, 2007, e)*

#### **7.1.4. GENERACIÓN DE EFLUENTES EN LA REE.**

Según el Estudio de Impactos ambientales y Planes de Manejo ambiental, en el área de influencia de la Refinería Estatal Esmeraldas se ha detectado el desarrollo de tres actividades: el asentamiento de poblaciones fuera del área de influencia de este complejo industrial que a través de sus actividades afectan con sus vertidos al río Teaone, el uso del suelo para tareas agrícolas por esta misma población y la actividad hidrocarburífera en la Refinería Estatal Esmeraldas. *(EIA y Plan De Manejo Ambiental De La Refinería Estatal De Esmeraldas, 2007, f)*

Siendo así que la refinería genera desde las diferentes áreas de las que está compuesta, flujos residuales que contienen cargas contaminantes; y, previo a su descarga, son sometidas a un proceso de tratamiento. Los principales flujos generados por áreas son:

- Áreas de procesos: aguas amargas, aguas aceitosas, aguas lluvias aceitosas, aguas con residuos químicos y aguas sanitarias.
- Áreas de transferencia y almacenamiento: aguas aceitosas, aguas con residuos químicos y aguas sanitarias.
- Aguas de servicios auxiliares: aguas aceitosas, aguas con residuos químicos, aguas lluvias aceitosas y aguas sanitarias.
- Aguas administrativas: aguas sanitarias.

- Para recolectar estos distintos tipos de efluentes residuales, se dispone de un sistema de drenajes según los principios generales de su concepción.

#### **7.1.5 GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA REE.**

El estudio de Impactos Ambientales de Refinería Estatal Esmeraldas, demuestra que el valor estimado de residuos, en 1994, fue de 3,4 Ton/día luego de la última ampliación. Según el mismo estudio las áreas de generación son:

- Áreas administrativas.
- Áreas de procesos.
- Sistema de tratamiento de efluentes y canales anexos.
- Área de seguridad industrial.
- Desechos de origen variado.

##### **7.1.5.1 GENERACIÓN DE DESECHOS POR FUENTE PRODUCTORA.**

De los datos del EIA, para nuestro estudio resulta relevante la siguiente información:

Los residuos generados en las áreas de procesos operacionales, tales como:

- Restos de material refractario.
- Restos de material aislante térmico.
- Catalizador de la unidad de FCC.
- Hollín de los hornos y calderas.
- Trapos y estopas contaminadas con aceite.
- Catalizador de la unidad de recuperación de azufre.
- Coque impregnado con catalizador de FCC.

De las estimaciones efectuadas en el año de 1994, la cantidad de desechos generada en las áreas de procesos operacionales es de aproximadamente 114,0 Ton/año.

De la limpieza de canaletas, del sistema de tratamiento de efluentes, del área de seguridad industrial, los tanques de almacenamiento de crudo y derivados resultan los siguientes desechos:

- Grama impregnada con aceite.
- Lama aceitosa del tratamiento de desechos industriales.
- Piedras y arena contaminada con aceite.
- Prendas de uso personal como guantes, botas, pantalones, camisas, overoles, etc.
- Otros materiales contaminados.
- Lodos y sedimentos de tanques de crudo.
- Lodos y sedimentos de derivados.
- Residuos de diques y cubetos.

De las estimaciones efectuadas en el año de 1994, la totalidad de residuos generados asciende a: 682,5Ton/año. Desechos que requieren de un manejo especial para su disposición final dada sus características contaminantes.

Entre los desechos de origen variado se tiene:

- Embalajes del catalizador de FCC.
- Embalajes de productos químicos.
- Residuos metálicos.
- Vidrios de laboratorio y otros.
- Lámparas y luminarias.
- Embalajes plásticos de refrigerios servidos en diferentes áreas.
- Retazos de mangueras.
- Juntas de amianto y galletas.
- Residuos de madera y papel.
- Lodos y asfaltos recolectados en tambores.
- Pedazos de lona impregnados con aceite.

La cantidad anual de estos residuos asciende a aproximadamente 239,3 Ton/año. Pero no todos los residuos identificados se generan de manera continua, algunos de ellos se producen periódicamente y corresponden a:

- Sedimentos de fondos de tanques de almacenamiento de crudo.
- Lodos de fondo de tanques de gasolina.
- Lodos de unidades de proceso y depósitos como incrustaciones, principalmente durante las labores de mantenimiento.
- Desechos de materiales filtrantes, catalizadores.
- Embalajes de productos químicos, dentro de lo cual se tienen plásticos, metales, vidrios y cartones.
- Materiales de revestimientos térmicos.
- Chatarra.
- Desechos propios de la operación de la REE tales como guantes, felpas, trapos, estopas, etc.
- Poda de árboles, césped y restos de materiales de construcción.

Parte de todos estos residuos han ido a parar en las piscinas para disposición final de residuos construidos dentro de la REE, y que hoy forman parte de lo residuos sometidos a tratamiento a nuestra investigación.

*(EIA y Plan De Manejo Ambiental De La Refinería Estatal De Esmeraldas, 2007, g)*

## **7.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS A TRATAR.**

Los residuos de lodos aceitosos que se utilizó para la biorremediación se los obtuvo de la piscina de estabilización que tiene 30 años haberse construido. Esta por encontrarse en mantenimiento y para la colocación de geomembrana fue trasvasada. Se excavó un metro de profundidad hasta encontrar suelo estable sin residuos de lodo aceitosos en el fondo de la piscina.

Se tomo una muestra de 2 kg de residuo para realizar los análisis iniciales y empezar a realizar la Biorremediación. Los análisis iniciales de laboratorio son los siguientes. (Ver tabla 6.4, pag. 74)

**7.3. Tabla:** Resultados de los análisis iniciales de los lodos aceitosos de REE

Parámetro Analizado	Resultado Muestra	RAOH Decreto Ejecutivo 1215
TPH'S	18.640	<2.508(A) <4.000(B) <1.000(C)
HAP'S	469	<2(A) <5(B) <1(C)
Níquel	33	<50(A) <100(B) <40(C)
Plomo	42	<100(A) <500(B) <80(C)
Cadmio	5,1	<2(A) <10(B) <1(C)

Elaborado por: Jonathan Arcos Freile.

(A) Uso agrícola, (B) Uso industria, (C) Ecosistemas sensibles.

El suelo presenta una consistencia pastosa y oleosa, de color negro brillante, además presenta fuerte olor a hidrocarburos.

### 7.3. DISEÑO DE LA PROPUESTA. (Diseño de la propuesta en laboratorio)

#### 7.3.1 MATERIALES.

50 cajas petri de vidrio, 50 tubos de ensayo con tapa, 5 pipetas de 1ml, 5 pipetas de 5ml, 5 pipetas de 10 ml, 5 pipetas de 25 ml, 3 botellas de vidrio BOECO de 500 ml, 3 botellas de vidrio BOECO de 1000ml, 2 varillas de agitación, 2 azas de inoculación, 2 lápices para vidrio, 3 Gradillas, 3 vasos de precipitación de 100 ml, 3 vasos de precipitación de 250 ml, 2 probetas de 100 ml, 2 gomas de caucho, Caja de guantes, 10 mascarillas.

#### EQUIPOS.

Incubadora, Autoclave, Refrigeradora, Mechero de gas, Balanza (0,1 g – 1 kg), Microscopio, pHmetro, Conductímetro, Higrómetro, Termómetro.

### **REACTIVOS A UTILIZAR.**

Agar nutritivo, sauborant (cultivo medio de hongos), reactivos para pruebas de GRAM, agua destilada, humatos (activador microbiano), alcohol absoluto, hipoclorito de sodio.

### **7.3.2. METODOLOGÍA A UTILIZAR**

Para la realización de este trabajo fue necesaria la aplicación de una combinación de metodologías de investigación. Este conjunto de tipos de investigación proporcionó información sustancial para el desarrollo del proyecto.

A continuación se describe las metodologías empleadas en el trabajo:

- Es una Investigación de campo ya que se requiere la realización de caracterizaciones de los lodos aceitosos a tratar, mediante la toma de muestras representativas, para controlar los parámetros que estén excediendo los niveles de la legislación ambiental vigente. Además de las caracterizaciones iniciales se debe realizar caracterizaciones al final del proceso para comprobar que los parámetros están dentro de los niveles fijados en el Reglamento Sustitutivo al Reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas en el Ecuador, Decreto Ejecutivo 1215, demostrando la eficiencia del proceso.
- Es experimental, por cuanto las pruebas constituyen la base de la propuesta de tratamiento.
- Esta investigación se complementa con información extraída de libros referentes a Biorremediación, actividades hidrocarburíferas, artículos de la red electrónica, información de estudios de casos y tratamientos similares; lo que la hace también una investigación documental.

El método que se utilizó para el tratamiento de los lodos aceitosos en REE fue de compostaje doméstico, que consistió en que una vez de ser recogido el residuo y

estabilizarlo; se mezcló con materia orgánica como restos de cítricos que se consiguió en la cocina de REE.

Una que es el lodo aceitoso estabilizado y mezclado con los tamices moleculares y la materia orgánica se procedió a medir los parámetros de proceso que inciden sobre el tratamiento que permite biotransformar a los contaminantes y obtener un sustrato final capaz de sustentar vida.

La metodología empleada para medir los parámetros de pH, conductividad, temperatura y humedad se lo menciona a continuación.

- Se tomó 10 gr de sustrato de cada cama y diluirla en 100 ml de agua destilada.
- Se dejó reposar.
- Se midió el pH con una tira de papel o con un pHmetro.
- Se midió la conductividad sumergiendo el conductímetro hasta la marca. Anotar en una tabla por fechas.
- Se midió la temperatura directamente en las celdas, sacar el valor promedio de ambas celdas y anotar.
- Se midió la humedad directamente con el higrómetro, adicionar agua si es necesario para obtener un mínimo de humedad del 50%.

### **7.3.3 CONTROL DE PARÁMETROS DE PROCESO.**

- La adición de nutriente o de materia orgánica se la realizó cada 120 horas es decir cada 5 días.
- La aeración se la realizó volteando al residuo de lodos acetosos una vez estabilizada con cascarilla de arroz y puzolana; y agregada la materia orgánica, cada 48 horas.
- La humectación se la midió mediante un higrómetro para comprobar el grado de humedad que tiene el residuo de cada cama. Se tiene que obtener

un resultado de 60% de humedad en cada cama, si no se obtiene el 60 % de humedad, se adicionara agua en cada una de ellas.

- La temperatura, la conductividad y el pH se la midió cada 48 horas; la temperatura tendrá que tener una rango de 37°C a 45°C, el pH deberá tener un rango de 5,3 a 6,5.

#### **7.3.4 PARÁMETROS.**

Los parámetros que se midieron, fueron tomados en la ciudad de Esmeraldas donde se realizara el proceso de Biorremediacion en campo.

- Los parámetros que se evaluará para el proceso de Biorremediacion, son: medición de pH, conductividad, temperatura.
- La humectación se la medirá mediante un higrómetro para comprobar el grado de humedad que tiene el residuo de cada cama.

#### **7.3.5 CONTROL DE PARÁMETROS EN CAMPO.**

Las mediciones de los parámetros en campo fueron tomados cada 5 días en la ciudad de Esmeraldas en las instalaciones de REE, por lo que se estuvieron realizando pruebas de laboratorio en la ciudad de Quito donde se obtuvieron las facilidades para el conteo microbiano e identificación de los microorganismos autóctonos capaces de la biodegradación de los lodos aceitosos.

- La adición de nutriente o de materia orgánica se la realizó cada 120 horas es decir cada 5 días, en las instalaciones de REE.
- La aeración se la realizó volteando al residuo de lodos aceitosos una vez estabilizado con cascarilla de arroz y puzolana; agregada la materia orgánica, esto se lo realizó cada 120 horas es decir cada 5 días, ya que la fase de campo se la realizo en las instalaciones de REE en la ciudad de Esmeraldas
- El control de parámetros se la realizó cada 5 días, en las instalaciones de RRE, donde se encontraban las camas de Biorremediacion.

Los resultados fueron los siguientes:

- Las condiciones de temperatura fueron optimas, obteniendo temperaturas que oscilan de 37 °C a 40 °C, el pH con un rango de 5,2 a 5,8 el valor mas alto y obteniendo una humedad del 60%.
- Los valores de pH, conductividad y humedad logrados en la investigación fueron los ideales para el proceso de biodegradabilidad de los lodos aceitosos.

#### **7.4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

La investigación se dividió en dos fases operativas, una de laboratorio y otra de campo. En la fase de laboratorio para obtener los parámetros cinéticos del sistema de remediación implementado e identificar las cepas microbianas el sistema de tratamiento. La fase de campo se implemento para aplicar los resultados de los trabajos de laboratorio a las condiciones reales de tratamiento in situ.

##### **7.4.1. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS DE LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS.**

La caracterización de los suelos contaminados con hidrocarburos de la Refinería Estatal de Esmeraldas se efectuó en los laboratorios de CORPLAB- Quito, 8 de mayo del 2009.

Los lodos y residuos procedentes del Área de distribución para almacenamiento, tratamiento y confinamiento de residuos sólidos de Refinería Esmeraldas, llamadas ÁREAS EXTERNAS, fueron muestreados el 28 de Abril del 2009, por Jonathan Arcos, en tres embases de vidrio con tapas herméticamente selladas, se muestreo la cantidad de 2 kg por embase, con una total de 6 kg muestreados. (Protocolos de custodia. Ver anexo AA)

Los resultados obtenidos de la caracterización se presentan en la tabla No 10.

Los parámetros considerados son los requeridos por el Anexo D, tabla D-1: Guía de parámetros mínimos por sector productivo, del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI.

**7. 4. Tabla:** Caracterización de los suelos contaminados de la Refinería Estatal de Esmeraldas.

Parámetros	Unidad	Uso Agrícola	Uso Industrial	Ecosistemas Sensibles	Resultado Muestra
Hidrocarburos totales TPH's	mg/kg	<2500	<4000	<1000	18.640
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's)	mg/kg	<2	<5	<1	469
Níquel	mg/kg	<2	<5	<1	33
Plomo	mg/kg	<50	<10	<40	42
Cadmio	mg/kg	<100	<500	<80	5,1

**Fuente:** Corplab, 8 de Mayo del 2009.

Del análisis se desprende que los parámetros muestreados superan o son inferiores a los límites establecidos en la legislación ambiental vigente.

Los suelos o lodos aceitosos muestreados presentan los siguientes resultados:

La cantidad de TPH's en el análisis de laboratorio arrojó un valor de 18.640 ppm, que para un suelo de uso (A) agrícola es de <2.500, para un suelo de uso (B) industrial es de <4.000 y para un suelo o ecosistemas sensibles es (C) <1.000.

La cantidad de HAP's en el análisis de laboratorio arrojó un valor de 649 ppm, que para un suelo de uso (A) agrícola es de <2, para un suelo de uso (B) industrial es de <5 y para un suelo de ecosistemas sensibles es (C) <1.

La cantidad de NIQUEL en el análisis de laboratorio arrojó un valor de 33 ppm, que para un suelo de uso (A) agrícola es de <50, para un suelo de uso (B) industrial es de <100 y para un suelo o ecosistemas sensibles es (C) <40.

La cantidad de CADMIO en el análisis de laboratorio arrojó un valor de 5,1 ppm, que para un suelo de uso (A) agrícola es de <2, para un suelo de uso (B) industrial es de <10 y para un suelo o ecosistemas sensibles es (C) <1.

La cantidad de PLOMO en el análisis de laboratorio arrojó un valor de 42 ppm, que para un suelo de uso (A) agrícola es de <100, para un suelo de uso (B) industrial es de <500 y para un suelo o ecosistemas sensibles es (C) <80.

#### 7.4.2. FASE DE LABORATORIO

##### A) Preparación del pool microbiano

Una de las estrategias operativas de la propuesta de biorremediación de suelos contaminados de la Refinería de Esmeraldas, fue el aislamiento in situ de microorganismos que realicen el tratamiento en forma efectiva y segura.

Al efecto se visitó la refinería y del Área de distribución para almacenamiento, tratamiento y confinamiento de residuos sólidos de Refinería Esmeraldas con un total de 6 Ha, llamadas ÁREAS EXTERNAS, con los siguientes puntos en coordenadas UTM 646528E-0103065N. Se extrajeron suelos contaminados con hidrocarburos confinados hace algún tiempo, para en ellos identificar la sepas idóneas para nuestra investigación.

#### 7.6. Imagen satelital de Áreas Externas de REE.



Elaborado por: Jonathan Arcos F. Fuente: Google Earth

Esta decisión tiene una lógica práctica, por cuanto dichos microorganismos están ya adaptados a las condiciones del medio y pueden ser reproducidas en forma masiva, e introducidas en las celdas experimentales sin altas tasa de mortandad por el estrés fisiológico.

## **A1. PROTOCOLO DE AISLAMIENTO MICROBIANO**

- Para el aislamiento inicialmente se homogenizó la muestra (describir el proceso).
- Se tomó 50g de la muestra y se preparó una suspensión en agua destilada, realizando siembras de las diluciones  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$ .
- Preparación del medio de cultivo para aislamiento de microorganismos de la muestra de suelos contaminados, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

## **A2. PREPARACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO Y MATERIALES DE LABORATORIO.**

- Los medios de cultivo son los medios estándares, agar nutritivo (bacterias), se siguieron las recomendaciones del fabricante.
- Se esterilizaron materiales para los trabajos de laboratorio, además de la preparación de reactivos para las pruebas bioquímicas.

## **A3. SIEMBRA DE MICROORGANISMOS**

El método de siembra fue de superficie en zigzag, en cajas petri que contenía agar nutritivo estéril. No se efectuaron siembras de profundidad por cuanto el objetivo era el de identificar solo cepas aeróbicas.

## **A4. IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS**

### **A4.1. Identificación morfológica**

Morfológicamente se encontraron 4 cepas distintas, entre las cuales podemos citar. Bacilos, cocos, bacterias. Luego de seleccionadas las cepas, se procedió a

efectuar a cada una de estas una coloración Gram y una observación minuciosa bajo el microscopio para comprobar su pureza, para luego colocarlas en medios de conservación como cultivo puro, de donde posteriormente se tomaron para efectuar las pruebas de degradación correspondientes en los sistemas de tratamiento.

- Preparación de los medios para cultivo puro.
- Selección de los cultivos después del aislamiento inicial de los cultivos puros.
- Selección de las cepas y realización de una identificación presuntiva, luego de realizar determinadas pruebas.

#### 7.5. **Tabla:** Cepas microbianas identificadas

Código	Gram	Morfología	Oxidasa	Liq-gelatin	Crecimiento 42°C	Reducción NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Pigmento	Identific
A1	(+)	Bacilos	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	Pseudomona sp
A2	(+)	Bacilos	(+)	(-)	(+)	(+)	Verde	Pseudomona pútida
A3	(-)	Bacilos	(-)	(+)	(+)	(-)	rosa	Bacillus
A4	(+)	Bacterias	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	Rhodococcus

**Elaborado por:** Jonathan Arcos F.

#### 7.1 **Foto:** Cajas petri con sepas aisladas in situ



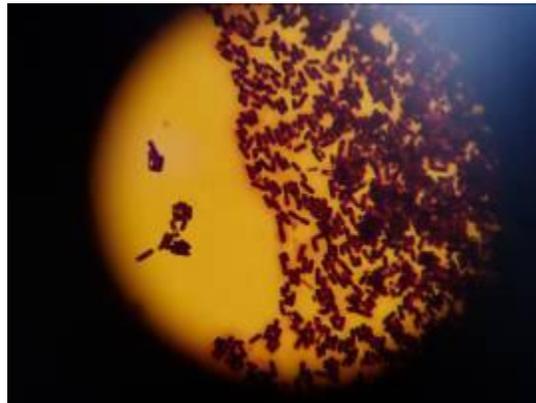
**Elaborado por:** Jonathan Arcos F

**7. 2. Foto:** Hongos empleados en la biorremediación. *Aspergillum* y *Penicillium*



**Elaborado por:** Jonathan Arcos F

**7.3. Foto:** Bacilos Gram negativos Gen. *Bacillus* sp.



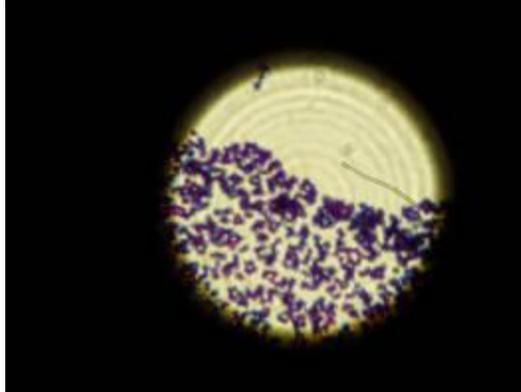
**Elaborado por:** Jonathan Arcos F

**7. 4. Foto:** Bacterias Gram positivas Gen. *Pseudomona* pútida.



**Elaborado por:** Jonathan Arcos F

**7.5. Foto:** Bacteria Gen. Rhodococcus.



Elaborado por: Jonathan Arcos F

#### **A4.2. Protocolo de Gram**

Una prueba relevante en microbiología es la prueba de Gram, que determina su capacidad de absorber o no el pigmento cristal violeta, su capacidad oxidativa y patogenicidad. Se emplearon soluciones de:

- Iodo Gram.
- Cristal violeta.
- Safranina.
- Mezcla etanol/ acetona

#### **A4.3. Protocolo de pruebas bioquímicas**

Las pruebas bioquímicas realizadas fueron:

- Oxidasas.
- Pigmentación.
- Gelatina.
- Nitratos.

Cada una de estas pruebas dispone de protocolos estandarizados ampliamente usados en laboratorio microbiológico y clínico.

## **A5. PREPARACIÓN DEL POOL MICROBIANO**

### **A5.1. Preparación del extracto de adaptación**

Se preparó una mezcla de suelos contaminados con hidrocarburos, puzolana, zeolitas y cascarilla de arroz en una proporción adecuada y se disolvió en agua destilada. Se dejó reposar durante 24 horas para obtener un extracto que contenga todos los componentes que tendrán las celdas de tratamiento, en cantidades pequeñas, que permita a los microorganismos adaptarse.

Posteriormente se sometió a autoclaveado, para dejar reposar por otras 24 horas, con esta operación se eliminó la influencia de cualquier microorganismo que estuviere presente en los componentes de la mezcla.

Finalmente se extrajo el sobrenadante y con él se elaboró el caldo de inoculación, adicionando melaza y humato +7 plus con microelementos en calidad de activador microbiano.

### **A5.2. Elaboración del pool microbiano**

De las cepas: *P. sp*, *P. pútida* y *Rhodococcus*, se preparó una suspensión de  $2 \times 10^8$  ufc/ml, tomando como referencia el nefelómetro de Macfarland. La suspensión se preparó en agua destilada.

Todas las suspensiones se adicionan al caldo de inoculación. Seguidamente se procedió a la incubación de la mezcla durante 4 horas, en un termostato a 37°C, para lograr un tiempo de adaptación y determinar el número de ufc iniciales.

## **A6. PRUEBAS DE BIODEGRADACIÓN**

Una vez concluidos los trabajos de preparación del pool microbiano, se inició el trabajo de mayor relevancia de la investigación, esto es, la realización de pruebas de biodegradación, que comprueban los siguientes aspectos:

- a) Idoneidad del pool microbiano elegido, para biodegradar residuos de hidrocarburos y otros xenobioticos presentes en los suelos contaminados con hidrocarburos de la refinería de Esmeraldas.
- b) La versatilidad de la metodología de Biotratamiento elegida.
- c) La eficiencia y simplicidad de la metodología de tratamiento.
- d) Los bajos costos operativos de la propuesta.
- e) La viabilidad de aplicación de la propuesta a gran escala (campo).

### **A6.1. Protocolo de pruebas de biodegradación**

### **A6.2. Diseño de las celdas experimentales**

Las celdas empleadas para el tratamiento de suelos contaminados elegidas fueron de plástico de color rojo 40 x 25 cm, a las cuales se les practicó perforaciones en la base para la evacuación de lixiviados.

Las celdas se dispusieron en repisas con una inclinación de dos grados, para garantizar la evacuación de los excedentes de humedad.

### **A6.3. Composición de las celdas experimentales**

La bandeja experimental contendrá los lodos industriales; homogeneizados y estabilizados con los materiales seleccionados, tales como: Biosoil, puzolanas, zeolita, materia orgánica y pool microbiano.

**7.6. Tabla:** Composición de celdas experimentales.

<b>Celda</b>	<b>Suelos contaminados</b>	<b>Agua destilada</b>	<b>puzolana</b>	<b>Zeolita</b>	<b>Cascarilla</b>	<b>Materia orgánica kg</b>
C1	20 kg	250 ml	200g	150g	200g	1
C2	20 kg	250 ml	200g	150g	200g	1
C3	20 kg	250 ml	200g	150g	200g	1
C4	20kg	250 ml	200g	150g	200g	1
Ct	20 kg	250 ml	-	-	-	-

**Elaborado por:** Jonathan Arcos F.

La materia orgánica empleada fue, residuos de cítricos: naranja, limón, mandarina, etc. La adición de restos de cítricos permite incorporar al sistema de tratamiento ingentes cantidades de *Penicillium* y *Aspergillum*, necesarios para las primeras etapas de biodegradación de compuestos aromáticos.

#### **A6.4. Preparación de la muestra.**

Se obtuvieron cinco celdas experimentales para colocar el residuo con el material esponjante y luego empezar la biorremediación. A las cinco celdas experimentales se les realizaron perforaciones para extraer los lixiviados que se producen en la degradación del proceso.

Los lodos aceitosos fueron extendidos en un plástico sobre el suelo, para inmediatamente adicionar los componentes como son: materia orgánica (restos de cítricos), cascarilla de arroz, puzolana, zeolita con las proporciones que se describen *en la Tabla C. 7.6. pag. 101* y así tener una excelente homogenización.

Se obtuvo la materia orgánica (restos de cítricos) de los restaurantes y cevicherías cercanas al laboratorio; obtenida la materia orgánica se la tritura para conseguir una buena homogenización con el residuo al mezclarse.

Una vez acondicionada y estabilizada las cinco celdas, se colocaron en una repisa para que se deshidraten y que comience la acción degradadora de la materia orgánica.

#### **A6.5. Estabilización**

Los suelos contaminados con hidrocarburos se estabilizaron con ayuda de material esponjante, y tamices moleculares para encapsular metales pesados presentes en la solución del suelo y facilitar el tratamiento biológico, conforme a la composición de celdas experimentales; los agentes estabilizantes que se utiliza es la Zeolita (ZEOLITE-C), que son aluminosilicatos con forma cristalina tetrahedral, dentro de las

cuales existen una red de canales y cavidades donde cada  $\text{cm}^3$  extendido tendrá una superficie mayor a  $45 \text{ m}^2$ . La ZEOLITE-C, tiene un gran poder de captación de amonio, amoniaco, ácido sulfúrico, nitritos, nitratos, metales pesados y tóxicos, sulfuros, entres otros, dicha captación ocurre mediante un intercambio catiónico, teniendo afinidad para el amoniaco y el calcio.

([www.oceanus.com.ec](http://www.oceanus.com.ec))

#### **A6.6. Deshidratación**

Se pusieron los suelos contaminados en las bandejas, para su deshidratación durante 72 horas, tiempo después del cual, los lodos disponían de un nivel de humedad adecuado para el inicio de la biorremediación, equivalente al 56% de humedad.

#### **A6.7. Adición de nutrientes**

En cada celda experimental se adicionaron 2 lbs. (1kg), de residuos orgánicos vegetales compuestos mayoritariamente por residuos de cítricos desmenuzados, pan y zumo de limón, para incrementar la superficie de contacto y mejorar la asimilación microbiana.

#### **A6.8. Adición del pool microbiano**

En cada celda experimental se adicionaron cada 48 horas un volumen de 35 ml de pool microbiano, con ayuda de una pipeta estéril. Una vez adicionado el pool, la bandeja se sometía a mezcla concienzuda, para distribuir los microorganismos en todo el volumen de suelo.

### **A7. Resultados experimentales de las pruebas de biodegradación.**

A continuación se presentan los resultados de los análisis de laboratorio realizados a las muestras de suelos en tratamiento a lo largo de los 72 días del estudio, ver detalles en el anexo No. 8

**7.7 Tabla:** Resultados iniciales de análisis de suelos en tratamiento.

8 de Mayo del 2009	Parámetro	ppm
	TPH's	18.640
	HAP's	469
	Cd	5,1
	Ni	33
	Pb	42

Elaborado por el autor, tomando como fuente los informes de CORPLAB.

**7.8 Tabla:** Resultados de análisis secundario de suelos en tratamiento.

Ver detalles en el anexo No. 9

20 de Agosto del 2009	Celdas	C1-C2	C3-C4	CT
	Parámetro	Ppm	ppm	ppm
	TPH's	2058,97	2157,45	2135,75
	HAP's	< 1	< 1	< 1
	Cd	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Ni	0,165	0,139	0,206
	Pb	< 0,40	< 0,40	< 0,40

Elaborado por el autor, tomando como fuente los informes de CORPLAB.

**7.9 Tabla:** Resultados de análisis terciarios de suelos en tratamiento.

Ver detalles en el anexo No. 10

8 de Septiembre del 2009	Celdas	C1-C2	C3-C4	CT
	Parámetro	Ppm	ppm	ppm
	TPH's	2203,06	1911,58	1925,18
	HAP's	< 1	< 1	< 1

Elaborado por el autor, tomando como fuente los informes de CORPLAB.

**7.10. Tabla:** Resultados de análisis finales de suelos en tratamiento.

Ver detalles en el anexo No.11

30 de Septiembre del 2009	Celdas	C1-C2	C3-C4	CT
	Parámetro	Ppm	ppm	ppm
	TPH's	2134,88	5968,67	2050,2
	HAP's	< 1	< 1	< 1
	Cd	< 1	< 1	< 1
	Ni	60,11	52,54	67,01
	Pb	< 40	< 40	< 40

Elaborado por el autor, tomando como fuente los informes de CORPLAB.

## A8. Control de parámetros

### A8.1. Metales pesados

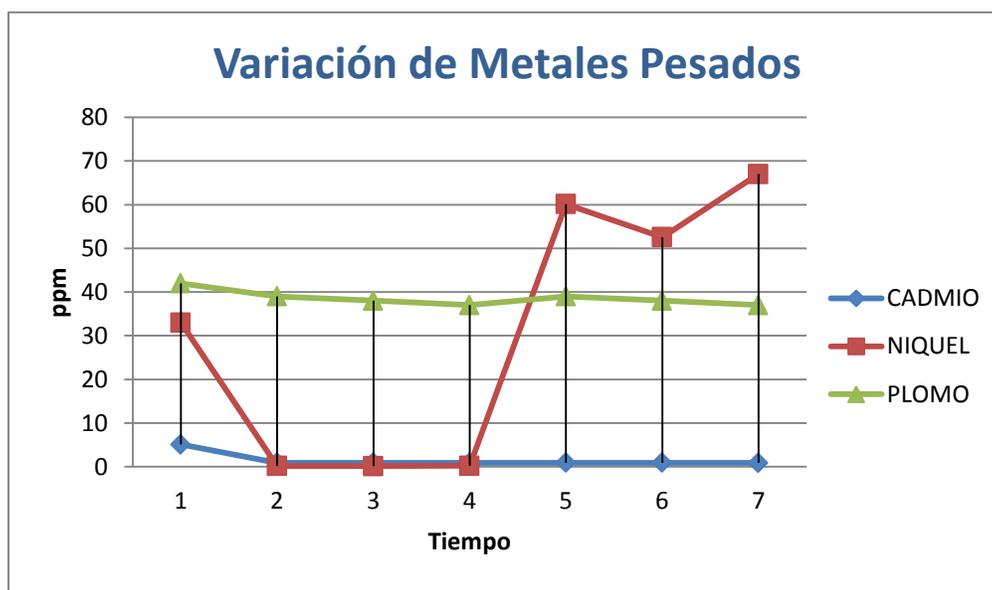
Los análisis iniciales de los suelos a tratar nos muestran que los valores de los metales pesados están dentro de los límites establecidos por la legislación ambiental, sin embargo se realizó un control de su concentración inicial y final, con el propósito de verificar si la metodología incide positivamente o negativamente sobre su concentración, por cuanto se emplean materiales naturales que no son activados ni purificados previamente, debido a sus elevados costos.

Los análisis de metales pesados se efectuaron en los lixiviados, por cuanto al emplear el encapsulamiento en forma conjunta con la biorremediación, no se puede analizar por el método extractivo estándar.

7.11. **Tabla:** Concentración inicial y final de metales pesados

METALES PESADOS								
ppm	RAHO 1215	Análisis Inicial	Análisis 2			Análisis Final		
			C1-C2	C3-C4	CT	C1-C2	C3-C4	CT
Cadmio	10	5,1	0,09	0,089	0,088	0,9	0,89	0,88
Níquel	100	33	0,165	0,139	0,206	60,11	52,54	67,01
Plomo	500	42	39	38	37	39	38	37

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

7.1 **Gráfico:** Variación de la concentración de metales pesados.

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

Los análisis demuestran que la concentración de níquel tiende a elevarse, posiblemente debido a:

- Errores en el muestreo inicial
- Aportación de la puzolana, que es un material natural no tratado, del cual no contamos con su ficha técnica.

En relación al Cd, y Pb, la tendencia es mejorar los parámetros, por cuanto su concentración disminuye tanto en las celdas experimentales, así como en la celda

testigo, aspecto que puede deberse a la lixiviación permanente de las celdas durante el tratamiento biológico.

## A8.2. Conductividad

La conductividad inicial en mS/cm en las unidades de tratamiento varió moderadamente durante el tiempo de tratamiento de 0,33 a 0,66 mS/cm en C1-C2; de 0,29 a 1,04 mS/cm y CT de 0,34 a 0,79 mS/cm. Los valores de conductividad logrados durante el tratamiento fueron ideales para garantizar una buena tasa de biodegradación de contaminantes.

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, del Libro VI Anexo 2, de la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para suelos contaminados. Tienen el propósito de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes de un suelo en proceso de remediación o restauración.

Los criterios de remediación para la conductividad establecida en dicha norma para límites máximos permisibles de suelos son:

**7.12 Tabla:** Criterios de Remediación o Restauración (Valores Máximos Permitidos)

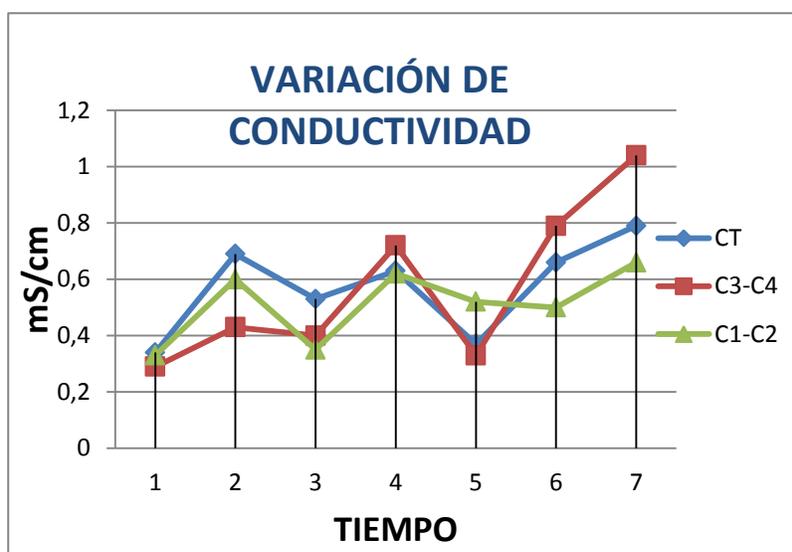
Parámetro	Unidad	Uso del suelo			
		Agrícola	Residencial	Comercial	Industrial
Conductividad	mmhos/cm	2	2	4	4

**Elaborado por:** Jonathan Arcos F

7.12. **Tabla:** Variación de conductividad.

FECHA	17/08/2009	19/08/2009	24/08/2009	27/08/2009	01/09/2009	07/09/2009	11/09/2009
MUESTRA	mS/cm						
C1- C2	0,33	0,60	0,35	0,62	0,52	0,50	0,66
C3- C4	0,29	0,43	0,40	0,72	0,33	0,79	1,04
CT	0,34	0,69	0,53	0,63	0,37	0,66	0,79

Elaborado por: Jonathan Arcos F

7.2 **Gráfico:** Variación de la conductividad

Elaborado por: Jonathan Arcos F

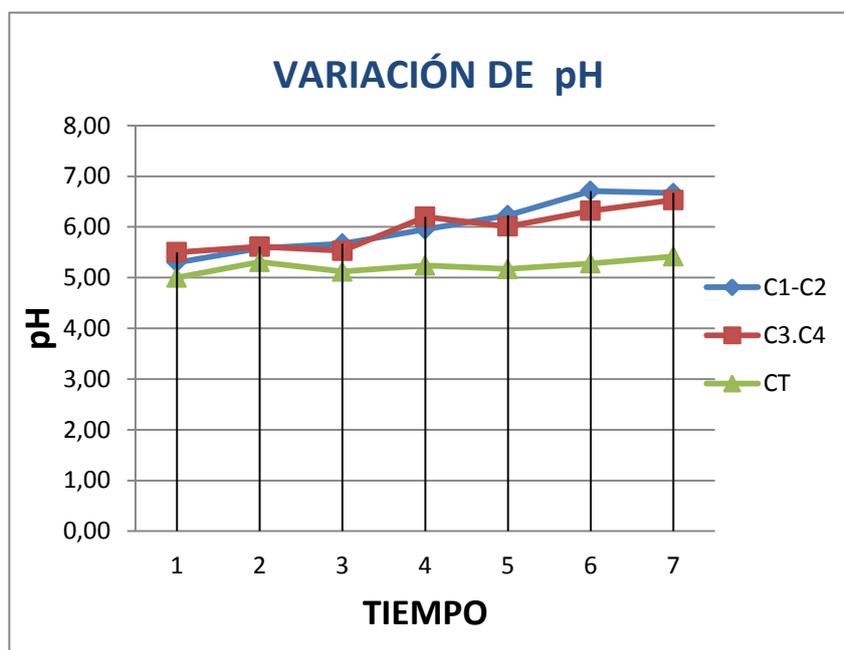
### A8.3. Variación del pH

Las variaciones del pH fueron pequeñas. En todas las unidades se logró establecer un pH ligeramente ácido desde 5,3 a 6,67 en C1-C2; de 5,5 a 6,53 en C3-C4 y de 5,0 a 5,42 en CT. Este valor está dentro del rango adecuado para garantizar una buena tasa de biodegradación.

7.13. **Tabla:** Variación del pH.

FECHA	17/08/2009	19/08/2009	24/08/2009	27/08/2009	01/09/2009	07/09/2009	11/09/2009
MUESTRA	pH						
C1- C2	5,30	5,58	5,67	5,95	6,23	6,71	6,67
C3- C4	5,50	5,61	5,53	6,20	6,01	6,32	6,53
CT	5,00	5,31	5,12	5,24	5,17	5,28	5,42

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

7.3. **Gráfico:** Variación de pH.

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

#### A8.4. Humedad

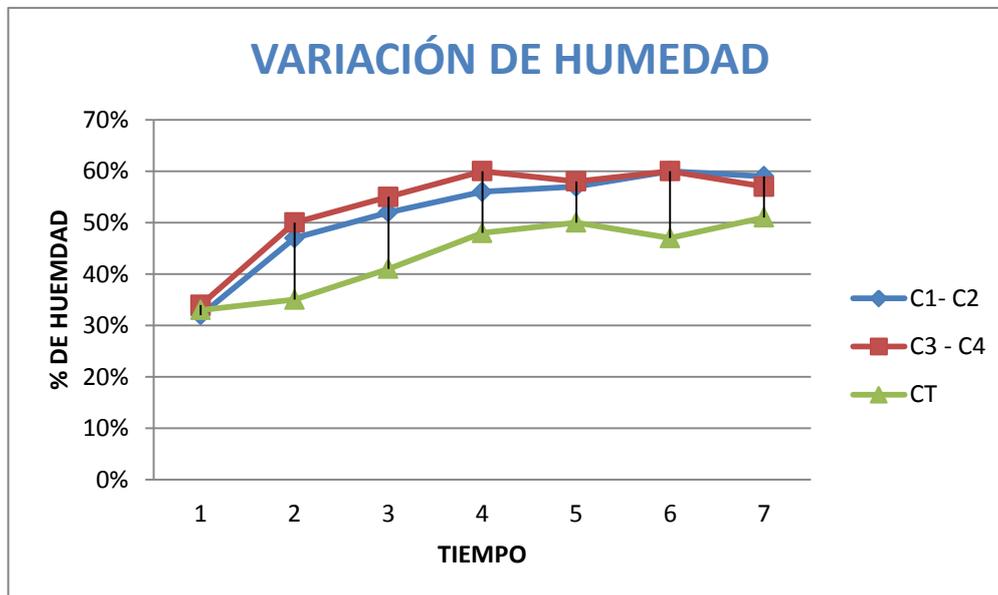
La humedad establecida en las unidades de tratamiento no superó el 60%. Para sistemas de biorremediación los valores de humedad fluctúan entre 50 y 70%, en consecuencia, la humedad del sistema de tratamiento fue ideal.

7.14 **Tabla:** Variación de la humedad durante la investigación.

FECHA	17/08/2009	19/08/2009	24/08/2009	27/08/2009	01/09/2009	07/09/2009	11/09/2009
MUESTRA	Humedad						
C1- C2	32%	47%	52%	56%	57%	60%	59%
C3- C4	34%	50%	55%	60%	58%	60%	57%
CT	33%	35%	41%	48%	50%	47%	51%

Elaborado por: Jonathan Arcos F

7.4. **Gráfico:** Variación de Humedad.



Elaborado por: Jonathan Arcos F.

## A8.5. Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros decisivos para el desarrollo de un trabajo de biorremediación. Cabe señalar que debido a las condiciones ambientales de la ciudad de Quito y al lugar donde se realizaron las pruebas (laboratorio de la UDLA), nunca se lograron valores óptimos de temperatura ideales para la biorremediación, sin embargo, los sistemas de tratamiento han presentado altas tasas de rendimiento.

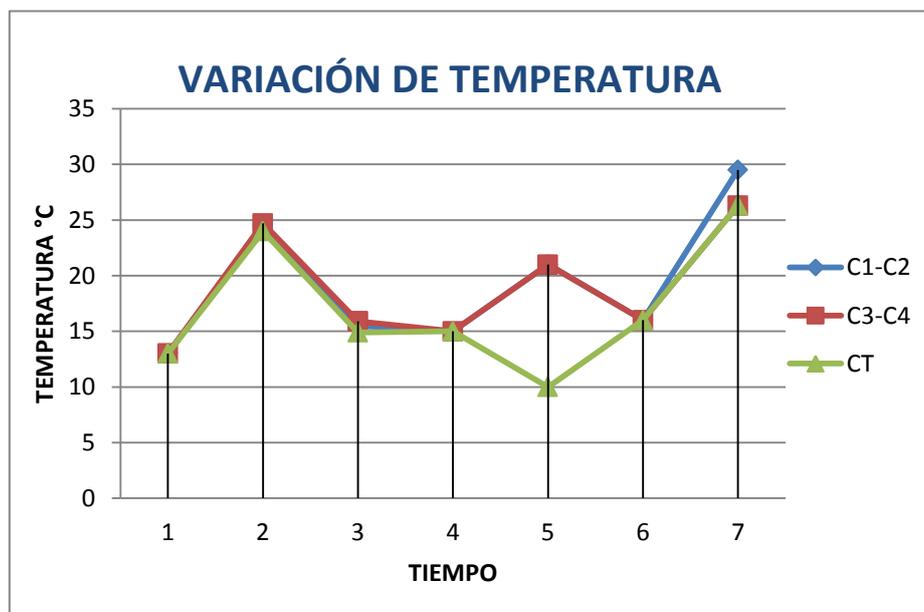
La temperatura fluctuó entre 13 y 29,5°C en la unidad C1-C2, mientras que en la unidad C3-C4 varió entre 13 a 26,3°C.

**7.15 Tabla:** Variación de la temperatura en celdas experimentales.

FECHA	17/08/2009	19/08/2009	24/08/2009	27/08/2009	01/09/2009	07/09/2009	11/09/2009
MUESTRA	°C						
C1- C2	13	24,50	15,50	15	21	16	29,5
C3- C4	13	24,70	15,90	15	21	16	26,3
CT	13	24,00	14,90	15	10	16	26,3

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

**7.5 Gráfico:** Variación de la temperatura



Elaborado por: Jonathan Arcos F.

### A8.6. Recuento microbiano

Los recuentos fueron efectuados de las celdas con la finalidad de evaluar la viabilidad microbiana en los sistemas de degradación. Los recuentos están detallados de acuerdo a las fechas de extracción de las muestras. El conteo inicial de Ufc fue de 334 en C1-C2 y C3-C4; 1196 en tanto que el testigo presentó un valor de UFCs de 112.

El tratamiento se inició el día 17 de agosto del 2009, luego de 4 horas de producirse la inoculación se contabilizaron 334 Ufc y a las primeras 24 horas fue:  $2,76 \times 10^6$ .

## A9. CINÉTICA DEL SISTEMA DE BIORREMEDIACIÓN

### A9.1. Tasa de crecimiento microbiano C1-C2.

**Tasa de crecimiento específica.** En la determinación de este parámetro se inició el proyecto con 334 células, consideradas cuatro horas después de la inoculación en las celdas experimentales. Considerando los valores de Ufc a las primeras 24 horas, tenemos

(C.7. F.1.)

Se utilizó la ecuación 
$$K = \frac{\ln N_2 - \ln N_1}{t_2 - t_1}$$

(C.7. F.2.)

$$K_1 = \ln 2,76 \times 10^6 - \ln 344 / 24 - 4$$

$$K_1 = 14,83 - 5,84 / 20$$

$$K_1 = 8,99 / 20$$

$$K_1 = 0,44/\text{día}$$

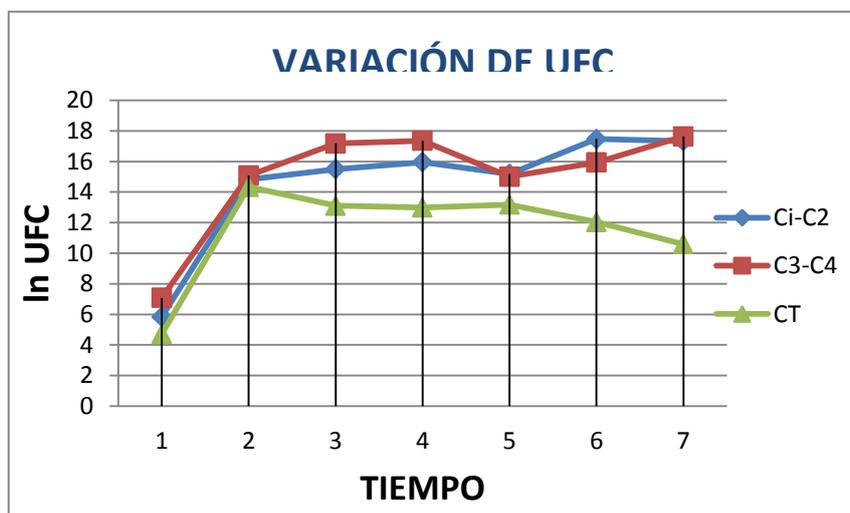
Fuentes bibliográficas confiables determinan tasa de crecimiento bacteriano máximas de 0.75/h para pseudomona putida en medio sintético (Stainer et al 1986).

7.16 Tabla: Conteo de Ufc's.

FECHA	17/08/2009	19/08/2009	24/08/2009	27/08/2009	01/09/2009	07/09/2009	11/09/2009
MUESTRA	In Ufc						
C1- C2	5,84	14,83	15,49	15,95	15,18	17,47	17,33
C3- C4	7,08	15,08	17,17	17,35	15,00	15,93	17,63
CT	4,71	14,34	13,10	12,99	13,18	12,04	10,59

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

7.6. Grafico: Conteo de Ufc's.



Elaborado por: Jonathan Arcos F.

La curva de crecimiento microbiana obtenida a lo largo del proceso de Biorremediación es cercana a la ideal, donde se visualiza una fase exponencial de crecimiento y una fase estacionaria, la misma que se logró mantener hasta el final de la investigación.

La frecuencia de adición de pool bacteriano fue cada 72 horas en un volumen de 35 ml, con el propósito de mantener la población bacteriana en niveles adecuados para el tratamiento. Además a los sistemas de tratamiento permitieron recuperar la población bacteriana, que en todas las unidades había descendido por causa de las fluctuaciones diarias de temperatura que nunca superaron los 29.5°C.

La tasa de crecimiento específico fue baja, superior al 50% del estándar para el género pseudomona, pese a las condiciones desfavorables de temperatura.

El proceso puede mejorar introduciendo las celdas experimentales en invernaderos con alta temperatura que generen las condiciones ambientales ideales de tratamiento, esto es 37-45°C. La oxigenación de las celdas se logró mediante agitación manual, cada 72 horas, actividad que se efectuó durante la adición de pool microbiano y materia orgánica.

### A9.2. Constante de biodegradación

Para la determinación de este parámetro, se empleó la ecuación modificada de Monod:

**(C.7. F.3.)**

$$\frac{\ln Co}{C} = \frac{mMax.Bo}{Y * t} = kt$$

Con la ayuda de esta ecuación se trazó una gráfica de dependencia  $\ln Co/C$  del tiempo, para las unidades experimentales. La constante K (tasa de biodegradación), se determinará por la pendiente de la curva.

**7.17 Tabla:** Datos de cálculo de la constante de degradación de TPH's en la celda C1-C2.

Tiempo (días)	$\ln Co/C$	TPH ppm
0	0,00	18640,00
30	2,203	2058,97
21	2,135	2203,06
22	2.16	2134,88

**Elaborado por:** Jonathan Arcos F.

**Cinética de primer orden  $\ln C_0/C = kt$  (C.7. F.4.)**

$$\ln 18640 / 2058,97 = 2,203$$

$$\ln 18640 / 2203 = 2,135$$

$$\ln 18640 / 2134,88 = 2,16$$

**Pendiente =  $Y_2 - Y_1 / X_2 - X_1$  (C.7. F.5.)**

$$K = 2,16 - 2,203 / 1 - 30$$

$$K = 0,025 / 29$$

$$K = 0,0014$$

Este valor señala que cada día desaparece 0,0014 partes de contaminante.

**A9.3. Tiempo de vida media.****(C.7.F.6.)**

Se Calcula mediante la ecuación  $t = \frac{-1}{K * \ln \frac{C}{C_0}}$  ó  **$t = -\ln (0,5)/k$**

$$t = -\ln (0.5)/0,0014$$

$$t = 0.693/0,0014$$

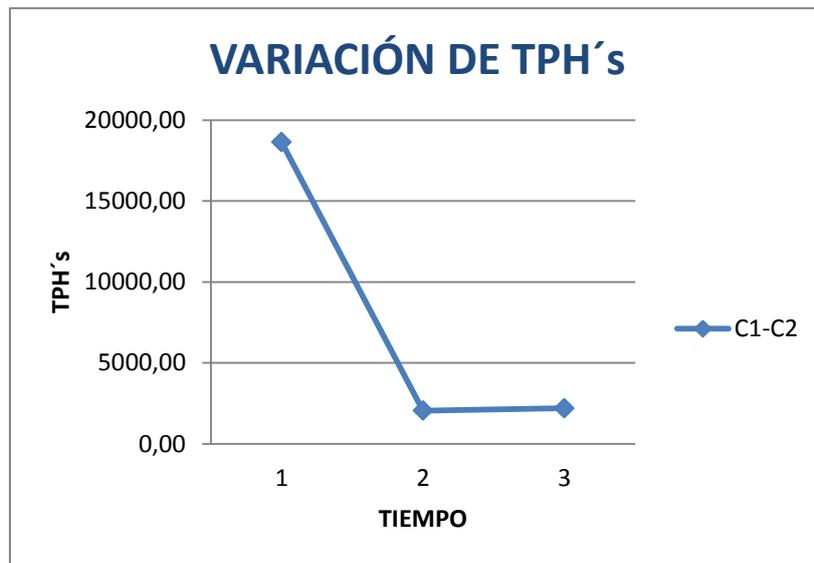
$$t = 468,3 \text{ /días}$$

El tiempo de vida media sería de 15,6 meses.

**A9.4. Rendimiento**

De los resultados obtenidos en el sistema de tratamiento biológico de los lodos industriales se establece que el rendimiento del sistema es **88,54%**, en 72 días de pruebas.

**7.7 Gráfico:** Disminución de la concentración de TPH's en la celda C1-C2.



Elaborado por: Jonathan Arcos F.

#### A9.5. Tasa de crecimiento microbiano C3-C4.

(C.7. F.7.)

Se utilizó la ecuación  $K = \frac{\ln N_2 - \ln N_1}{t_2 - t_1}$

$$K_1 = \ln 3,56 \times 10^6 - \ln 1196 / 24 - 4$$

$$K_1 = 15,08 - 7,08 / 20$$

$$K_1 = 7,99 / 20$$

$$K_1 = 0,39/\text{día}$$

**7.18. Tabla:** Datos de cálculo de la constante de degradación de TPH's en la celda C3-C4.

Tiempo (días)	lnCo/C	TPH ppm
0	0,00	18640,00
30	2,156	2157,45
21	2,277	1911,58

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

No se incluyen en los cálculos los datos obtenidos en la última medición por cuanto se obtuvieron valores contradictorios de 5968,67 ppm. Que podría deberse a errores en la toma de muestras o a contaminación debido a las precarias condiciones del sitio de experimentación.

**Cinética de primer orden  $\ln C_0/C = kt$  (C.7. F.8.)**

$$\ln 18640 / 2157,45 = 2,15$$

$$\ln 18640 / 1911,58 = 2,27$$

**Pendiente =  $Y_2 - Y_1 / X_2 - X_1$  (C.7. F.8.)**

$$K = 2,27 - 2,15 / 1 - 30$$

$$K = 0,12 / 29$$

$$K = 0,0041$$

**A9.6. Tiempo de vida media**

**(C.7. F.9.)**

Se Calcula mediante la ecuación  $t = \frac{-1}{K * \ln \frac{C}{C_0}}$  ó  **$t = -\ln (0,5)/k$**

$$t = -\ln (0.5)/0,0041$$

$$t = 0.693/0,0041$$

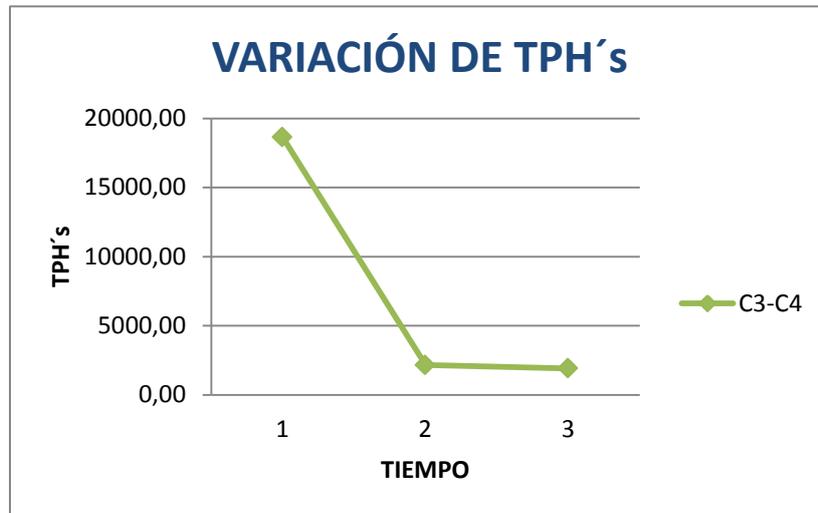
$$t = 169,02 \text{ /días}$$

El tiempo de vida media sería de 5,6 meses.

**A9.7. Rendimiento**

De los resultados obtenidos en el sistema de tratamiento biológico de los lodos industriales se establece que el rendimiento del sistema es **89,74%**, en 72 días de pruebas.

**7.8. Gráfico:** Disminución de la concentración de TPH's en la celda C3-C4.



Elaborado por: Jonathan Arcos F.

## A10. VARIACIÓN DE HAP's

Por razones de carácter económico solo se realizaron dos mediciones de HAP's una inicial y otra final. Los resultados nos muestran que la metodología aplicada en la biorremediación es también idónea para la degradación de HAP's. La efectividad del sistema para HAP's es de 99,99%. Esto se explica por la presencia del género *Rhodococcus*, que dispone de la maquinaria bioquímica ideal para degradar hidrocarburos aromáticos policíclicos.

**7.19. Tabla:** Concentración inicial y final de HAP's.

Muestra	HAP's (ppm)
Inicial	469
Final	0,9

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

Es necesario recordar que los límites establecidos en la legislación ambiental para HAP's en suelos para uso industrial son menores a 5 ppm, en tanto que nuestra investigación nos permitió obtener valores de menos de 1 ppm.

## **A11. Problemas de la investigación**

Pese a los buenos resultados obtenidos en la presente investigación, es necesario resaltar la dificultad de ampliar el análisis de laboratorio, a cada una de las celdas individuales, debido a los altos costos y a limitados recursos económicos de los investigadores.

Otro limitante fue las condiciones ambientales de temperatura imperantes en la ciudad de Quito y en especial en el laboratorio, estimamos que de obtener valores de temperatura cercanos a los ideales, podríamos obtener mejores resultados en cuanto a los tiempos de vida media.

La falta de fichas técnicas del material empleado en calidad de tamiz molecular, como la puzolana, cuya composición y características individuales, solo las suponíamos, basándonos en el material bibliográfico disponible sobre dicho material.

### **7.4.3. FASE DE CAMPO**

En forma paralela a los trabajos de laboratorio se decidió realizar trabajos de remediación de suelo dentro de las instalaciones de la Refinería de Esmeraldas. A continuación detallamos cronológicamente las actividades cumplidas en el campo.

#### **22 de Abril 2009.**

- Se realizaron todos los procedimientos y permisos para la autorización de el ingreso a R.E.E y empezar con el tratamiento de Biorremediación.

#### **23 de Abril 2009.**

- Recorrido las instalaciones de Refinería Estatal Esmeraldas para seleccionar y escoger los lodos para iniciar la Biorremediación.

**24 de Abril 2009.**

- Toma de muestras de residuos del fondo de la piscina de almacenamiento de residuos aceitosos ya vacía, donde se efectuaban trabajos de reparación y colocado de geomembrana. Cabe señalar que la piscina tiene 30 años de funcionamiento y de construcción.

**29 de Abril 2009.**

- Muestreo de los lodos aceitosos de la piscina de estabilización.
- Entrega de lodos para análisis de acuerdo al Reglamento ambiental de actividades hidrocarburíferas decreto N° 1215.

**7 de Mayo 2009.**

- Inicio de la construcción de 5 camas para el proceso de Biorremediación.
- Almacenamiento de materia orgánica y agua en 5 tanques de 55 galones que servirán para la humectación de los lodos aceitosos y la nutrición de los microorganismos del proceso de biorremediación.
- Recolección de la materia orgánica procedente de los residuos producidos en la cocina de la R.E.E.

**8 de Mayo 2009.**

- Limpieza del sitio asignado para colocar las camas para la Biorremediación.

**11 de Mayo 2009.**

- Adquisición de 7 sacos de cascarilla de arroz para la estabilización de los lodos aceitosos.
- Consecución de restos de pan caducado y en proceso de descomposición para adicionar a los lodos aceitosos; este pan contiene

moho (mucor), que es un hongo eficaz en los trabajos de Biorremediación.

- Adquisición de herramientas de trabajo como pala, machete, rastrillo, clavos y martillo.

#### **12 de Mayo 2009.**

- Ubicación de camas de tratamiento en el sitio asignado y preparado para el efecto.

#### **13 de Mayo 2009.**

- Recolección de materia orgánica en el comedor de la R.E.E y de las áreas verdes, ya que hay árboles de guayaba en que el fruto cae al suelo.
- Picado de materia orgánica y humectación de la misma.

#### **14 de Mayo 2009.**

- Recolección de materia orgánica en el comedor de la R.E.E y de las áreas verdes, ya que hay árboles de guayaba en que el fruto cae al suelo.

#### **19 a 22 de Mayo 2009.**

- Perforación de la base de las camas para la evacuación de lixiviados durante el proceso de biorremediación.
- Colocación de un recipiente plástico para la recolección de lixiviado, que se produce en la Biorremediación, por la humectación y la biodegradación de la materia orgánica e hidrocarburos presentes en los suelos.

**25 a 29 de Mayo 2009.**

- Tendido de los lodos y suelos aceitosos en cada cama correspondiente.

**4 de Junio 2009.**

- Dilución del crudo intemperizado con ayuda de 1 galón de ORANGE TOUGH 90 (limoneno) disuelto en un tanque de 55 galones con agua.

**5 de Junio 2009.**

- Pesaje de materiales necesarios para la estabilización de lodos y suelos contaminados a tratar.

**19 de Junio 2009.**

- Adición de cascarilla de arroz, puzolana, materia orgánica y pan en cada una de las camas, excepto en la cama de testigo.

**7.6. Foto:** Extracción los lodos del fondo de la piscina de estabilización.



**Elaborado por:** Jonathan Arcos F

### A) Diseño de celdas experimentales de campo

- El residuo a tratar fue extraído del fondo de la piscina de estabilización, la cual se encontraba en mantenimiento para colocar geomembrana.
- Se construyeron 5 camas de madera en la carpintería para colocar el residuo a tratar mediante Biorremediación por compostaje. Una de las camas servirá como testigo y las otras 4 camas para colocar el residuo y tratarlos con diferente cantidad de materia orgánica como también material de estabilización.

**7.7 Foto:** Camas experimentales (numero de camas 5)



**Elaborado por:** Jonathan Arcos F.

- Cada cama tendrá las siguientes medidas:

Largo: 1.50 m.

Ancho: 1.00 m.

Alto: 0.10 m.

Alto de el suelo a la cama: 0.65 m.

**7.8. Foto:** Tamaño de las camas experimentales.



**Elaborado por:** Jonathan Arcos F.

- En cada cama se coloca las siguientes cantidades: residuo a tratar, materia orgánica (cascarilla de arroz, materia orgánica, moho del pan), productos estabilizantes (puzolana).

**7.20. Tabla:** Cantidad de residuo a tratar y de materia orgánica a utilizar en cada cama.

Testigo	Residuo (Kg)	Cascarilla De Arroz (Kg)	Puzolana (Kg)	Zeolita (Kg)	Materia Orgánica (Kg)	Pan (Kg)
<b>Cama 1</b>	225	7,25	15,0	15,0	10,0	2,0
<b>Cama 2</b>	225	5,44	10,0	10,0	7,5	1,5
<b>Cama 3</b>	225	3,625	5,0	5,0	5,0	1,0
<b>Cama 4</b>	225	1,82	2,5	2,5	3,5	0,5

**Elaborado por:** Jonathan Arcos F.

- La estabilización de los lodos aceitosos duro un tiempo de 30 días, para que los residuos se deshidraten, pierda un poco de humedad, los componentes se mezclen correctamente y para que el lodo se vuelva con una mejor estructura y sea más manejable.
- La mezcla se la hizo extendiendo un plástico en el suelo, colocando primero el residuo en el plástico luego se colocaba la cascarilla de arroz, puzolana para estabilizar y hacer manejable al residuo.

- El lugar que se asignó para colocar las camas y empezar el proceso de Biorremediación, se encuentra junto al departamento de Gestión Integral, en donde se encuentran tres departamentos como son: Seguridad industrial, Protección Ambiental y Bomberos.

## B) Parámetros medidos en campo:

7.21. Tabla: Parámetros de pH.

pH				
FECHA	15/08/2009	22/08/2009	29/08/2009	04/09/2009
MUESTRA	pH	pH	pH	pH
C1- C2	5,42	5,36	5,31	5,26
C3- C4	5,8	5,54	5,36	5,2
CT	5,34	4,73	4,71	4,73

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

7.22 Tabla: Parámetros de temperatura.

Temperatura				
FECHA	15/08/2009	22/08/2009	29/08/2009	04/09/2009
MUESTRA	°C	°C	°C	°C
C1- C2	28	35	37	39
C3- C4	28	37	38	40
CT	27	29	32	37

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

7.23 Tabla: Parámetros de Conductividad.

Conductividad				
FECHA	15/08/2009	22/08/2009	29/08/2009	04/09/2009
MUESTRA	mS/cm	mS/cm	mS/cm	mS/cm
C1- C2	0,21	0,57	0,61	0,87
C3- C4	0,144	0,64	0,66	0,70
CT	0,172	0,62	0,64	0,75

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

**7.24 Tabla:** Parámetros de Humedad.

Humedad				
FECHA	15/08/2009	22/08/2009	29/08/2009	04/09/2009
MUESTRA	Humedad	Humedad	Humedad	Humedad
C1- C2	39%	54%	57%	60%
C3- C4	42%	58%	58%	60%
CT	34%	45%	48%	51%

Elaborado por: Jonathan Arcos F.

### C) Frecuencia de medición de parámetros:

- La adición de nutriente o de materia orgánica se la realizó cada 120 horas es decir cada 5 días.
- Una vez estabilizado con cascarilla de arroz, puzolana y agregando la materia orgánica, se realizó la aeración, volteando el residuo de lodos aceitosos, esto se lo realizo cada 5 días.
- La humectación se la medirá mediante un higrómetro para comprobar el grado de humedad que tiene el residuo de cada cama cada 120 horas es decir cada 5 días. Se tiene que obtener un resultado de 60% de humedad en cada cama, si no se encuentran las camas con el 60 % de humedad se adicionara agua a las camas.
- La temperatura, la conductividad y el pH se los medirá cada 5 días; la temperatura tendrá que tener un rango de 37°C a 45°C, el pH deberá tener un rango de 5,3 a 6,5.

#### 7.4.4. Resultados obtenidos.

- Los análisis obtenidos durante la Biorremediación de lodos aceitosos de REE, fueron excelentes, por lo que los resultados aportados de pH, conductividad, humedad y especialmente de temperatura estuvieron bajo los parámetros establecidos para que el proceso tenga buenos efectos en la biodegradación.

- Los lodos aceitosos remediados en las camas experimentales en la REE, presenta una buena soltura y maniobrabilidad, desapareció el olor a hidrocarburo y presenta un color marrón oscuro.

No se realizaron análisis de laboratorio de las camas experimentales, ya que por limitaciones económicas, debido a los altos costos de cada uno de los análisis y a los limitados recursos económicos de los investigadores.

### Lodos antes de biorremediarse

**7.9 Fotos:** Fotos del proceso de Biorremediación.



Elaborado por: Jonathan Arcos F.

### Lodos biorremediados



Elaborado por: Jonathan Arcos F.

## CAPITULO VIII

### 8.1. CONCLUSIONES

#### 8.1.1. Pruebas de laboratorio

- La Biorremediación de lodos y suelos contaminados con hidrocarburos generados en la Refinería Estatal de Esmeraldas, es factible mediante compostaje doméstico, empleando como fuente de nutrientes residuos orgánicos y sepas microbianas autóctonas.
- Un vez más se confirma la versatilidad del género *Pseudomona* y *Rhodococcus* para degradar contaminantes hidrocarbonados.
- El sistema resulta eficiente para la degradación de HAPs, cuya concentración en los lodos y suelos a tratar superan 93,8 veces la norma establecida en la legislación ambiental, presentando una efectividad del 99,99%.
- Pese a que los metales pesados no constituían un problema en los lodos sujetos a tratamiento, el sistema muestra no incidir sensiblemente en los valores de su concentración en los residuos en tratamiento.
- El empleo de tamices moleculares facilitan los procesos de biorremediación, por cuanto mejoran la estructura y propiedades de los lodos y suelos en tratamiento, proveyéndoles de maniobrabilidad, porosidad y mejorando su aireación, conductividad y propiedades mecánicas.
- El sistema de tratamiento es altamente efectivo para la biodegradación de hidrocarburos pese a que durante las pruebas no se pudo logara condiciones óptimas de temperatura y a que la relación de C-N fue estimada en forma empírica, empleando la experiencia adquirida en otros trabajos similares.
- La celda de tratamiento C3-C4 presenta la más alta tasa de rendimiento y efectividad en cuanto a la reducción de HAPs, TPHs y tiempos de vida media, (t= 5,6 meses; rendimiento 89,74% en 72 días), en comparación a la celda C1-C2 (t= 15,6 meses; rendimiento 88,54% en 72 días), mientras que la reducción de HAPs es igual en ambos sistemas.

- Los valores de pH, conductividad y humedad logrados en la investigación fueron los ideales.
- La frecuencia ideal de adición de pool bacteriano a las unidades de tratamiento fue de 72 horas y el volumen es equivalente a 35 ml/20kg.
- Los resultados experimentales de laboratorio, permiten concluir que se cumplieron a cabalidad los objetivos planteados en la presente investigación.
- Los resultados positivos, permiten articular una oferta de servicio de tratamiento biológico de lodos industriales al sector de la industria Hidrocarburífera del país, que en la actualidad no dispone de un sistema eficiente de gestión de sus lodos industriales.
- Un vez más se confirma la versatilidad del género *Pseudomona* y *Rhodococcus* para biodegradar hidrocarburos, a más del hecho de que estas se pueden encontrar en cualquier medio, en especial en aquellos que tienen una larga historia de contaminación.
- Pese a las condiciones precarias del “laboratorio” empleado para la ejecución de los trabajos, creemos que hemos cumplido a cabalidad con las metas propuestas, superando las limitaciones.
- Humato 7 plus muestra ser versátil en calidad de activador microbiano por cuanto pese a las bajas temperaturas se obtuvieron tasas de crecimiento microbiano cercanas a la ideal, esto se debe a la presencia de micro elementos indispensables para la activación de los sistemas fermentativos de los microorganismo.

### **8.1.2. Pruebas de campo.**

- La Biorremediación de lodos y suelos contaminados con hidrocarburos generados en la refinería estatal de Esmeraldas, es factible mediante compostaje doméstico, empleando como fuente de nutrientes residuos orgánicos y sepas microbianas autóctonas .
- El sistema resulta eficiente para la degradación de HAPs, cuya concentración en los lodos y suelos a tratar superan 93,8 veces la norma

establecida en la legislación ambiental, presentando una efectividad del 99,99%.

- El sistema de tratamiento es altamente efectivo para la biodegradación de hidrocarburos pese a que la relación de C-N fue estimada en forma empírica, empleando la experiencia adquirida en otros trabajos similares.
- El sistema de tratamiento es altamente efectivo para la biodegradación de hidrocarburos ya que las condiciones de temperatura son óptimas, obteniendo temperaturas que oscilan de 37 °C a 40 °C, el pH con un rango de 5,2 a 5,8 el valor más alto y obteniendo una humedad del 60%.
- El empleo de tamices moleculares facilita los procesos de biorremediación, por cuanto mejoran la estructura y propiedades de los lodos y suelos en tratamiento, proveyéndoles de maniobrabilidad, porosidad y mejorando su aireación, conductividad y propiedades mecánicas.
- Los valores de pH, conductividad y humedad logrados en la investigación fueron los ideales.
- Los resultados experimentales de la fase en campo, permiten concluir que se cumplieron a cabalidad los objetivos planteados en la presente investigación.

## **8.2 RECOMENDACIONES**

- Investigar cuál de los tamices moleculares empleados en el sistema de tratamiento, es el responsable del ligero incremento en la concentración del níquel.
- Efectuar análisis de laboratorio de los lodos tratados en condiciones de campo en la Refinería de Esmeraldas.
- Mantener un programa permanente de investigación, desarrollo y perfeccionamiento de técnicas de Biorremediación de lodos industriales.
- Buscar materiales sustitutos a la cascarilla de arroz en calidad de material esponjante, de mayor abundancia, disponibilidad, y bajo costo.

- Ampliar la búsqueda de fuentes alternativas de nutrientes, de bajo costo y libre disponibilidad, tales como residuos de vegetales como: palma, caña, maíz, café, hortalizas y frutas.
- Verificar los resultados obtenidos mediante pruebas en laboratorio independiente, de ser posible usando un pequeño biorreactor experimental.
- Conformar un equipo multidisciplinario que apruebe las metodologías y trabajos de remediación que se ejecuten en el Ecuador.
- Planificar una propuesta de trabajo en condiciones de campo a gran escala.
- Efectuar una identificación bioquímica más detallada de las cepas empleadas en la biorremediación de la presente investigación, de ser posible llegar a la identificación genética, con fines de patentado y creación de bancos de cepas.
- Buscar fuentes de financiamiento y apoyo para la realización de análisis de laboratorio complementarios para sustentar de mejor forma los resultados obtenidos.

## BIBLIOGRAFÍA

**Nota:** Las letras que se encuentran dentro de los corchetes, son las citas bibliográficas del mismo autor que se repiten en diferentes páginas y párrafos del texto.

1. Álvarez, Yomar (2009). Suelos afectados por derrames de hidrocarburos: Alternativas de remediación en El Terminal de Productos Limpios El Beaterio Petrocomercial. [a] [b]
2. (Aubert, C, et al 1998). (Tecnología de biorremediación con compostaje para la recuperación y gestión urbanística sostenible de zonas contaminadas. El huerto biológico. Ed. Integral Barcelona. 252 pp. Canovas, A. 1993). [b] [c] [d] [e] [f] [g] [h] [i] [j] [k] [l] [m].
3. <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>. [a] [b] [c] [d] [e].
4. (Thomas J. et al. 2001). Proyecto "Life" de Demostración de la Tecnología de Biorremediación con Compostaje Para la Recuperación y Gestión Urbanística Sostenible de Zonas Contaminadas en Desuso. [a] [b]
5. (Infante, C y Vásquez, P., 2000; Vol. 50). Explotación Petrolera Y Ambiente, Acta Científica Venezolana, , Suplemento No. 1, 71-74 1999, PDVSA Intevep, Departamento De Ecología Y Ambiente,
6. (Schmidt Wini Dr, et al, 2001) JC And Environmental Resources Management Hazardous Waste Management. Mcgraw-Hill.
7. EPA (United States Environmental Protection Agency). [a] [b] [c] [d] [e] [f] [g]
8. Lu Chau Thelmo 2003. Biorremediacion, Departamento De Ingeniería Química, Instituto De Investigaciones Tecnológicas, Universidad Santiago De Compostela
9. Gualoto, Miguel, 2008. Material utilizado en la Universidad de las Américas (UDLA), Asignatura Biorremediacion.
10. Schmidt, W. 1999. Suelos contaminados con hidrocarburos: La biorremediación como una solución Ecológicamente compatible, Cooperación técnica alemana.

11. Ercoli, E.C, et al, 2000. Laboratorio de Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional De Cuyo. 5500. Mendoza. República Argentina.
12. Valverde, Rommel. Octubre de 2008. Actualización Y Evaluación Del Plan Para El Manejo De Residuos Sólidos En El Complejo Industrial Shushufindi.
13. Valverde, Rommel, Agosto 2008. ESPOJ, Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos En La Refinería La Libertad Y Planta Cautivo, [b] [c] .
14. Magazine Petroindustrial N°1, Refinería La Libertad. 1 Agosto 2006.
15. Diseño del Sistema de Tratamiento de Lodos del Terminal Pascuales, Petroecuador, 17 de Septiembre del 2007.
16. ABRUS, Julio 2006, a. Auditoría y Plan de Manejo Ambiental del Terminal de Productos Limpios El Beaterio. [a] [b].
17. (MDMQ, Proyecto de Ordenanza, Manejo de Lodos, Quito 22 de Marzo del 2004) [a] [b]
18. <http://www.monografias.com/trabajos10/tratamie/tratamie.shtml>. [a] [b].
19. Aislabe J. et al, hydrocarbon-degrading bacteria. Enumeration of hydrocarbon degrading bacteria in the environment. Microbial ecology: fundamentals and applications. 2da ed. p. 218, 305, 356, 361.1999 [a] [b] [c] [d] [e] [f].
20. Estudio de Impacto Ambiental del campamento Base de Weatherford, El Coca, 2005.
21. Teresa J. Mc Ghee, 2000. Abastecimiento De Agua Y Alcantarillado, Ingeniería Ambiental, Sexta Edicion, Mc. Graw Hill, Santa Fe De Bogotá, Pag.486.
22. <http://www.alexanderbonilla.com/files/agua/archivo26.htm>. [b]
23. Ministerio de Comercio e Industrias de La República de Panamá, Reglamento Técnico Dgnti-Copanit 47-2000 Agua, Norma de Usos y Disposición Final de Lodo, 2000.
24. Seoáñez M, Manual de Contaminación Marina y Restauración del Litoral, Manual Para Políticas, Técnicas. Enseñantes y Estudios de La Ingeniería

del Medio Ambiente, Tratado de Recicladas y Recuperación de Productos de Los Residuos. [a] [b] [c]

25. Romero A, 2001. Tratamiento de Aguas Residuales.- Teoría y Principios de Diseño.
26. <http://www.greenpeace.org/espana/contaminacion/contaminacion-refinerias/cuales-son-las-practicas-mas>. [a] [b]
27. <http://es.wikipedia.org/wiki/Fango>. [a] [b]
28. Sánchez M, et al, 2000. Desarrollo Social, Propuesta de Manejo de Residuos Sólidos Industriales en Barranquilla, Colombia. [a] [b] [c] [d] [e] [f] [g].
29. Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador Decreto No. 1215, Anexo 6 Glosario.
30. Morris L y Michael A. Editorial Mc Graw Hill 1997. Biotratamiento de Residuos Tóxicos y Peligrosos.
31. [Http://www.etsav.upc.es/personals/monclus/cursos/1301.htm](http://www.etsav.upc.es/personals/monclus/cursos/1301.htm)
32. Infante, C. 2009. Sistemas de Biorremediación para tratamientos de derrames y desechos de origen petrolero. [a] [b] [c] [d] [e]
33. Craig G. Cogger, et al. 2000. Washington State University; Oregon State University especialista en ciencias de tierras agrícolas
34. [http://desarrollosustentable.pemex.com/files/content/informes\\_docs/informe03/dsi\\_03\\_12\\_glosario.pdf](http://desarrollosustentable.pemex.com/files/content/informes_docs/informe03/dsi_03_12_glosario.pdf). [a] [b]
35. <http://www.etsav.upc.es/personals/monclus/cursos/1301.htm>
36. Reevaluación Y Actualización Del Plan De Manejo Ambiental De La Refinería Estatal De Esmeraldas.
37. <http://www.oceanus.com.ec>

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

### A

**Aislamiento térmico:** Es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción.

**Asbesto:** También llamado amianto, es un grupo de minerales metamórficos fibrosos, estos minerales tienen fibras largas y resistentes que se pueden separar y son suficientemente flexibles como para ser entrelazadas y también resiste altas temperaturas.

### B

**Biodegradación:** Se refiere al proceso natural mediante el cual bacterias u otros microorganismos alteran y convierten moléculas orgánicas en otras Sustancias, como ácidos grasos y CO<sub>2</sub>.

**Biorremediación:** Adición de materiales a ambientes contaminados para Producir una aceleración del proceso natural de biodegradación.

**Bunkering:** Es la práctica de transferir combustible de un barco a otro.

**Bpd:** Barriles por día.

### C

**Carbón activado:** derivado del carbón que ha sido tratado de manera de convertirlo en un material extremadamente poroso y por lo tanto posee un área superficial muy alta que toma muy eficiente en fenómenos de absorción o las reacciones químicas

**Catalizador:** Son sustancias químicas que en un proceso llamado catálisis, modifica la velocidad de una reacción química.

**CIS:** Complejo Industrial Shushufindi.

**Coque:** Es un combustible obtenido de la destilación de la hulla calentada a temperaturas muy altas en hornos cerrados la cual le añaden calcita para potencializar su combustión.

**Cracking térmico:** Proceso mediante el cual aumenta el rendimiento de la destilación.

**Crudo residuo:** Son los componentes mas pesados del petróleo que no se logran vaporizar.

**D**

**Depósitos fluviales:** Sedimentos que se acumulan a partir de la actividad de los ríos.

**Destilación primaria o Topping:** Es el primer paso en la destilación del petróleo crudo. Proceso mediante el cual el petróleo o crudo se destila fraccionadamente en su mas de 1000 hidrocarburos.

**Derrame de Hidrocarburos:** Escape de hidrocarburos producidos por causas operacionales imprevistas o por causas naturales, hacia los diversos cuerpos de agua y suelos.

**E**

**EIA:** Estudio de Impacto Ambiental

**F**

**Factores abióticos.** Los aspectos del medio físico que influyen en la existencia de un organismo, población o comunidad.

**Factores bióticos.** Los seres vivos que acompañan a otro dado en una comunidad, en la medida en que influyen en su existencia.

**Fango:** suspensión de sólidos en líquidos provenientes del tratamiento de aguas, alcantarillados, fondos de tanques u otros similares sin restricción de componentes y estado.

**FCC:** Fraccionamiento y Craqueo Catalítico.

**Fertilización:** Método de Biorremediación de adición de nutrientes, como N o P a un medio contaminado para estimular el crecimiento de microorganismos Nativos.

**G**

**GLP:** Gas Licuado de Petróleo.

**H**

**HAP:** Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH- abreviación del término ingles. HAP es un grupo de compuestos de los cuales algunos son conocidos por su alto potencial cancerígeno.

**I**

**Inoculación:** Adición de microorganismos a un sitio contaminado, los cuales pueden adicionarse junto con nutrientes.

## L

**Límite permisible:** Valor máximo de concentración de elemento(s) o sustancia(s) en los diferentes componentes del ambiente, determinado a través de métodos estandarizados y reglamentado a través de instrumentos legales.

## M

**Material refractario:** Es aquel material capaz de resistir las condiciones del medio en el que esta inmerso sin alteraciones importantes en sus propiedades físico-químicas.

**Materia orgánica:** Materia cuya composición se basa en el tipo compuestos de carbono, hidrógeno y otros elementos (compuestos orgánicos) que caracterizan a los seres vivos. Es una expresión frecuente para designar los restos orgánicos que forman parte de la composición del suelo.

**Mesófilo:** Organismo que tiene una temperatura óptima de crecimiento comprendida entre 20°C y 45°C, la temperatura mínima se encuentra en el rango de 15°C a 20°C y la temperatura máxima en torno a 45°C.

**Microorganismos:** Son organismos dotados de individualidad que presentan, a diferencia de las plantas y los animales, una organización biológica elemental. En su mayoría son unicelulares, aunque en algunos casos se trate de organismos cenóticos compuestos por células multinucleadas, o incluso multicelulares.

## R

**Remediación Ambiental:** Conjunto de acciones y técnicas con el objetivo de restaurar condiciones ambientales originales o mejoradas, sustancialmente en sitios contaminados y/o degradados como consecuencia de actividades humanas sinónimos: rehabilitación ambiental, reparación ambiental, restauración ambiental.

**Remediación:** Es generalmente tema de requerimientos regulatorios y, además, puede estar basado en gravámenes de salud humana y riesgos ecológicos donde no existen estándares legislados o donde los estándares son consultivos.

**REE:** Refinería Estatal Esmeraldas.

**RLL:** Refinería la Libertad.

## **S**

**SOTE:** Sistema de Oleoducto Transecuatoriano.

## **T**

**Tamiz molecular:** Material que contiene poros pequeños de un tamaño preciso y uniforme que se usa como agente adsorbente para gases y líquidos.

**Tanque Imhoff:** Tanque de dos pisos en el cual la sedimentación tiene lugar en el compartimiento superior, y la digestión y acumulación de los lodos en el compartimiento inferior.

**Termófilo:** Se aplica a organismos vivos que pueden soportar condiciones extremas de temperatura relativamente altas, por encima de los 45°C o relativamente bajas.

**TPH:** Total de Hidrocarburos de Petróleo (solubles o recuperables en ciertos solventes) sinónimo: hidrocarburos minerales.

## **U**

**Ufc's:** Unidad formadoras de colonias.

## **Anexo N° 1**

### **Pruebas de Biorremediación en Laboratorio de Lodos de Refinería Estatal Esmeraldas**

#### **28 de Julio 2009.**

- Limpieza del laboratorio.
- Esterilización de materiales.
- Preparación del extracto para siembra, 100 gr de muestra en 900 ml de agua destilada.
- Preparación de las celdas experimentales, conformes al protocolo acordado.

#### **29 de Julio 2009.**

##### **EN LA MAÑANA.**

- Preparación de 500 ml de agar nutritivo.
- Preparación de 24 tubos de ensayo con agua destilada y esterilizada para diluciones.
- Llenada de 20 cajas petri con agar nutritivo para siembra.
- Preparación de materia prima (residuos orgánicos) para adicionar al sistema de tratamiento.

##### **EN LA TARDE.**

- Siembra directa en agar nutritivo en superficie y en profundidad para verificar presencia de anaerobios.
- Siembra en diluciones  $10^{-1}$  a  $10^{-6}$ .
- Incubación por 48 horas.

#### **30 de Julio 2009.**

- Verificación de presencia de microorganismos (en las cajas petri de muestra directa a las 24 horas), se pudo observar que hubo crecimiento de microorganismos, en las cajas petri con diluciones.
  - $10^{-4}$  No se presenta crecimiento de microorganismos (UFC's).
  - $10^{-5}$  Se presentaron un pequeño crecimiento de microorganismos (UFC's).
  - $10^{-6}$  No se presenta crecimiento de microorganismos (UFC's).

- Se hicieron diluciones de  $10^{-1}$  a  $10^{-6}$ , utilizando las diluciones de  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$   $10^{-6}$  y una siembra directa.
- Se dejó homogenizando y preparando la materia orgánica para adicionar a los residuos en tratamiento.
- Verificación de la siembra en los tubos de ensayo, lo cual no se observó que las (UFC's) no se desarrollaron a las 24 horas.

### **31 de Julio 2009.**

#### **1. Verificación de crecimiento:**

- Siembra directa: se constata la presencia de al menos 4 formas (variedades) morfológicas distintas.

Diluciones:

$$10^{-4} = 4 \text{ (UFC's).}$$

$$10^{-5} = 14 \text{ (UFC's).}$$

$$10^{-6} = 1 \text{ (UFC's).}$$

Procedemos a repetir las siembras, para confirmar de lo obtenido en la primera siembra, solo en diluciones.

#### **2. Siembra en tubos de ensayo:**

- Siembra directa, la superficie está cubierta de (UFC's), no se evidencia aún la presencia de anaerobios.
- $10^{-4}$  = No hay evidencias de (UFC's) en la superficie, ni en profundidad.
- $10^{-5}$  = Pequeñas evidencias de (UFC's) en superficie, aún no se puede confirmar presencia de anaerobios.
- $10^{-6}$  = Presencia de una gran colonia de (UFC's) de color pardo rojizo, claro y 2 burbujas que deberían ser confirmadas para presencia de anaerobios.

#### **3. Siembras repetidas.**

- $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$   $10^{-6}$  en cajas petri y en tubos de ensayo.

#### **4. Adición de materia orgánica:**

- Materia orgánica = 1 kg.

- Moho de pan = 600 gr.
- Adición de 350 ml de agua para humectación.

#### **2 de Agosto 2009.**

- Mezcla de celdas experimentales, no se humecto, solo se homogenizo.
- Cultivos: se identificaron 6 sepas bacterianas, morfológicamente diferentes.
- Procedemos a realizar la siembra de cada sepa identificada en cultivo diferente, empleando los siguientes códigos:
  - **RE-S1:** Sepa de color anaranjado, círculos uniformes con anillos pequeños de 3mm.
  - **RE-S2:** Sepa de color amarillo círculos uniforme de 5mm.
  - **RE-S3:** Sepa de color crema de borde regular (círculos), 2 anillos concéntricos, en centro presenta un color oscuro.
  - **RE-S4:** Sepa de color blanquecino, con el borde irregular, y en centro presenta un color claro, de unos 7 – 8 mm.
  - **RE-S5:** Sepa de color negro, de bordes irregulares, centro de color crema (amarillo –negro), con bordes cremas. Consistencia dura reverso de color gris, de 1.5 cm.
  - **RE-S6:** Sepa de color crema, de bordes irregulares, de superficie blanda, de 1,8 – 2 cm de diámetro.

#### **4 de Agosto 2009.**

- Preparamos 50 ml de solución de gelatina para sembrar en tubo de ensayo y en superficie.

#### **5 de Agosto 2009.**

- Preparamos una solución de 100 ml KNO (nitrato de potasio) con 200 ppm de KNO.
- Adicionamos una suspensión  $10^{12}$  UFC's según MAC. FARLAND, para todas las cepas identificadas.
- Incubar por 24 horas a 38°C y medir la concentración de nitratos utilizado tiras de nitratos.
- Reacción de oxidasas, tomar de cada cepa con ayuda de un palillo desinfectado, con una pequeña porción de cada una de las cepas

identificadas e impregnando en un disco de oxidasa de color blanco y verificar cambios de color.

- Realizar pruebas de Gram.
- Observación microscópica para morfología bacteriana y fotografía.

#### **Anexo No 2. PRUEBAS DE OXIDASAS:**

- **RE-S1** : Oxidasa Positiva (+)
- **RE-S2** : Oxidasa Negativa (-)
- **RE-S3** : Oxidasa Positiva (+)
- **RE-S4** : Oxidasa Negativa (-)
- **RE-S5** : Oxidasa Negativa (+)
- **RE-S6** : Oxidasa Positiva (-)

#### **Anexo No 3. PRUEBAS DE GELATINA:**

- **RE-S1** : Positiva (+) (bastante liquido).
- **RE-S2** : Positiva (+) (menos eficiente, poco liquido)
- **RE-S3** : Positiva (+) (muy poco eficiente)
- **RE-S4** : Positiva (+) (más fluido que el anterior)
- **RE-S5** : Positiva (+) (mas fluido que el anterior)
- **RE-S6** : Positiva (+) (mas fluido que el anterior)

#### **Anexo No 4. PRUEBAS DE NITRATOS:**

#### **Confirmación**

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| ▪ <b>RE-S1</b> : 100 negativo (-) | ✓ |
| ▪ <b>RE-S2</b> : 100 negativo (-) | ✓ |
| ▪ <b>RE-S3</b> : 100 negativo (-) | ✓ |
| ▪ <b>RE-S4</b> : 100 negativo (-) | ✓ |
| ▪ <b>RE-S5</b> : 100 negativo (-) | ✓ |
| ▪ <b>RE-S6</b> : 100 negativo (-) | ✓ |

#### **6 de Agosto 2009.**

- Verificamos las pruebas de nitratos, gelatina (ver tabla anterior).
- Realización de pruebas de Gram.

**Anexo No 5. Tabla No 25.** Resultados de pruebas de Gram y morfología.

SEPA	G (+)	G (-)	FORMA
RE-S1	✓		ESFERICAS (COCOS)
RE-S2		✓	ESFERICAS (COCOS)
RE-S3	✓		CADENAS (ESTREPTO-BASILOS)
RE-S4		✓	ESFERICAS (COCOS)
RE-S5	✓		ALARGADAS EN FORMA DE BASTONES (BASILOS)
RE-S6			

**Elaborado por:** Jonathan Arcos F.

#### **PROTOCOLO DE GRAM:**

- En un vidrio porta objetos limpio, depositar una gota de agua destilada.
- Con una aza microbiológica esterilizada, tomar una pequeña muestra de pared y diluirla en la gota de agua colocada en el vidrio porta objetos, extender la muestra procurando hacerlo en forma uniforme y no salirse del borde del vidrio.
- Flamear el aza.
- Secar el agua del vidrio acercándolo en forma ondulatoria a la llama del mechero, procurando no quemar la muestra, así logramos la fijación bacteriana.

#### **PRUEBA DE GRAM:**

- 1) Tomamos el vidrio porta objetos con la muestra fijada y cubierta completamente con cristal violeta, dejar en reposo 1 minuto, luego se elimina el exceso de colorante con abundante agua.
- 2) Adicionamos lugol cubriendo completamente el material, dejar en reposo por 1 minuto, eliminar el exceso de agua.
- 3) Adicionamos a la placa una mezcla de alcohol cetona durante 10 segundos, lavar con abundante agua.
- 4) Añadimos safranina y dejar por 1 minuto, eliminar el exceso con abundante de agua.

- 5) Dejar secar al aire.
- 6) Observar bajo el microscopio con las lentes de 80 y 100 XX.

### **7 de Agosto 2009.**

1. Preparación del medio de cultivo para obtención del pool microbiano.
  - 100 gr de residuo estabilizado.
  - 900 ml de agua destilada.
  - Mezclar profusamente y dejar reposar por 24 horas.
2. Mezcla de celdas experimentales.
3. Muestreo para análisis en el laboratorio.
4. Adición de nutrientes y humectación.

### **11 de Agosto 2009.**

- a) Prueba de repetición con melaza como fuente de carbono (adicionando 2ml de melaza).
- b) Esterilización del extracto del medio estabilizado con:
  - Cascarilla de arroz.
  - Puzolana.
  - Biosoil.
  - Materia orgánica.
- Dejar reposar por 24 horas, separar el sobrenadante y sobre el depositar:
  - $1,5 \times 10^8$  UFC's de cada sepa (según Mc-Farland).
  - 5% de glucosa.
  - 2 c.c de Humato +7 plus.
- Dejar Incubar durante 24 horas.
- Adicionar 35 cc de pool microbiano a cada celda experimental.

### **12 de Agosto 2009.**

- Preparación del pool microbiano.
- Preparación del equipo para la siembre.

- Preparación de 20 tubos de ensayo con 9 ml de agua destilada para esterilizar y realizar diluciones. (agua necesaria para diluciones)
- Incubación del pool microbiano.

**13 de Agosto 2009.**

- Adición del pool microbiano a las celdas en un volumen de 35 ml/celda.
- Mezcla de residuos y humectación con 250 ml de agua en cada celda.
- Lavado de materiales de laboratorio.
- A partir del día sábado 15 de agosto, control de parámetros del proceso de Biorremediación: Temperatura (T), pH, Humedad, Conductividad.
- Inicio de cinética microbiana y preparación de medio de cultivo para conteo de UFC's.

**14 de Agosto 2009.**

- Esterilización de equipos y materiales (cajas petri, tubos de ensayo, frascos y pipetas).
- Preparación de 10 cajas petri con agar nutritivo para siembra y cinética microbiana.

**15 de Agosto 2009.**

- Adición de materia orgánica a las celdas.
- Adición de 35 ml de pool microbiano.
- Humectación de las celdas con 250 ml de agua.

**17 de Agosto 2009.**

- Siembra del pool microbiano en agar nutritivo.
- Revisión a las 8 horas. Determinar el número de UFC's inicial.
- Control de temperatura, pH, conductividad, y UFC's.

**Para control de UFC's:**

- Tomar 10 gr de cada una de las celdas 1-2, 3-4, celda de testigo; luego diluir en 100 ml de agua destilada.
- Tomar 1 ml de solución y pasarlo a un tubo de ensayo con 9 ml de agua destilada esterilizada, para obtener una dilución de  $10^{-1}$ .
- Continuar la dilución hasta  $10^{-6}$ .
- Sembrar en agar nutritivo las soluciones  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  de cada una de las muestras.

- Emplear códigos **C (1-2) UFC's**, para las diluciones de  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$ , **C (3-4) UFC's**, para las diluciones  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  y **C (T) UFC's**, para las diluciones  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$ .
- Poner a incubar a 37°C durante 24 horas.
- Realizar el conteo microbiano de UFC's, bajo el contador de colonias.

**Procedimiento:**

- Dividir las cajas petri en 4 partes.
- Contar las UFC's presentes en  $\frac{1}{4}$  parte.
- Multiplicar el número obtenido por 4.
- Al resultado adicionar la dilución.
- Expresar todos los datos en  $10^{-6}$
- Recordar el valor negativo  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  se transforma en positivos,  $10^4$ ,  $10^5$  y  $10^6$ .

**18 de Agosto 2009.**

**Materiales:**

- 18 tubos de ensayo con agua destilada esterilizada.
- Cajas petri con agar nutritivo para la siembra de las diluciones  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  de cada celda.
- 3 pipetas estériles de 1 ml para las diluciones.

El conteo de UFC's hacerlo cada 72 horas.

La medición de parámetros cada 72 horas.

**Procedimiento de medición de pH y conductividad:**

- Tomar 10 gr de sustrato de cada celda y diluirla en 100 ml de agua destilada.
- Dejar reposar.
- Medir el pH con una tira de papel o con un pHmetro.
- Medir la conductividad sumergiendo el conductímetro hasta la marca. Anotar en una tabla por fechas.
- Medir la temperatura directamente en las celdas, sacar el valor promedio de ambas celdas y anotar.
- Medir la humedad directamente con el higrómetro, adicionar agua si es necesario para obtener un mínimo de humedad del 50%.

**24 de Agosto 2009.**

- Esterilización de materiales y equipos.
- Adición de pool microbiano (bacterias).
- Siembra de CT, CT(1-2), CT(3-4).
- Medición de parámetros.
- Confirmación de pH.

**25 de Agosto 2009.**

- Triturar materia orgánica.
- Conteo de UFC's.
- Preparación del pool microbiano.

**26 de Agosto 2009.**

- Adición del pool microbiano al extracto (incubación).
- Preparación de medio de cultivo en cajas petri.

**Preparación de resultados:**

- Cálculos de cinética bacteriana.
- Preparación de materia orgánica.

**27 de Agosto 2009.**

- Preparación y Muestreo de cada una de las celdas para análisis de laboratorio.
- Siembra para conteo de UFC's.
- Medición de parámetros.
- Adición del pool microbiano.

**31 de Agosto 2009.**

- Siembra para conteo de UFC's.
- Medición de parámetros.
- Se adiciono materia orgánica.
- Adición de pool bacteriano.
- Humectación, ya que las celdas C1, C2, C3, C4, CT, se encuentran un poco secas.
- Esterilización del material de laboratorio, para las diluciones y siembra para UFC's.

**2 de Septiembre 2009.**

- Conteo de UFC's.
- Siembra para conteo de UFC's.
- Se pudo sembrar en las C(1-2)  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$ ; C(3-4)  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$ , en la CT solo se sembró en la CT  $10^{-5}$ , ya que las cajas petri CT  $10^{-4}$  y CT  $10^{-6}$  se encontraron contaminadas.

**3 de Septiembre 2009.**

- Se preparo 36 cajas petri con medio de cultivo para siembra de bacterias.
- 360 ml de agua destilada.
- 8.28 gr de agar nutritivo.

**7 de Septiembre 2009.**

- Realizamos diluciones  $10^{-1}$  a  $10^{-6}$ , para siembra de bacterias.
- Sembramos las diluciones  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  en cajas petri con su respectivo membrete C(1-2), C(3-4) y CT.
- Realizamos la medición de parámetros: Temperatura, conductividad, pH.

**8 de Septiembre 2009.**

- Humectación de cada una de las celdas usando HUMATO +7.
- Adición del pool bacteriano en cada una de las celdas.
- Conteo de UFC's de la siembra del día anterior.

**9 de Septiembre 2009.**

- Esterilizamos el equipo que se utiliza para las diluciones y para las siembras.
- Limpieza del laboratorio.

**10 de Septiembre 2009.**

- Preparamos 19 cajas petri con agar nutritivo como medio de cultivo, para la siembra del día siguiente.
- Esterilizamos el equipo para la siembra del siguiente día.
- Esterilizamos y desinfectamos la refrigeradora donde se conservan las cajas petri en las que se realiza la siembra.

Esto se realizo porque las cajas petri estaban contaminadas.

**16 de Septiembre 2009.**

- Conteo de UFC's.
- Esterilización de materiales para la siembra.
- Preparación de agar nutritivo para la siembra de bacterias en las cajas petri.
- Preparación de cajas petri para la siembra.

**17 de Septiembre 2009.**

- Volteo y aeración de cada una de las celdas.

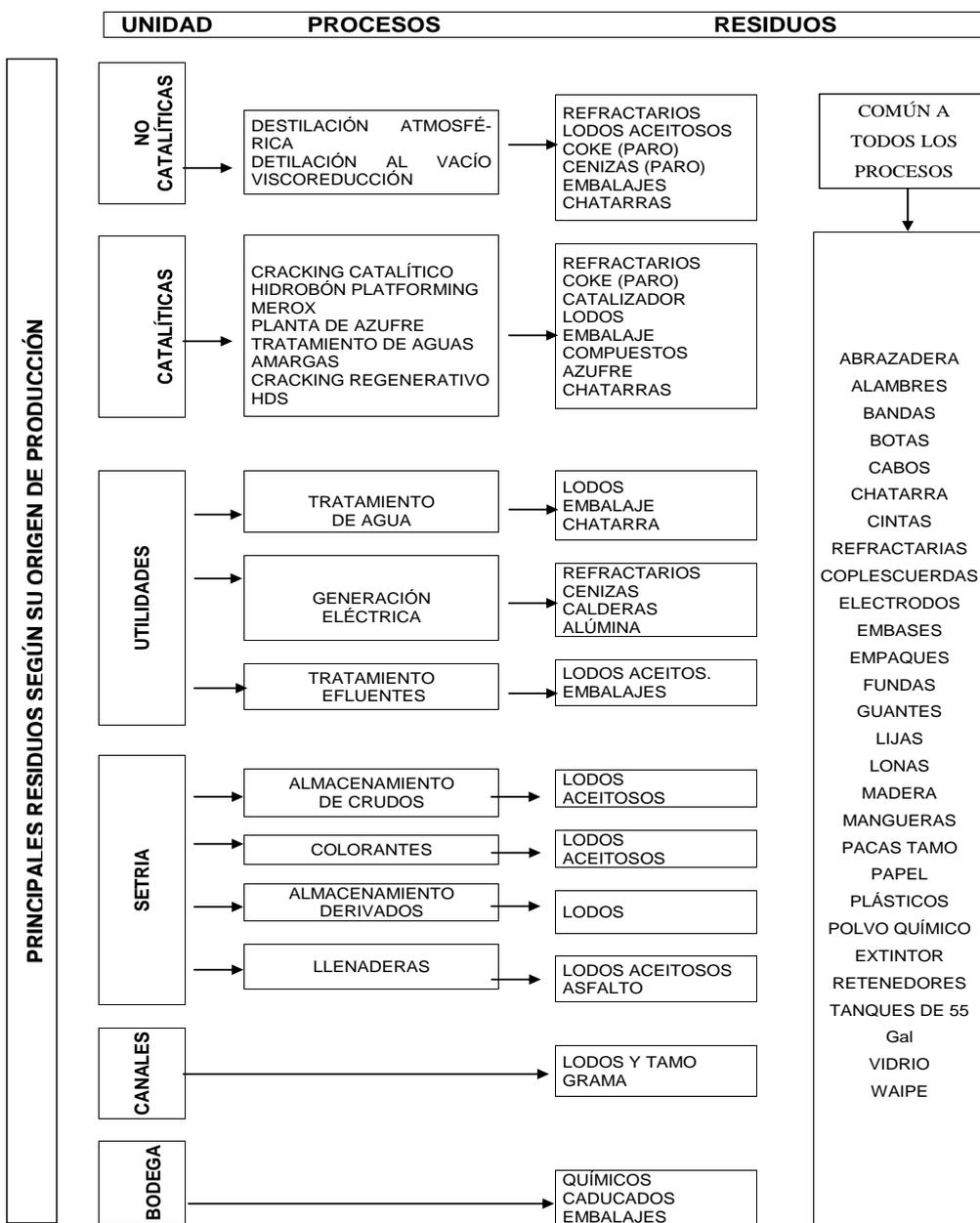
**18 de Septiembre 2009.**

- Diluciones  $10^{-1}$  a  $10^{-6}$  para cada una de las celdas C(1-2), C(3-4) y CT.
- Siembra de diluciones  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  en las caja petri, etiquetadas correspondientemente.
- Colocamos las cajas petri una ves sembradas las bacterias en la incubadora, para su reproducción.
- Lavado de los materiales utilizados en las diluciones y en la siembra bacteriana.

**21 de Septiembre 2009.**

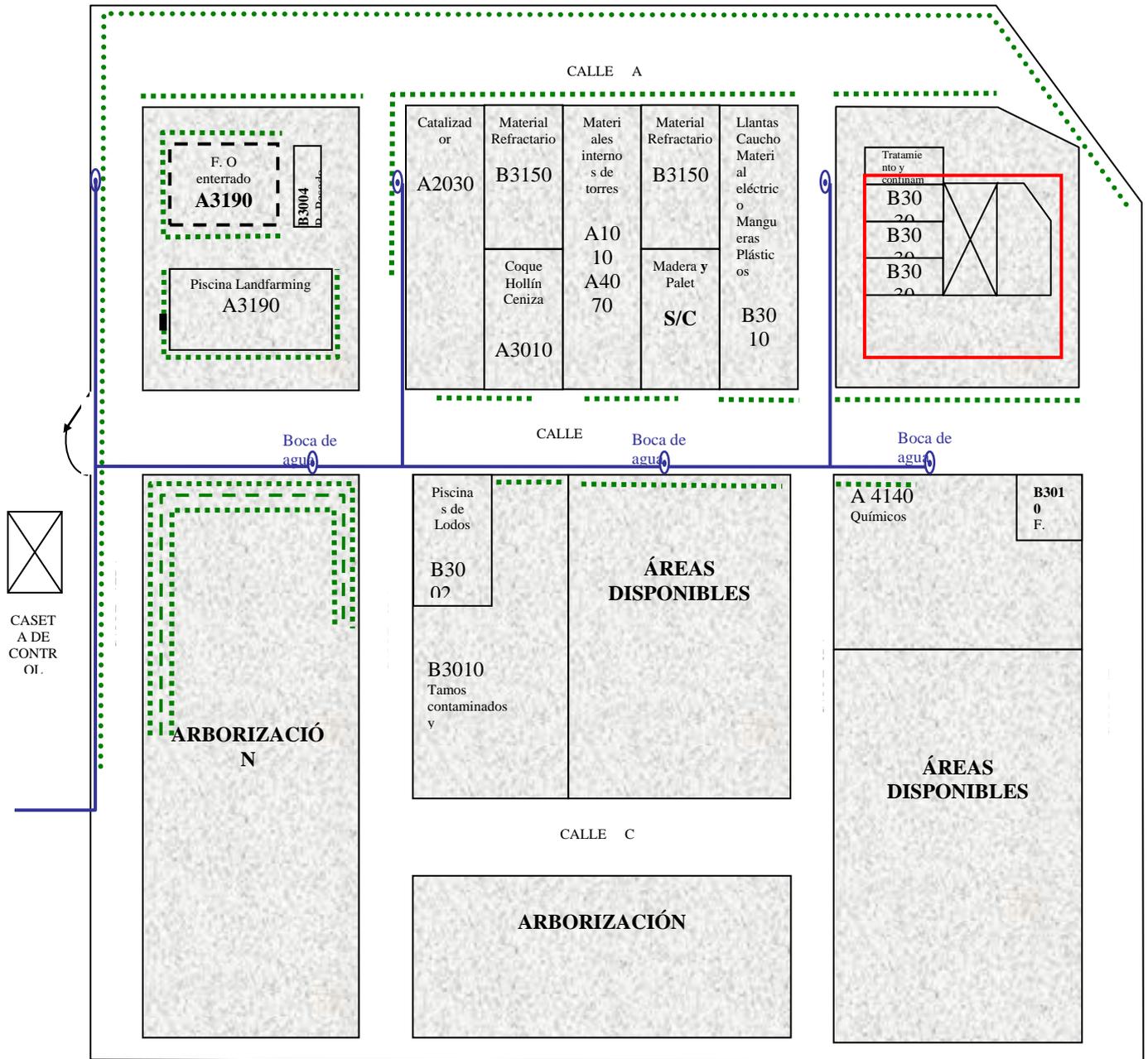
- Conteo de UFC's.
- Muestro de cada una de la celdas para llevarlos al laboratorio y realizar análisis finales de TPH's, HAP's y metales pesados.

## ANEXO No 6. IDENTIFICACION DEL ORIGEN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS



**ANEXO No 7.**

**Plano del Área Externa de Residuos Sólidos en REE**  
**AREA DE DISTRIBUCIÓN ACTUALIZADA PARA ALMACENAMIENTO,**  
**TRATAMIENTO Y CONFINAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS**



DATOS SIMBÓLICOS	
	ACOMETIDA DE AGUA
	REFORESTACIÓN CUCARDAS-MIRTOS Y
	REFORESTACIÓN PALMAS TIPO BOTELLAS

## ANEXO 8°

## Análisis de laboratorio inicial de lodos aceitosos extraídos de REE para pruebas de Biorremediación.

8 de mayo del 2009



## INFORME DE ENSAYOS

IE-0904-010

Cliente:	Dirección:	Teléfono:	Fax:	Fecha de Recepción:
Ing. Jonathan Arcos	Esmeraldas	098355288	***	2009-01-28
Persona de contacto:	E-mail:	Oferta:		Número de muestras:
Ing. Jonathan Arcos	<a href="mailto:jona_arcos@bolmail.com">jona_arcos@bolmail.com</a>	OIL-0905-01		1 (uno)
Tipo de muestra:	Emisión del Informe de Ensayos fecha:	Fecha de análisis:		Responsables de Análisis:
Suelo	2009-05-11	Inicio	Continuación:	Amz./Oviedo/Solórzano
		2009-04-29	2009-05-08	

Fecha de muestreo:		2009-05-27		VMP
Método de muestreo:		NR		
Lugar de muestreo:		NR		
Muestreado por:		Cliente		
Código de muestra Umwelt:		0904-SU-019		
Código de muestra cliente:		Piscina Estabilización		
Parámetro	Método	Unidad	Resultado	
Hidrocarburos aromáticos policíclicos HAPs	EPA 8100	mg/kg	469	<2 (A) <5(B) <1(C)
Hidrocarburos totales de petróleo TPHs	EPA 8015B	mg/kg	18.640	<2.500(A) <4.000(B) <1.000(C)
Cadmio	EPAA 7130	mg/kg	5,1	<2(A) <10(B) <1(C)
Níquel	EPA 7520/SM 3500 Ni D	mg/kg	33	<50(A) <100(B) <40(C)
Plomo	EPA 7120	mg/kg	42	<100(A) <500(B) <80(C)

## NOTAS DE INTERÉS:

Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.  
Se separa un resultado de mil con un punto (.) Se separa un resultado de decimal con coma (,)

NR = No Reporta ND = No Detectable NA = No Aplica

VMP: Valores máximos permisibles (Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúricas en el Ecuador)

(A) Uso Agrícola

(B) Uso Industrial

(C) Residuos Sólidos

Nota Adicional: El suelo presenta una consistencia pastosa y oleosa, de color negro brillante, además presenta fuerte olor a hidrocarburos.

Toda la información referente a los ensayos del presente informe está a disposición del cliente.

Q.A. Lenin Solórzano Sampedro  
Gerente Técnico

El presente Informe de Ensayos sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo, al mismo que no deberá reproducirse parcial o totalmente sin la aprobación por escrito de Umwelt. Los resultados obtenidos son de uso exclusivo del cliente.

## ANEXO No 9.

**Análisis de laboratorio preliminar de lodos aceitosos extraídos de REE  
para pruebas de Biorremediación.**

**20 de Agosto del 2009**

	<b>PROTOCOLO N°: 0809-496</b>	RU-49
		Pag: 1 de 1   POS N°15
		ING: 0809-496

**CLIENTE :** JONATHAN ARCOS

**PROYECTO:** No Proporciona

**ATENCIÓN:** Jonathan Arcos

**MUESTREO:** Realizado por el Cliente

**PROCEDIMIENTO DE MUESTREO :** No reportado por el cliente.

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 07 de Agosto del 2009: 11:30

**LUGAR DE ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS:** Corplab Ecuador, Rigoberto Heredia OE 6 - 141 y Huachi, Quito. [mrealiza@corplab.net](mailto:mrealiza@corplab.net)

**FECHA DE ANALISIS:** En el laboratorio, Del 07 de Agosto al 20 de Agosto del 2009.

**FECHA DE PROTOCOLIZACIÓN:** 20 de Agosto del 2009

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA SEGÚN CADENA DE CUSTODIA:**

Código de laboratorio	Descripción de las Muestras		Muestreo		Coordenadas
	Código de muestreo	Referencia	Fecha	Hora	
S-970	C1-C2	Matriz: Suelo Lodos Refinería Esmeraldas	07/08/2009	10:00	No Reporta
S-971	C3-C4	Matriz: Suelo Lodos Refinería Esmeraldas	07/08/2009	10:00	No Reporta
S-972	RE-S1	Matriz: Suelo Celda Testigo	07/08/2009	10:00	No Reporta

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

Parámetros Analizados	Metodología de referencia	Unidad	S-970	S-971	S-972
			C1-C2	C3-C4	RE-S1
TPH	TRNCC 1005	mg/kg	2058,97	2157,45	2135,75
Cadmio	EPA 7130	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1
Niquel	EPA 7520	mg/L	0,165	0,139	0,206
Plomo	EPA 7420	mg/L	<0,40	<0,40	<0,40
HAP's*	EPA 8100	mg/kg	<1	<1	<1

**REFERENCIAS Y OBSERVACIONES :**

**\*Los ensayos marcados no están incluidos en el alcance de acreditación**

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. Corplabec S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

"Las condiciones de muestreo, transporte y análisis no inciden en el resultado en el presente ensayo."



**ENSAYOS**  
No OAE LE 2C 05-005

Miguel Maliza  
C.P. 122  
Dirección Técnica.

## ANEXO No 10.

**Análisis de laboratorio preliminar de lodos aceitosos extraídos de REE  
para pruebas de Biorremediación  
8 de Septiembre del 2009**

	PROCOLO N°: 0809-600		RU-49
			Pag. 1 de 1    POS N°15
			ING: 0809-600

CLIENTE : JONATHAN ARCOS

PROYECTO: No Proporciona

ATENCIÓN: Jonathan Arcos

MUESTREO: Realizado por el Cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No reportado por el cliente.

FECHA DE RECEPCION: 28 de Agosto del 2009: 12:07

LUGAR DE ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS: Corplab Ecuador, Rigoberto Heredia OE 6 - 141 y Huachi, Quito. mmaliza@corplab.net

FECHA DE ANALISIS: En el laboratorio, Del 28 de Agosto al 08 de Septiembre del 2009.

FECHA DE PROTOCOLIZACIÓN: 08 de Septiembre del 2009

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA SEGÚN CADENA DE CUSTODIA:**

Código de laboratorio	Descripción de las Muestras		Muestreo		Coordenadas
	Código de muestreo	Referencia	Fecha	Hora	
S-1091	C1-C2	Matriz: Suelo	28/08/2009	10:00	No Reporta
S-1092	C3-C4	Matriz: Suelo	28/08/2009	10:00	No Reporta
S-1093	CT	Matriz: Suelo	28/08/2009	10:00	No Reporta

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

Parámetros Analizados	Metodología de referencia	Unidad	S-1091	S-1092	S-1093
			C1-C2	C3-C4	CT
TPH	TRNCC 1005	mg/kg	2203,06	1911,58	1925,18
HAP's*	EPA 8100	mg/kg	<1	<1	<1
PH	SM 4500 H <sup>+</sup> - B	u pH	6,67	6,53	5,42

**REFERENCIAS Y OBSERVACIONES :**

**\*Los ensayos marcados no están incluidos en el alcance de acreditación**

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. Corplabec S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

"Las condiciones de muestreo, transporte y análisis no inciden en el resultado en el presente ensayo."



ENSAVOS  
No OAE LE 2 C 05 005

Miguel Maliza  
C.P. 122  
Dirección Técnica.

## ANEXO No 11.

**Análisis de laboratorio final de lodos aceitosos extraídos de REE para pruebas de Biorremediación.**

**30 de Septiembre del 2009**

	<b>PROTOCOLO N°: 0909-679</b>		RU-49
			Pag: 1 de 1   POS N°15
			ING: 0909-679

CLIENTE : JONATHAN ARCOS

PROYECTO: No Proporciona

ATENCIÓN: Jonathan Arcos

MUESTREO: Realizado por el Cliente

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No reportado por el cliente.

FECHA DE RECEPCION: 22 de Septiembre del 2009: 11:53

LUGAR DE ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS: Corplab Ecuador, Rigoberto Heredia OE 6 - 141 y Huachi, Quito. mmaliza@corplab.net

FECHA DE ANALISIS: En el laboratorio, Del 22 de Septiembre al 30 de Septiembre del 2009.

FECHA DE PROTOCOLIZACIÓN: 30 de Septiembre del 2009

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA SEGÚN CADENA DE CUSTODIA:**

Código de laboratorio	Descripción de las Muestras		Muestreo		Coordenadas
	Código de muestreo	Referencia	Fecha	Hora	
S-1276	C1-C2	Matriz: Suelo	22-09-2009	No Reporta	No Reporta
S-1277	CT	Matriz: Suelo	22-09-2009	No Reporta	No Reporta
S-1278	C3-C4	Matriz: Suelo	22-09-2009	No Reporta	No Reporta

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

Parámetros Analizados	Metodología de referencia	Unidad	S-1276	S-1277	S-1278
			C1-C2	CT	C3-C4
TPH	TRNCC 1005	mg/kg	2134,88	2050,2	5968,67
Cadmio	EPA 7130	mg/L	<1	<1	<1
Níquel	EPA 7520	mg/L	60,11	67,01	52,54
Plomo	EPA 7420	mg/L	<40	<40	<40
HAP's <sup>a</sup>	EPA 8100	mg/kg	<1	<1	<1
PH			7,44	5,53	7,3

**REFERENCIAS Y OBSERVACIONES :**

**\*Los ensayos marcados no están incluidos en el alcance de acreditación**

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. Corplabec S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

"Las condiciones de muestreo, transporte y análisis no inciden en el resultado en el presente ensayo."



ENSAYOS  
No OAE LE 2 C 05-005

Miguel Maliza  
C.P. 122  
Dirección Técnica.

## ANEXO No 12.

**2. 25 Tabla:** Cantidades Estimadas de Lodos Presentes en los Tanques para Almacenamiento de Combustibles en la Terminal Pascuales.

COMBUSTIBLE ALMACENADO	No. DE TANQUES	CANTIDAD ESTIMADA DE LODOS (m <sup>3</sup> ) Dispersión en fondo de tanques*	FRECUENCIA DE GENERACIÓN (meses)
Diesel	6	1,143	18
Destilado	4	215	35
Gasolina Extra	5	308	24
Gasolina Super	3	147	24
Jet A – 1	4	159	12
Gasolina base	2	115	12
Slop	2	28	24
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>2,115</b>	

Dispersión en fondo de tanques \*. Fuente: Petrocomercial, Terminal Pascuales

## ANEXO No 13.

**7.26 Tabla: Tabla No7.** Límites permisibles de lixiviados para la disposición final de lodos y ripios de perforación en superficie.

<b>a) SIN impermeabilización de la base</b>			
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible
Potencial hidrógeno	pH	---	6<pH<9
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	4,000
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<1
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.003
Cadmio	Cd	mg/l	<0.05
Cromo total	Cr	mg/l	<1.0
Vanadio	V	mg/l	<0.2
Bario	Ba	mg/l	<5
<b>b) CON impermeabilización de la base</b>			
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible
Potencial hidrógeno	pH	---	4<pH<12
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	8,000
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<50
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.005
Cadmio	Cd	mg/l	<0.5
Cromo total	Cr	mg/l	<10.0
Vanadio	V	mg/l	<2
Bario	Ba	mg/l	<10

## ANEXO No 14.

**4. 27. Tabla: Tabla No 8. A) Clasificación de desechos procedentes de todas las fases y operaciones hidrocarburíferas, y recomendaciones de reducción, tratamiento y disposición.**

Código	Tipo de desecho	Reducción, tratamiento y disposición
A0010	Desechos de detectores de radiactividad	
A0046	Desechos sanitarios con características infecciosas	
A1010	Desechos metálicos o que contengan metales tales como antimonio, arsénico, berilio, cadmio, plomo, mercurio, selenio, telurio y/o talio	Incluye, entre otros, cenizas de incineradores → inertización/solidificación; disposición controlada
A1040	Desechos que tengan como constituyentes carbonilos de metal y/o cromo hexavalente	
A2030	Desechos de catalizadores	Regeneración y reutilización en cuanto sea posible
A3010	Desechos resultantes de la producción o el tratamiento de coque de petróleo y asfalto	
A3020	Aceites minerales de desecho no aptos para el uso al que estaban destinados	Recuperación, tratamiento, reutilización adecuada
A3021	Desechos de filtros de aceite, filtros hidráulicos, etc.	
A3070	Desechos de fenoles, compuestos fenólicos, incluido el clorofenol en forma de líquido o de todo	
A3140	Desechos de disolventes orgánicos no halogenados	
A3150	Desechos de disolventes orgánicos halogenados	
A3190	Desechos de residuos alquitranados (con exclusión de los cementos asfálticos) resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico de materiales orgánicos	
A4020	Desechos clínicos y afines	
A4030	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos, con inclusión de desechos de plaguicidas y herbicidas que no respondan a las especificaciones, caducados o no aptos para el uso previsto originalmente	
A4060	Desechos de mezclas y emulsiones de aceite y agua o de hidrocarburos y agua	
A4070	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices	
A4080	Desechos de carácter explosivo	
A4091	Desechos de soluciones ácidas con pH<2	
A4092	Desechos de soluciones básicas con pH>11.5	
A4100	Desechos resultantes de la utilización de dispositivos de control de la contaminación industrial para la depuración de gases	
A4120	Desechos que contiene, consisten o están contaminados con peróxidos	
A4130	Envases y contenedores de desechos que contienen sustancias o materiales incluidos en esta lista	
A4140	Desechos consistentes o que contienen productos químicos que no responden a las especificaciones o caducados correspondientes a las categorías de esta lista	
A4150	Sustancias químicas de desechos, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación, cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan	
A4160	Carbono activado consumido, excepto el resultante del tratamiento del agua potable	

## ANEXO No 15.

**4.28 Tabla: Tabla No. 8. B) Clasificación de desechos procedentes de todas las fases y operaciones hidrocarburíferas, y recomendaciones de reducción, tratamiento y disposición.**

Código	Tipo de desecho	Reducción, tratamiento y disposición
B0045	Desechos domésticos inorgánicos	Clasificación; disposición controlada.
B0046	Desechos domésticos orgánicos	Clasificación; compostaje.
B2011	Ripios	Disposición controlada.
B2020	Desechos de vidrio	Clasificación; reciclaje.
B2041	Agua de formación	Reinyección.
B2042	Sedimentos de perforación y fondos contaminados del almacenamiento o depósito de desperdicios no peligrosos	Disposición controlada de sólidos.
B3001	Tierra con hidrocarburos	Prevención de derrames; Biorremediación, landfarming
B3002	Lodos y arena contaminados con hidrocarburos	Biorremediación, landfarming
B3003	Hidrocarburos recuperados en el flujo de producción y/o tratamiento de efluentes	Reincorporación al proceso de producción
B3004	Desechos de petróleo crudo	Reincorporación al proceso de producción
B3005	Gases retirados del flujo de producción tales como: sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono, y otros hidrocarburos volatilizados	Recuperación y tratamiento dentro de los procesos de producción.
B3006	Fluidos y lodos de perforación	Priorización de lodos de perforación en base de agua; reciclaje de lodos; tratamiento de sedimentación y decantación; reinyección de líquidos; disposición controlada de sólidos.
B3010	Desechos de plástico	Clasificación; reciclaje.
B3020	Desechos de papel, cartón y productos de papel	Clasificación; reciclaje.
B3030	Desechos textiles	Clasificación; reciclaje.
B3150	Otros desechos inorgánicos industriales no clasificados como peligrosos → especificar	Clasificación; disposición controlada.

## ANEXO No 16.

### Fotografías del tratamiento de biorremediación de lodos de REE en campo.

Lodos Aceitosos seleccionados para la Biorremediación.



Construcción de las camas experimentales para la Biorremediación en la carpintería de REE.



### Lugar designado y ubicación de las camas experimentales



### Recolección de materia orgánica de la cocina de REE



Pan en descomposición, productor de Hogos degradadores de hidrocarburo  
(Mucor)



Trituración de la materia orgánica



Cascarilla de arroz y puzolana. (Materiales estructurantes y estabilizantes para los lodos aceitosos).



Ubicación de lodos en las camas experimentales



Los lodos aceitosos endurecidos por lo que se mezcló con Orange Touhg 90 (limoneno), para que tengan plasticidad y maniobrabilidad al momento de homogenizar y estabilizar con la cascarilla de arroz y la puzolana.



Estabilización de los lodos aceitosos con cascarilla de arroz y puzolana.



Lodos aceitosos estabilizados



Lodos aceitosos deshidratados



Adición de la materia orgánica en cada una de las camas cítricos y pan en descomposición, fuente de *Aspergillum*, *Penicillum* y *Mucor*.



Crecimiento de *Aspergillum*, *Penicillum* y *Mucor* por adición de materia orgánica.



Suelo Remediado en campo.



**Anexo No 17.**  
**Fotografías del tratamiento de biorremediación de lodos de REE en laboratorio.**

Tendido y estabilizado de los lodos aceitosos de la REE, (adición de puzolana, cascarilla de arroz y Biosoil).



Lodos estabilizados puestos en las celdas experimentales.



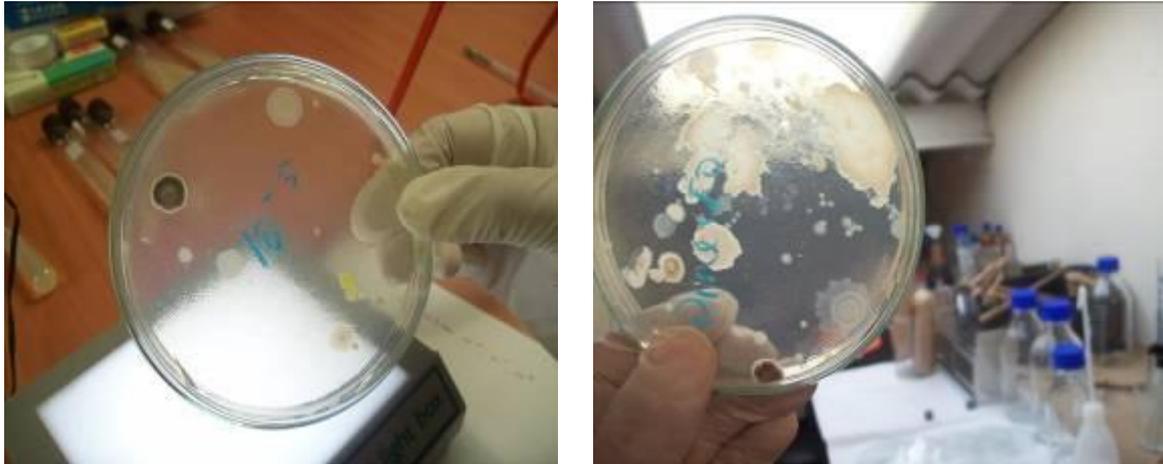
Preparación del extracto microbiano para aislamiento bacteriano adaptadas a las condiciones del lodo aceitoso.



Adición de la materia orgánica en cada una de las celdas experimentales (cítricos y pan en descomposición, fuente de *Aspergillum*, *Penicillium* y *Mucor*).



Identificación morfológica y bioquímica. (Paginas 153 y 154).



Crecimiento de *Aspergillum*, *Penicillium* y *Mucor* por la adición de materia orgánica en cada una de las celdas experimentales.



Inoculación del Pool Bacteriano identificado.



### Conteo de UFC's.



### Suelo tratado y biorremediados en Laboratorio.



**Anexo No 18.**  
**HOJA TÉCNICA DE ZEOLITE-C**

ANÁLISIS QUÍMICO

	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.73
SiO <sub>2</sub>	67.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.25
Na <sub>2</sub> O	2.1
MgO	0.25
CaO	0.87
K <sub>2</sub> O	1.97
Pérdida fuego	13.21

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

	meq/100g
Mg	1.35
Ca	43.22
K	9.61
Na	50.33
 Total	 104.52meq/100g.

ZEOLITA (Clinoptilolita): 38%

COLOR: Blanco rosado.

pH: 8.5

CALOR DE ADSORCIÓN: 13.5°C.

GRANULOMETRIA:

Zeolite-C Granulada: de 0 a 3mm.

Zeolite-C Fina: 0 a 0.1 mm.

Zeolite-C Gruesa: de 0 a 5 mm.

PRESENTACIÓN:

Sacos laminados con un peso de 30 Kg.