

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

ESCUELA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**TEMA: TRATAMIENTO FÍSICO - BIOLÓGICO PARA LA RECUPERACIÓN
DEL SUELO Y EL PANTANO AFECTADOS POR EL DERRAME DE
PETRÓLEO DE LA LÍNEA DE FLUJO DEL POZO SHUSHUQUI 13**

TESIS DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTOR:

RIVERA ONOFRE CARLOS ANDRÉS

DIRECTOR:

DR. MARCELO DÁVALOS

IBARRA – ECUADOR

2011

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

ESCUELA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**TEMA: TRATAMIENTO FÍSICO - BIOLÓGICO PARA LA RECUPERACIÓN
DEL SUELO Y EL PANTANO AFECTADOS POR EL DERRAME DE
PETRÓLEO DE LA LÍNEA DE FLUJO DEL POZO SHUSHUQUI 13**

Tesis revisada por el comité asesor, por lo cual se autoriza su presentación como
requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

.....

Dr. Marcelo Dávalos

DIRECTOR

.....

Ing. Guillermo Beltrán

ASESOR

.....

Biol. Galo Pabón

ASESOR

.....

Ing. Oscar Rosales

ASESOR

DECLARACIÓN

Yo Carlos Andrés Rivera Onofre, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica del Norte, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo.

Carlos Andrés Rivera Onofre

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado

A Dios por permitirnos vivir y alcanzar nuestros sueños.

A mis padres y hermanos, que con su cariño y apoyo, me inspiraron a seguir adelante, a esforzarme día a día y conseguir esta meta.

A todas las personas que me aprecian y supieron guiar mi vida hacia en el camino que me trajo hasta aquí, a concluir mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento:

A todos los compañeros que forman parte del Centro de Transferencia de Tecnologías de nuestra facultad quienes colaboraron enormemente para el desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Marcelo Dávalos como catedrático y director del CIT-FICAYÁ, quien me dio esta gran oportunidad y dirigió acertadamente este proyecto.

A los asesores Ing. Guillermo Beltrán, Ing. Oscar Rosales y Msc. Galo Pavón por compartir sus conocimientos y su colaboración desinteresada.

ÍNDICE GENERAL

Página

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. OBJETIVOS	4
1.1.1. GENERAL	4
1.1.2. ESPECÍFICOS	4
1.1.3. PREGUNTA DIRECTRIZ	4
CAPITULO II	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. EL PETRÓLEO	6
2.2. COMPOSICIÓN GENERAL	7
2.2.1. HISTORIA DE LA ACTIVIDAD PETROLERA EN EL ECUADOR	8
2.3. CONTAMINACIÓN GENERADA POR LA ACTIVIDAD PETROLERA	10
2.3.1. DERRAMES DE PETRÓLEO	11
2.3.2. DERRAMES AMAZONIA ECUATORIANA	12
2.3.3. EFECTOS DE LOS DERRAMES DE PETRÓLEO	13
2.3.4. TOXICIDAD DEL PETRÓLEO	15
2.3.4.1. EFECTOS EN EL AGUA	16
2.3.4.2. EFECTOS EN EL SUELO	18
2.3.4.3. EFECTOS EN LA FLORA	19
2.3.4.4. EFECTOS EN LA FAUNA	20
2.3.4.5. EN LA SOCIEDAD	20
2.4. RECUPERACIÓN DE AMBIENTES AFECTADOS POR DERRAMES DE PETRÓLEO	21
2.4.1. REMEDIACIÓN AMBIENTAL	21
2.4.2. RECUPERACIÓN FÍSICA	23
2.4.3. BIORREMEDIACIÓN	24
2.4.3.1. BIODEGRADACIÓN MICROBIANA DE HIDROCARBUROS	26
2.4.3.2. FACTORES DETERMINANTES	29
2.4.3.3. MICROORGANISMOS DEPREDADORES DE PETRÓLEO	33
2.4.3.4. COMPUESTOS QUE PUEDEN SER BIODEGRADADOS	34
2.4.3.5. BIORREMEDIACIÓN POR COMPOSTAJE	35
2.4.3.6. BIOESTIMULACIÓN	37
2.4.4. FITORREMEDIACIÓN	38
2.4.4.1. FITOEXTRACCIÓN	40
2.4.4.2. RIZOFILTRACIÓN	40
2.4.4.3. FITODEGRADACIÓN	41
2.4.4.4. ESPECIES APTAS PARA FITORREMEDIACIÓN	41
2.5. MARCO LEGAL	42
2.5.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA TITULO II DERECHOS	43
2.5.2. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA LIBRO VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL	44
2.5.3. REGLAMENTO AMBIENTAL PARA OPERACIONES HIDROCARBURÍFERA	44
2.6. PROGRAMA DE REPARACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL PRAS	46

2.6.1.	<i>CARACTERIZACIÓN 2008</i>	47
CAPITULO III		49
3. MATERIALES Y MÉTODOS		50
3.1.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	50
3.2.	MÉTODOS	51
3.2.1.	<i>CARACTERIZACIÓN ÁREA DE TRABAJO</i>	51
3.2.1.1.	DELIMITACIÓN FÍSICA Y CARTOGRÁFICA	51
3.2.1.2.	DESCRIPCIÓN DEL ECOSISTEMA.....	51
3.2.1.3.	FACTORES ABIÓTICOS	52
•	SUELO	52
•	SEDIMENTOS	52
3.2.1.4.	FACTORES BIÓTICOS	52
•	FLORA	53
•	FAUNA	53
3.2.1.5.	IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES.....	53
•	PARÁMETROS DE ANÁLISIS.....	53
•	MÉTODOS DE ANÁLISIS	54
•	MANEJO DE MUESTRAS.....	55
•	MUESTREO DE SUELO.....	55
•	MUESTREO DE SEDIMENTOS	56
3.2.2.	<i>ANÁLISIS DEL PROCESO NATURAL DE RECUPERACIÓN</i>	56
3.2.3.	<i>METODOLOGÍA PARA LA RECUPERACIÓN DEL SUELO</i>	57
3.2.3.1.	ESQUEMA DEL PROCESO	57
3.2.3.2.	CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS	59
3.2.3.3.	DISPOSICIÓN DEL SUELO.....	59
3.2.3.4.	MEZCLA DE SUELO CON SUSTRATOS	60
3.2.3.5.	MEZCLA DE SUELO CON SUSTRATOS	61
3.2.3.6.	EJECUCIÓN ACTIVIDADES DEL TRATAMIENTO	61
3.2.3.7.	CONTROL DE PARÁMETROS.....	62
3.2.4.	<i>METODOLOGÍA PARA LA RECUPERACIÓN DEL PANTANO</i>	64
3.2.4.1.	ESQUEMA DEL PROCESO	65
3.2.4.2.	DRENAJE	67
3.2.4.3.	CONSTRUCCIÓN DE SEDIMENTADORES.....	67
3.2.4.4.	APLICACIÓN DEL PROCESO FÍSICO	67
3.2.4.5.	MEJORAMIENTO DE SUSTRATO	68
3.2.4.6.	REINTRODUCCIÓN DE PLANTAS.....	68
3.2.5.	<i>EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS</i>	69
CAPITULO IV		70
4. RESULTADOS		71
4.1.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO	71
4.1.1.	<i>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA</i>	71
4.1.2.	<i>DESCRIPCIÓN DEL ECOSISTEMA</i>	74
4.1.3.	<i>FACTORES ABIÓTICOS</i>	75
4.1.3.1.	SUELO	76
4.1.3.2.	SEDIMENTOS.....	78
4.1.4.	<i>FACTORES BIÓTICOS</i>	79
4.1.4.1.	FLORA	79

4.1.4.2.	FAUNA.....	80
4.1.5.	<i>IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES</i>	82
4.1.5.1.	SUELO	82
4.1.5.2.	PANTANO.....	83
4.2.	DELIMITACIÓN FÍSICA Y CARTOGRÁFICA.....	84
4.3.	PROCESO DE NATURAL DE RECUPERACIÓN	85
4.4.	PROCESO FÍSICO BIOLÓGICO PARA LA RECUPERACIÓN DEL PANTANO	87
4.5.	PROCESO BIOLÓGICO PARA LA RECUPERACIÓN DEL SUELO	91
4.5.1.	<i>UNIDAD DE TRATAMIENTO 1 (UT1)</i>	93
4.5.2.	<i>UNIDAD DE TRATAMIENTO 2. UT2</i>	96
4.5.3.	<i>UNIDAD DE TRATAMIENTO. UT3</i>	99
4.5.4.	<i>UNIDAD DE TRATAMIENTO. UT4</i>	102
4.5.5.	<i>RESUMEN RESULTADOS</i>	105
4.5.6.	<i>COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS DE TPH</i>	109
4.5.7.	<i>PROPUESTA DE INDICADOR DE EFICIENCIA DE REMEDIACIÓN DE SUELO.</i>	111
CAPITULO V	117
5.	CONCLUSIONES	118
CAPITULO VI	121
6.	RECOMENDACIONES	122
7.	RESUMEN	124
8.	SUMARY	126
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
CAPITULO X	133
ANEXOS		133

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
CAPITULO II	
Tabla 2.1.- Composición elemental del Petróleo.....	7
Tabla 2.2.- Composición de las fracciones químicas contenidas en el Petróleo.....	7
Tabla 2.3.- Contenido de Metales pesados en el Crudo.....	8
Tabla 2.4.- Causas de la Contaminación de la Industria Petrolera.....	11
Tabla 2.5.- Derrames pendientes de limpieza en el Distrito Amazónico.....	13
Tabla 2.6.- Impactos de los Hidrocarburos de Petróleo en la salud.....	20
Tabla 2.7.- Bacterias depredadoras de petróleo.....	33
Tabla 2.8.- Hongos depredadores de petróleo.....	33
Tabla 2.9.- Tipos de Fitorremediación.....	39
Tabla 2.10.- Especies utilizadas en biorremediación.....	42
Tabla 2.11.- Límites permisibles para la identificación y..... remediación de suelos contaminados	46
 CAPITULO III	
Tabla 3.1.- Materiales equipos e insumos utilizados.....	50
Tabla 3.2.- Volumen de suelo dispuesto en las unidades de tratamiento.....	59
Tabla 3.3.- Rangos de pH.....	63
Tabla 3.4.- Criterios para el control de humedad en los suelos en recuperación.....	63
Tabla 3.5.- Criterios para el control de la estructura de los suelos en recuperación.....	64
 CAPITULO IV	
Tabla 4.1.- Coordenadas del área de trabajo.....	72
Tabla 4.2.- Textura de los suelos del lugar.....	77
Tabla 4.3.- Especie vegetales que habitan el área de trabajo.....	80
Tabla 4.4.- Especies animales que existe el lugar de trabajo.....	81
Tabla 4.5.- Resultados de análisis de suelo. Caracterización Abril 2008.....	82
Tabla 4.6.- Resultados de análisis de suelo. Trabajo de Campo Diciembre 2009.....	83
Tabla 4.7.- Resultados de análisis de muestras de sedimentos. Diciembre 2009.....	83
Tabla 4.8 Resultados análisis de TPH en suelo.....	85
Tabla 4.9.-Resultados de TPH en sedimentos del pantano.....	87
Tabla 4.10.- Porcentaje de reducción de TPH en el pantano.....	88
Tabla 4.11 Resultados de análisis de TPH. UT1.....	93
Tabla 4.12.- Control de pH y UFC. UT1.....	94
Tabla 4.13.- Control de Nutrientes (N y P). UT1.....	95
Tabla 4.14 Resultados de análisis de TPH. UT2.....	96
Tabla 4.15.- Control de pH y UFC. UT2.....	97
Tabla 4.16.- Control de Nutrientes (N y P).UT2.....	98
Tabla 4.17 Resultados de análisis de TPH. UT3.....	99
Tabla 4.18.- Control de pH y UFC. UT3.....	100
Tabla 4.19.- Control de Nutrientes (N y P).UT3.....	101
Tabla 4.20 Resultados de análisis de TPH. UT4.....	102
Tabla 4.21.- Control de pH y UFC. UT4.....	103
Tabla 4.22.- Control de Nutrientes (N y P).UT3.....	104
Tabla 4.22.- Resumen % Degradación TPH.....	105
Tabla 4.23.- Resumen Contaje UFC.....	106
Tabla 4. 24.- Resumen Incremento de Nutrientes N y P.....	107
Tabla 4.25.- Resultados de análisis de TPH por Infrarrojo y Cromatografía de gases.....	110
Tabla 4.26.- Ponderación de los parámetros.....	111
Tabla 4.27.- Categorías de eficiencia de acuerdo al IER.....	115

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.- Disminución TPH en los sedimentos del pantano	88
Gráfico 2.- Porcentajes de disminución de TPH en el proceso físico.....	89
Gráfico 3.- Degradación de TPH vs UFC. UT1.....	93
Gráfico 4.- Control pH y UFC. UT1.....	94
Gráfico 5.- Nutrientes en el suelo UT1.....	95
Gráfico 6: Degradación de TPH vs UFC. UT2.....	96
Gráfico 7: Control pH y UFC. UT2.....	97
Gráfico 8.- Nutrientes en el suelo UT2.....	98
Gráfico 9: Degradación de TPH vs UFC. UT3.....	99
Gráfico 10: Control pH y UFC. UT3.....	100
Gráfico 11.- Nutrientes en el suelo UT3.....	101
Gráfico 12: Degradación de TPH vs UFC. UT4.....	102
Gráfico 13: Control pH y UF. UT4.....	103
Gráfico 14.- Nutrientes en el suelo UT4.....	104
Gráfico 15.- Resumen Degradación TPH UT 1-4.....	105
Gráfico 16.- Resumen % Degradación TPH UT 1-4.....	105
Gráfico 17.- Recuento mayor de UFC.....	106
Gráfico 18.- Resumen pH.....	107
Gráfico 19.- % de incremento de nutrientes N y P.....	108
Gráfico 20.- Función transformación Concentración Bacteriana (CB).....	112
Gráfico 21.- Función de transformación para Nutrientes (Nitrógeno).....	113
Gráfico 22.- Función de transformación para Nutrientes (Fósforo).....	113
Gráfico 23.- Función transformación pH.....	114
Gráfico 24.- Función de transformación para Humedad en el suelo (H).....	114
Gráfico 25.- Función de transformación para Temperatura del suelo (T).....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Movilidad del Petróleo derramado en el Agua.....	17
Figura 2.- Esquema para la aplicación del lavado de suelos y sedimentos contaminados.....	24
Figura 3.- Parámetros implicados en la Biorremediación.....	26
Figura 4.- Esquema de reacciones de la degradación anaerobia de hidrocarburo.....	28
Figura 5.- Esquema de reacciones en la degradación de un sustrato contaminante.....	29
Figura 6.- Procesos de Fitorremediación en las plantas.....	38

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La actividad petrolera en nuestro país se ha desarrollado mayoritariamente en la región oriental. En esta zona se ha establecido una enorme red de tuberías por donde se transporta el crudo y otros componentes, desde cada pozo hasta las diferentes estaciones de bombeo, recorriendo la Amazonía y atravesando ríos, pantanos, zonas agrícolas y ganaderas, zonas pobladas, etc. Debido a diversos tipos de accidentes se produce el rompimiento de tuberías y el derrame de crudo, alcanza grandes extensiones y contamina suelo y agua de ecosistemas sensibles.

En este caso particular el derrame ocurrió el 3 de Diciembre de 2007 en la Línea de flujo del pozo Shushuqui 13, éste se produjo por el daño malicioso a la tubería, lo que ocasionó la fuga del petróleo que alcanzó una gran extensión de terreno. Luego de este acontecimiento una empresa privada realizó tareas de contingencia para extraer el petróleo de los lugares afectados; estas tareas no lograron recoger en su totalidad el petróleo derramado dejando focos de contaminación que siguen afectando este ecosistema. El petróleo derramado afectó directamente en primera instancia al suelo y luego al un pantano que pese a que se realizó la contingencia siguen contaminados. El suelo contaminado se determino en un volumen de 200m³ y el pantano contaminado tiene una extensión de 1534m².

La presencia de Hidrocarburos en el ambiente deteriora las condiciones de vida para todo tipo de organismos y más aun si su presencia se da en ecosistemas frágiles tales como los que se presentan en la Región Amazónica.

Debido a la contaminación presente en el suelo y el pantano fue necesaria la aplicación de un tratamiento para poder eliminar los elementos contaminantes o reducir su concentración hasta niveles inferiores a los límites establecidos en las normativas y de este modo permitir su recuperación; en este sentido se desconoce si mediante la aplicación de un Tratamiento Físico Biológico se disminuirá la concentración de los contaminantes (hidrocarburos y metales pesados) presentes en el suelo y el pantano directamente afectados por el derrame de petróleo en la Línea de Flujo del pozo Shushuqui 13.

La implementación de nuevos métodos o la mejora de los existentes, para los procesos de remediación es una buena alternativa frente a los métodos utilizados tradicionalmente por las empresas privadas contratadas para el control de la contaminación que ha generada la actividad hidrocarburífera, en tal razón el uso de materiales de la zona o de bajo valor económico en la descontaminación debe ser analizado para establecer nuevas y mejores metodologías.

Por otro lado la Universidad Técnica del Norte auspiciada por el Proyecto de Remediación Ambiental y Social PRAS del Ministerio del Ambiente MAE emprendieron un Programa de Remediación de toda zona afectada por el derrame de petróleo dentro de la cual está ubicado este proyecto, para disminuir la contaminación ocasionada por el derrame. Entonces, dadas estas circunstancias cobra gran importancia recuperar el área en estudio tanto para dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente como al compromiso adquirido por la Universidad frente al Ministerio del Ambiente.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. GENERAL

Aplicar un tratamiento físico biológico (Procedimientos Físicos: lavado y remoción de suelo y sedimentos y recuperación de crudo. Procedimientos Biológicos: Compostaje y Fitorremediación) para la recuperación del suelo y el pantano directamente afectados por el derrame de petróleo de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13.

1.1.2. ESPECÍFICOS

- Caracterizar el área a recuperar en cuanto a Aspectos Bióticos y Abióticos.
- Delimitar física y cartográficamente el área sujeta a la recuperación.
- Analizar el proceso de descontaminación natural del suelo desde el momento del derrame hasta el momento de inicio del tratamiento.
- Aplicar el tratamiento biológico al suelo contaminado (Compostaje), consistente en estimular las poblaciones bacterianas propias de este suelo y permitir la degradar de hidrocarburos.
- Aplicar el tratamiento físico biológico al pantano contaminado. Proceso Físico: lavado, remoción de suelo, sedimento, vegetación y recuperación de crudo. Proceso biológico: mejora de sustrato, introducción y reintroducción de plantas nativas con conocida capacidad en retener metales pesados y otros contaminantes.

1.1.3. PREGUNTA DIRECTRIZ

¿El tratamiento físico biológico aplicado tanto en el suelo como en el pantano contaminado ayudará a disminuir los niveles de concentración de los contaminantes: Hidrocarburos y Metales Pesados, hasta valores inferiores a los límites establecidos por la normativa ambiental vigente?

CAPITULO II
REVISIÓN DE LITERATURA

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. EL PETRÓLEO

El petróleo es un líquido oleoso bituminoso (color oscuro) de origen natural compuesto por diferentes sustancias orgánicas (es una mezcla de hidrocarburos, aunque también suelen contener unos pocos compuestos de azufre y metales pesados). Se forma a partir de restos de pequeños organismos marinos que viven en cantidades enormes en mares cálidos y poco profundos que al pasar millones de años bajo la presión de capas de sedimentos, los restos orgánicos se transformarán en petróleo.

Se encuentra en grandes cantidades en los estratos superiores de la corteza terrestre, esto se debe a que el petróleo tiende a escapar a zonas más altas en las que soporte menos presión. En este viaje, con frecuencia acaba encontrando un esquisto impermeable o una capa de roca densa y se acumula formando los llamados yacimientos. En otras ocasiones consigue alcanzar la superficie y cuando ocurre esto el petróleo se volatiliza dejando un residuo de asfalto y betún. No es de extrañar, por tanto, que fuese conocido ya por las antiguas civilizaciones. Los egipcios utilizaban el betún para impermeabilizar los barcos y para embalsamar las momias. Sin embargo, tan sólo desde finales del siglo XIX viene utilizándose a gran escala como combustible. (1)

2.2. COMPOSICIÓN GENERAL

El crudo de petróleo se caracteriza por ser un líquido negro, viscoso y con una composición química sumamente compleja, pudiendo contener miles de compuestos, básicamente de la familia de los hidrocarburos un 50-98% de la composición del crudo, por lo que constituyen uno de los grupos de contaminantes ambientales más importantes, tanto por su abundancia, como por su persistencia en distintos ambientes. Los hidrocarburos que contiene el crudo son mayoritariamente son alcanos de cadena lineal, alcanos ramificados, cicloalcanos y cantidades variables de hidrocarburos aromáticos.

Tabla 2.1.- Composición elemental del Petróleo

Compuesto	% Peso
Carbono	84-87
Hidrogeno	11-14
Azufre	0-2
Nitrógeno	0-2

Fuente: Clark- Brown, 1977,

Los hidrocarburos presentes en el Petróleo se agrupan en distintas fracciones:

Tabla 2.2.- Composición de las fracciones químicas contenidas en el Petróleo.

Fracción	Composición
Saturados	<i>n</i> -alcanos, alcanos de cadena ramificados e isoprenoides, y cicloparafinas o cicloalcanos, hopanos.
Aromáticos	Hidrocarburos monoaromáticos, diaromáticos, aromáticos policíclicos (HAP)
Resinas	Agregados de piridinas, quinolinas, carbazoles, tiofenos, sulfóxidos y amidas
Asfaltenos	Agregados de HAP, ácidos nafténicos, sulfuros, ácidos grasos, metaloporfirinas, fenoles polihidratados.

Fuente: Viñals, 2005.

Otros componentes que acompañan al petróleo crudo son las aguas de formación y el gas natural, los cuales contienen a mas de los hidrocarburos otros elementos en cantidades pequeñas, tales como los metales pesados que pese a estar en pequeñas cantidades su toxicidad es considerable ya que por

su propia naturaleza no son biodegradables y por lo tanto se acumulan en los organismos vivos provocando efectos nocivos.

En la tabla 2.3, se observa la variación de los metales de transición a excepción del vanadio que tiene un porcentaje relativamente alto y sostenido. Se debe de señalar que estos valores son muy relativos, ya que las refinerías adquieren crudos de diferentes países, los cuales contienen valores diferentes de azufre y metales, se dan casos de que crudos procedentes de un determinado país, presentan niveles de contaminantes metálicos y no metálicos diferentes.

Tabla 2.3.- Contenido de Metales pesados en el Crudo

Metal de transición	Crudo 1 (ppm)	Crudo 2 (ppm)	Crudo 3 (ppm)	Crudo 4 (ppm)
Ni	23.01	5.30	31.04	12.13
Cr	20.28	18.74	9.75	30.12
V	54.69	36.71	46.31	35.51

Fuente: Soto, 2006.

2.2.1. HISTORIA DE LA ACTIVIDAD PETROLERA EN EL ECUADOR

Los primeros indicios científicos de la existencia de petróleo en el Ecuador se registran a finales del siglo pasado, aunque hay crónicas anteriores en que los indígenas hablaban de un elemento, con las características del petróleo que brotaba naturalmente en la superficie y era utilizado con fines medicinales, de ahí el nombre de punyarayacu (yacu = agua, pungara = aceite). (Petroecuador ,2007)

El primer pozo petrolero fue perforado en la región de la Costa en 1911, La empresa inglesa Anglo llega al país en 1922, la misma que durante 67 años explota, comercializa y refina el crudo de la Península de Santa Elena. En 1937 la Shell que estaba trabajando con la Exxon, abandona el Ecuador, luego de cerrar algunos pozos en la Amazonía que no fueron productivos. En 1967 Texaco perforó el primer pozo comercial en la Amazonía. En los

años siguientes, las mayores obras de infraestructura fueron el Sistema de Oleoducto Trans Ecuatoriano SOTE y la Vía Coca. Hasta 1990 Texaco extrajo el 88% del total de la producción nacional de petróleo y operó el oleoducto. Perforó 399 pozos y construyó 22 estaciones de perforación.

Hasta 1971 se habían entregado miles de hectáreas a una media docena de empresas petroleras, sin establecer casi ninguna regulación, ni se habían firmado contratos con estas empresas. En este año el Ecuador fue gobernado por una dictadura militar, la que con un espíritu nacionalista decidió entrar a la OPEP, poner en vigencia la Ley de Hidrocarburos, crear la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana CEPE e incrementar las regalías para el estado.

Se estableció que los contratos petroleros podían durar máximo 20 años y su extensión se fijó en 200.000 has, con lo cual las compañías devolvieron el 80% de sus concesiones que les fueron otorgadas originalmente por 50 años.

La captación de divisas a través de las exportaciones es el elemento vital de la economía ecuatoriana, y la fuente más importante es la exportación de crudo y derivados que en los últimos 10 años ha oscilado entre un 43 y 66% del total de exportaciones del país y entre un 43 y 59% del presupuesto general del Estado.

La tasa de producción anual de petróleo es casi de 380.000 barriles de petróleo por día, de los cuales el 0.4% corresponden a la región del litoral y el 99.6% a la Amazonía. El 86% corresponde a los 34 campos de Petroecuador y el 14% a las empresas privadas. Los campos petroleros más ricos -que fueron descubiertos en la década de los años 70 por Texaco- son Shushufindi-Aguarico, Sacha y Libertador que fue descubierto por la entonces CEPE.

El Ecuador cuenta al momento con una capacidad de procesamiento de petróleo de 157.500 barriles por día. Los productos más importantes son la gasolina y el diesel, combustibles de uso mayoritario en el transporte. El

sector de hidrocarburos aporta con el 71% del requerimiento nacional de energía, repartiéndose el porcentaje restante entre fuentes de la biomasa e hidroeléctrica.

Desde 1985 hasta 1996 han habido 8 rondas petroleras que ocupan un área de aproximadamente 4.2 millones de hectáreas de las cuales casi 3.6 millones corresponden a los de los 13 millones de has que conforman la Amazonía ecuatoriana ésta a su vez, representa el 46% del territorio nacional.

La novena ronda se produjo en 2002 donde se licitó los campos de la costa, excluyéndolos de la Amazonía. Para fines del 2002 se termina de construir el Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) como parte de la estrategia de expansión de la frontera petrolera. Desde el 2003 el gobierno anuncia la décima ronda petrolera para la concesión de áreas en los territorios de Napo, Pastaza y Zamora Chinchipe, además de la continuación del proyecto ITT (Ishpingo, Tambococha, Tiputini) que está situado en el Parque Nacional Yasuní y la Reserva Faunística Cuyabeno.

A inicios del 2007 el nuevo gobierno anuncia la construcción de una nueva refinería en la provincia de Manabí con una capacidad de refinación de 300.000 barriles diarios. En este año también se inicia el intercambio de crudo por derivados con Venezuela (alrededor de 1.5 – 1.6 barriles de crudo de Ecuador por 1 barril de derivados de Venezuela). (2)

2.3. CONTAMINACIÓN GENERADA POR LA ACTIVIDAD PETROLERA

La contaminación es la presencia o incorporación al ambiente de sustancias o elementos tóxicos que son perjudiciales para el hombre o los ecosistemas. Existen diferentes tipos de contaminación, los tipos de contaminación más importantes son los que afectan a los recursos naturales básicos: el aire, los suelos y el agua. Algunas de las alteraciones medioambientales más graves

relacionadas con los fenómenos de contaminación son los escapes radiactivos, el smog, los derrames de petróleo, efecto invernadero, la lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono, la eutrofización de las aguas o las mareas negras; cada evento afecta distintamente a cada ambiente. (OIT, 1998.)

La contaminación por petróleo se produce por su liberación accidental o intencionada en el ambiente (Ver tabla 2.4), provocando efectos adversos sobre el hombre o sobre el medio, directa o indirectamente.

La extracción, el refinado, el transporte y el uso de hidrocarburos son una fuente de contaminación ambiental, y en concreto, tiene grandes impactos sobre el medio ambiente. El vertido de hidrocarburos y otras sustancias relacionadas con su procesado provocan la contaminación de agua y suelo con consecuencias sobre la flora, la fauna e inclusive sobre seres humanos.

Tabla 2.4.- Causas de la Contaminación de la Industria Petrolera

CAUSAS	N° veces	%
MATERIALES VIEJOS/MANTENIMIENTO:		
Corrosión interna y externa de tuberías (17)	20	26.6%
Fisuras (3)		
ACCIDENTES:		
Fallas técnicas de diverso origen (11)	20	26.6%
Mal funcionamiento de válvulas (7)		
Deslizamientos de tierras (2)		
ROBOS DE TUBERÍAS	17	22.6%
NEGLIGENCIA		
Negligencia y fallas humanas (5)	7	9.3%
Paros provinciales, cierres indebidos (2)		
PROVOCADO:		
Atentados, vandalismo, sabotaje (7)	7	9.3%
INCORRECTA PRÁCTICA OPERACIONAL		
Desbordamiento de piscinas (3)	3	4.0%
No datos	1	1.3%

FUENTE: Ministerio de Energía y Minas, 2001.

2.3.1. DERRAMES DE PETRÓLEO

Se considera derrame o fuga de hidrocarburos a todo vertimiento o descarga de éstos en el ambiente, lo que origina que los hidrocarburos mencionados escapen del control de quienes los manipula.

Los derrames de petroleros se origina por la corrosión interna y externa de la tubería (líneas de transferencia, secundarias y principales) producto de la deficiente protección, fallas tecnológicas, operativas y humanas, accidentes y presuntos sabotajes, inestabilidad de las estaciones de bombeo, desbordamiento de las piscinas en mal estados, taludes inestables, pésimos drenajes que incluso se dirigen hacia la vegetación, cabezales con fugas, plataformas y tanques deteriorados. (Petroecuador, 1997.)

Un derrame de petróleo lleva consigo una serie de cambios progresivos de sus propiedades físico-químicas los cuales se atribuyen al Proceso de Intemperización, el cual incluye: evaporación, disolución, dispersión, oxidación, emulsificación, sedimentación y biodegradación; estos procesos contribuyen a la degradación natural del petróleo o la disminución de su toxicidad con el pasar del tiempo una vez que ha ocurrido el derrame por lo tanto deberán ser considerados al momento de aplicar medidas de contingencia y procesos de remediación para la recuperación del área contaminada. Hay que recalcar que el proceso de recuperación natural es demasiado lento y por eso se hace necesaria la aplicación de tratamientos para la descontaminación.

2.3.2. DERRAMES AMAZONIA ECUATORIANA

La actividad petrolera en la región amazónica se ha extendido a tal punto que en la actualidad existen 3.2 millones de hectáreas concesionadas tras 8 rondas petroleras, Petroecuador mantiene su actividad en más de 700.000 ha, y si sumamos los campos marginales se estaría hablando de un total de casi 5 millones de hectáreas de la Amazonía dedicadas a esta actividad.

Los contaminantes más frecuentes son petróleo (se producen cerca de 400.000 barriles diarios), gas (se queman más de 30.456,3 m.p.c. al día) y aguas de formación (se producen alrededor de 847.720 barriles de aguas de formación cada día).

A la contaminación rutinaria se suman los derrames. Sólo en el año 2001 se produjeron un total de 75 derrames, uno cada 5 días, con una pérdida de más de 31.398 barriles de crudo, cifra próxima a los 36.000 que se derramaron en Alaska por el Exxon Valdez. Los derrames han aumentado en 500% los últimos 7 años. Y en los primeros 6 meses del 2002 ya se tienen las mismas cifras que en el 2001.

El envejecimiento de las instalaciones y el abandono de la zona hacen que los problemas vayan sumándose (Ver tabla 2.5). El 37% de los pozos están secos o son inoperantes pero no se ha retirado la infraestructura y siguen siendo fuente de contaminación. En la actualidad, en el proceso de extracción de crudo el 70% es agua, es decir, desechos.

Se cree que los derrames aumentarán, pues el SOTE y los oleoductos secundarios siguen envejeciendo y no existe un efectivo mantenimiento. El riesgo persiste sobre todo en las zonas de la concesión Texaco–Petroecuador, donde el diseño de vida útil fue de 20 años (1972-1992). (Acción Ecológica, 2001.)

Tabla 2. 5.- Derrames pendientes de limpieza en el Distrito Amazónico

LAGO AGRIO	SHUSHUFINDI	SACHA	LIBERTADOR	AUCA
LA-37	SFD-51	Finca J. Ortiz	Estación ITT	Yuca 04
Estación Central	Aguarico 03	Sacha 20	Sansahuari 03	Auca 26
LA 11	Estación sur	Estación SA sur	Sansahuari 04	Pantano Pista sol
Guanta 05	Taller automotriz	Paraíso 05	Estación SSHRI Estación Atacapi	Pantano Estación sur
Estación Norte	Aguarico 09		SSQ 13	Yuca 06
Sumidero automotriz				Yuca 31B

Fuente: Narváez, 2000.

2.3.3. EFECTOS DE LOS DERRAMES DE PETRÓLEO

Los efectos del derrame de petróleo se pueden definir como un grupo de huellas y problemas que dejan en el medio natural, en este caso, las actividades petroleras. La contaminación en el aire y ríos, cambios y daños en la flora y en la fauna son claros indicadores de este problema.

Los derrames petroleros provocan la contaminación del aire, el suelo, de los ecosistemas acuáticos (mar, ríos, fuentes de agua, pantanos), la flora y la fauna. Los derrames ocasionan problemas en la salud debido a la exposición a los hidrocarburos y a la contaminación de bocatomas con agua potable. También generan el descalabro de las actividades productivas (turismo, empleo, construcción, etc.) y otros costos sociales considerables, como por ejemplo as migraciones de pobladores afectados.

Respecto a las actividades de limpieza, las medidas tradicionalmente han consistido en construir empalizadas y piscinas, quemar el crudo y los desechos al aire libre, lo que genera otros efectos negativos (emisión de azufre, carbono, metales pesados, hidrocarburos, partículas de carbono, óxidos de nitrógeno), tapar con tierra, hojas y arboles el sitio, hasta métodos más sofisticados como absorber o destruir la cadena hidrocarburífera vía remediación natural. (Ponce, 2006.)

Los impactos se dan en todas las fases del proceso como son exploración, perforación, producción, almacenamiento, transporte, procesamiento y distribución de derivados. Cada una de estas fases lleva implícita una serie de pasos y relación directa con la naturaleza y el ser humano, todas de alto riesgo.

Un derrame o descarga de hidrocarburo afecta básicamente a tres elementos del ambiente, los cuales son:

- Elementos abióticos: suelo, agua y geomorfología
- Elementos bióticos (flora y fauna).
- Elementos socioeconómicos (actividades humanas, pesca, agricultura, recreación, de turismo, etc.).

Los efectos de los derrames de petróleo dependerán también de varios factores:

- La cantidad y composición del petróleo
- La frecuencia y tiempo de exposición

- El estado físico del derrame.
- Las características del sitio donde sucedió el derrame.
- Variables ambientales como temperatura, humedad y oxígeno.
- La sensibilidad de la biota específica del ecosistema impactado (Semarnap, 1996.)

2.3.4. TOXICIDAD DEL PETRÓLEO

El petróleo contiene, además de los hidrocarburos, otros compuestos asociados como son azufre, metales pesados como el vanadio o el plomo, sales inorgánicas y otras sustancias tóxicas, algunas de ellas radioactivas. Esto ocasiona genera varios efectos en el medio ambiente:

- Se acumula en hábitats acuáticos de baja energía como lagunas y pantanos, produciendo trastornos en la integridad del ecosistema
- En sedimentos pueden incorporarse y re contaminar la columna de agua, así como producir efectos a largo plazo en las comunidades bentónicas.
- Permanece inalterado y tóxico por debajo de la capa superficial aeróbica, ya que allí el proceso de degradación es muy lento
- El petróleo ingresa desde su inicio en las cadenas alimenticias a través del zoo y fitoplancton.

Los organismos más vulnerables son:

- Fitoplancton: el petróleo interrumpe la fotosíntesis porque reduce la penetración de luz. Inhibe o retrasa la división celular
- Componentes del zooplancton
- Huevos y juveniles acuáticos. Letal a 100 ppb
- Animales que se alimentan por filtración
- Animales que absorben el alimento por quimiorrecepción

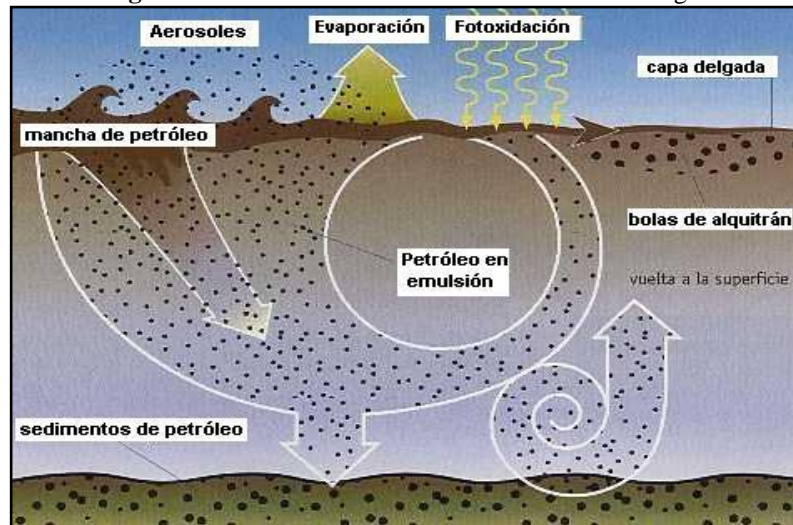
- Animales que viven en túneles acuáticos pueden ahogarse por la presencia de petróleo
- Tortugas acuáticas y otros reptiles
- Peces bentónicos. Produce larvas deformadas
- Aves acuáticas. Alteraciones fisiológicas por ingestión crónica de agua contaminada, incluyendo aceleración de la función hepática para eliminar el petróleo ingerido), debilidad general, pérdida de flotabilidad, por lo que se ahogan, las plumas pierden la capacidad aislante por lo que están más expuestas a cambios climáticos. Son presa fácil de predadores porque su movilidad se altera
- Mortalidad en huevos de aves a concentraciones de 20 ppb. (Acción Ecológica, 2007.)

2.3.4.1. EFECTOS EN EL AGUA

Los hidrocarburos son un tipo de contaminantes que afectan a la calidad del agua de manera importante. Los derrames de petróleo en ecosistemas acuáticos (océanos, ríos, lagos, lagunas y zonas inundables) dejan estelas de contaminación de efectos a muy largo plazo.

Cuando la contaminación llega al agua (Ver figura1), los componentes más pesados tienden a hundirse en los sedimentos, provocando una contaminación constante del agua, y afectando a la fauna acuática y fundamentalmente a los organismos que viven en el fondo de los ríos y de los lagos. (Acción Ecológica, 2007.)

Figura 1.- Movilidad del Petróleo derramado en el Agua



FUENTE: www.tecnun.es

La mancha generada por los hidrocarburos del petróleo vertido flota por diferencia de densidades impidiendo la entrada de luz y el intercambio gaseoso, dando comienzo a la solubilización de compuestos hidrosolubles y a la afección de diferentes poblaciones: las primeras poblaciones afectadas por un derrame son los peces y el plancton, en segundo lugar son afectados los macroinvertebrados, y la última población afectada son los Bentos o población de macroinvertebrados que viven en los fondos de los ríos y ciénagas, generado de esta manera un grave daño a estos ecosistemas alterando su equilibrio e impidiendo el desarrollo de sus funciones naturales.

En las aguas superficiales el vertido de petróleo u otros desechos produce disminución del contenido de oxígeno, aporte de sólidos y de sustancias orgánicas e inorgánicas tales como los metales pesados los mismos que tienen elevada toxicidad ya sea en pequeñas cantidades

En el caso de las aguas subterráneas, el mayor deterioro se manifiesta en un aumento de la salinidad, por contaminación de las napas con el agua de producción de petróleo de alto contenido salino (3)

2.3.4.2. EFECTOS EN EL SUELO

El petróleo contamina el suelo por su presencia y su permanencia en él. Esto depende del tipo de suelo lo cual es un producto de su composición y textura ya que según las características del suelo el petróleo se adherirá o penetrará con mayor o menor fuerza y por lo tanto permanecerá mayor o menos tiempo en ese ambiente. En general se puede afirmar que:

- En suelos arenosos el petróleo penetra con mayor rapidez, en mayor cantidad y a mayor profundidad puede llegar hasta la napa freática.
- En suelos arcillosos o rocosos; el petróleo no penetra con facilidad, penetra en poca cantidad y a poca profundidad y por ende se retira mediante lavados de manera rápida, por ejemplo, los suelos arcillosos de la Amazonía.
- En suelos con alto contenido de materia orgánica el petróleo se adhiere fuertemente a las partículas y restos vegetales de tal manera que permanece por más tiempo en el ambiente por ejemplo pantanos.

Los hidrocarburos impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos físico-químicos simultáneos, como evaporación y penetración, que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida pueden ser procesos más o menos lentos lo que ocasiona una mayor toxicidad.

La contaminación en el suelo por petróleo y sus compuestos asociados hace que los compuestos solventes se filtren, y los sólidos y grasas permanezcan en la superficie o sean llevados hacia tierras más bajas. La contaminación de suelo provoca la destrucción de los microorganismos del suelo, produciéndose un desequilibrio ecológico general.

2.3.4.3. EFECTOS EN LA FLORA

Los hidrocarburos del petróleo pueden producir un efecto directo sobre las plantas al disolver los tejidos. La disminución en el crecimiento se atribuyó a la sofocación de las plantas causada por el desplazamiento del aire de los poros por los hidrocarburos o por la falta de oxígeno debido al aumento de la actividad microbiana. Además, durante la descomposición microbiana, pueden encontrarse compuestos con azufre y manganeso en cantidades que resulten tóxicas. También se ha detectado daño a membranas celulares, reducción en la transpiración y aumento en la respiración. La gravedad de los efectos detectados dependen tanto de los constituyentes y cantidad de producto, de las condiciones ambientales y de las especies de plantas. Ha habido una diferenciación, además, entre los efectos agudos y rápidos causados por aceites livianos y los efectos crónicos y lentos resultantes de los aceites pesados.

Un grupo a tener en cuenta al analizar la toxicidad de los hidrocarburos del petróleo es el de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Las plantas pueden acumular este grupo de compuestos. También este proceso ocurre en sedimentos y plantas acuáticas y por lo tanto puede impactar en especies herbívoras de peces y vida silvestre en general.

Diferentes estudios han determinado el efecto de la contaminación con hidrocarburos en la germinación y crecimiento vegetativo de diferentes especies de pastos sometidos a diferentes concentraciones de hidrocarburo, concluyendo que hay una inhibición en la germinación del trébol común y un marcado retraso en el crecimiento de todas las plantas evaluadas. (Fátima et al, 2003.)

Así mismo, otros estudios evaluaron el efecto de los hidrocarburos aromáticos policiclos (HAP) en ecosistemas forestales y plantas madereras, demostrando un efecto de necrosis foliar. (Schmidt, 2001.)

2.3.4.4. EFECTOS EN LA FAUNA

En la fauna contaminada por un derrame de petróleo se puede producir irritación en mucosas que pueden terminar en ulceraciones en la boca, los ojos y fosas nasales; en caso de ingestión puede dañar los riñones esto es común en animales contaminadas por petróleo, y ocurre por un efecto tóxico directo del crudo, pero también por deshidratación, lo que puede conducirles a la muerte. Otro impacto importante de los derrames petroleros en la fauna es la pérdida de los hábitats naturales, la contaminación de las fuentes de alimento y agua puede afectar de manera importante a la fauna silvestre, poniendo en peligro incluso a especies que aun no están en contacto directo con el petróleo.

“La pérdida de hábitat es la razón más importante de la extinción de especies en los últimos tiempos, al disminuir el hábitat, se altera la distribución de las poblaciones biológicas por una falta de continuidad” (Laurance, 1989.)

2.3.4.5. EN LA SOCIEDAD

La exposición de las poblaciones a la contaminación por la explotación petrolera produce efectos adversos sobre la salud debido a dichas exposiciones (Ver tabla 2.6). Los efectos sobre la salud que se atribuyen a la exposición al petróleo incluyen cánceres (de distintos sitios), abortos espontáneos, dermatitis y varios otros síntomas. Algunos informes incluyen consideraciones acerca de la desnutrición y la mortalidad infantil como si se considerara que se deben a la contaminación (Texaco, 2005.)

Tabla 2.6.- Impactos de los Hidrocarburos de Petróleo en la salud

Contaminante	Efectos en la Salud
TPH	- Puede afectar al sistema nervioso central - La ingestión de algunos productos de petróleo produce irritación de la garganta y el estomago, depresión del sistema nervioso, dificultad para respirar

Fuente: ASTDR

Según lo expuesto, se ha demostrado que el valor guía propuesto por el Instituto Americano de Petróleo (1% HTP) tiene la finalidad de proteger la vida vegetal, el agua subterránea y además puede lograrse a través del método de biorremediación. A pesar de ello aún se requieren valores guía para ciertas mezclas de hidrocarburos, que estén basados en el riesgo para la salud humana. Los componentes específicos del petróleo crudo deben ser identificados y su riesgo potencial evaluado para aquellos sitios donde se deba tener en cuenta la exposición humana. (ATSDR 1999)

2.4. RECUPERACIÓN DE AMBIENTES AFECTADOS POR DERRAMES DE PETRÓLEO

Un ecosistema afectado por el derrame de petróleo soporta un desequilibrio en todos sus factores bióticos y abióticos debido a la contaminación del agua, suelo y los sedimentos de esteros, ríos, zonas inundables.

La recuperación de estos ecosistemas busca, mediante la aplicación de técnicas de Remediación Ambiental, su descontaminación, disminuyendo la concentración de los contaminantes tales como Hidrocarburos y Metales Pesados, permitiendo de esta manera el desarrollo normal de los ecosistemas y el sustento de la vida en general.

2.4.1. REMEDIACIÓN AMBIENTAL

La remediación ambiental constituye un conjunto de técnicas destinadas a recuperar un área afectada por la contaminación

Los métodos existentes para tratar los suelos contaminados pueden ser de naturaleza física, química o biológica y tanto unos como otros pueden aplicarse en el lugar de la contaminación in situ o en otro lugar ex situ. A

continuación, se incluye una clasificación de las diferentes técnicas empleadas de acuerdo a la Norma Ambiental Ecuatoriana, 2002.

Tratamientos Físicos

- Excavación y remoción
- Extracción de vapores
- Lavado del suelo
- Aireación
- Estabilización y solidificación
- Vitrificación
- Tratamiento Térmico (incineración, pirolisis, desorción térmica, destrucción térmica, etc.)

Tratamiento Químico

- Neutralización
- Extracción con solventes
- Deshalogenación
- Tratamiento químico directo.

Tratamientos Biológicos

Las técnicas de remediación biológicas emplean procesos naturales para eliminar las sustancias químicas dañinas del medio ambiente y abarcan dos métodos:

- Biorremediación
- Fitorremediación.

2.4.2. RECUPERACIÓN FÍSICA

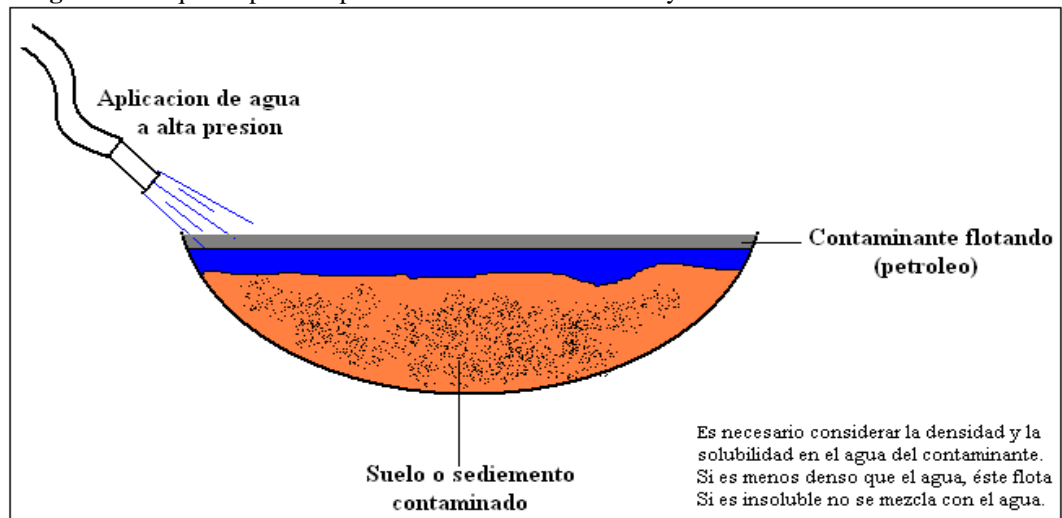
Las técnicas físicas para la recuperación de ambientes contaminados con Petróleo constituyen procedimientos aplicados de forma mecánica o manual empleado herramientas o maquinarias que permitan realizar un trabajo tal como la remoción de sedimentos o la extracción del crudo. El lavado de suelos es una de estas técnicas físicas para la recuperación de ambientes contaminados especialmente con hidrocarburos, consiste en aplicar agua a altas presiones para remover los suelos y sedimentos y favorecer su separación con elementos contaminantes tales como el petróleo que se impregna en las partículas del suelo (Ver figura 2).

En la aplicación de este procedimiento hay que tener en cuenta dos aspectos muy importantes de la naturaleza de los contaminantes:

- **Densidad:** es muy importante ya que esto le permitirá al contaminante flotar o hundirse en el agua. Su valor debe ser menor comparado con el agua $1\text{Kg}/\text{m}^3$, esto hará que flote en el agua y permita su recuperación
- **Solubilidad:** los contaminantes a recuperar deben ser insolubles en el agua para impedir que se mezcle se disperse en el ambiente

Esta técnica se puede aplicar in situ o ex situ en instalaciones transportables. Como acción complementaria a estas técnicas de remediación se debe prever el monitoreo del producto o sus residuos en los suelos tratados y sus posibles efectos sobre medidas de rehabilitación del sitio, especialmente en el caso de tratamientos in situ.

Figura 2.- Esquema para la aplicación del lavado de suelos y sedimentos contaminados



Elaboración: Autor

La solución acuosa producto del tratamiento puede ser reciclada, especialmente con los métodos ex situ, y debe recibir un tratamiento adecuado. Los contaminantes removidos, de igual manera, tienen que tratarse y disponerse de manera apropiada, cumpliendo con las normas ambientales aplicables de acuerdo al tipo de contaminante y forma de disposición final.

2.4.3. BIORREMEDIACIÓN

Podemos definir biorremediación como la utilización de seres vivos para solucionar un problema ambiental, tales como suelo o agua subterránea contaminados. La biorremediación comprende todos aquellos procesos en que se utiliza microorganismos, hongos, plantas o enzimas derivadas de los mismos para tratar un medio ambiente alterado por contaminantes y así restaurarlo.

En un ambiente no contaminado, las bacterias, los hongos, los protistas, y otros microorganismos heterotróficos degradan constantemente la materia orgánica disponible, para obtener energía. Cuando un agente contaminante

orgánico, tal como el petróleo, es accidentalmente liberado en un ambiente dado, algunos de los microorganismos nativos morirán, mientras que sobrevivirían algunos otros capaces de degradar estos compuestos orgánicos. La biorremediación trabaja proveyendo a estos organismos de nutrientes, oxígeno, y otras condiciones que favorezcan su rápido crecimiento y reproducción. Estos organismos entonces podrán degradar el agente contaminante a una velocidad mayor, proporcionando una técnica para limpiar la contaminación, realzando los mismos procesos de biodegradación que ocurren naturalmente en el medio ambiente.

Dependiendo del sitio y de sus contaminantes, la biorremediación puede ser más segura y menos costosa que soluciones alternativas tales como la incineración o el enterramiento de los materiales contaminados. (Revista Ecosistemas, 2009.)

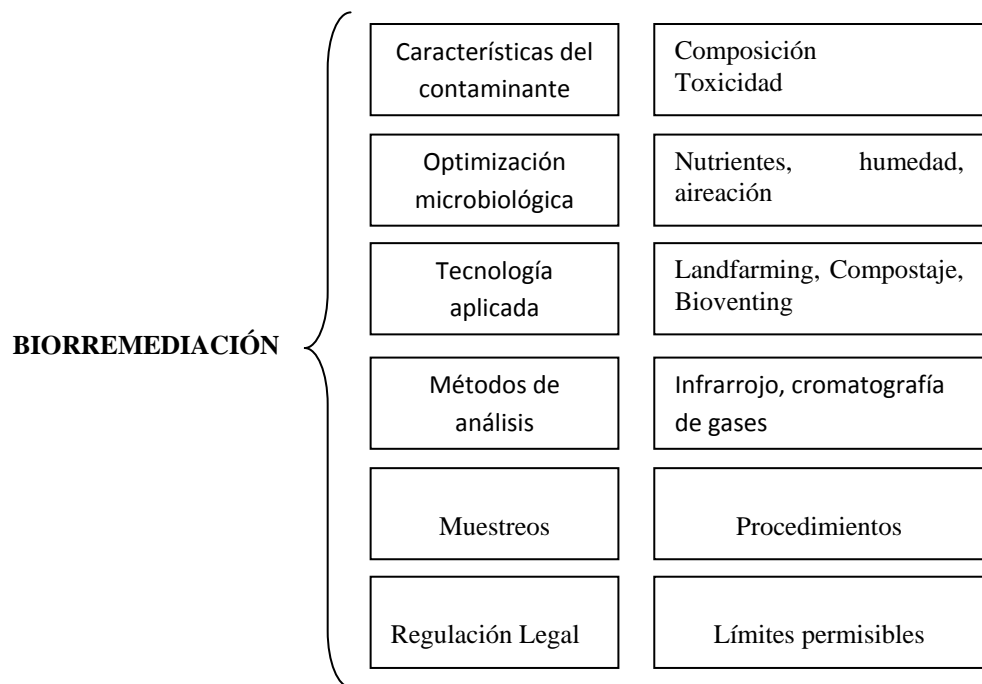
La biorremediación puede clasificarse según cómo se lleve a cabo, así, tenemos la biorremediación in situ (se trata el material contaminado en el lugar que se encuentra) y ex situ (el material contaminado se traslada para ser tratado).

El tratamiento puede ser en función de un contaminante específico como los organoclorados, hidrocarburos o metales pesados. Un ejemplo es el tratamiento de descontaminación de derrames de petróleo. En la descontaminación de petróleo se utilizan fertilizantes como nitratos o sulfatos, que estimulan el metabolismo de bacterias nativas o exógenas que degradan los componentes del petróleo.

Este método implica la adición de humedad y de los nutrientes necesarios para conseguir el incremento microbiano y favorecer el metabolismo. Se pueden tratar grandes extensiones de suelo con un mínimo transporte, normalmente utilizando maquinaria, la aireación frecuentemente se realiza empleando maquinaria apropiada (Motocultor) para revolver el suelo.

Este método posee la ventaja de que se pueden tratar grandes cantidades de tierra a la vez y que es efectivo para la reducción de las concentraciones de casi todos los constituyentes de los petróleos típicos. En la figura 3 que sigue a continuación se muestran los parámetros implicados en la biorremediación:

Figura 3.- Parámetros implicados en la Biorremediación



Fuente: Orozco – Soria 2008

2.4.3.1. BIODEGRADACIÓN MICROBIANA DE HIDROCARBUROS

Al hablar de biodegradación microbiana de hidrocarburos nos referimos al hecho de que los microorganismos pueden crecer a expensas de la utilización de estos compuestos químicos. Aunque pueda sorprendernos que un organismo sea capaz de alimentarse a expensas de compuestos tan extraños para el ser humano como el benceno, naftaleno o el pireno, las investigaciones llevadas a cabo por geoquímicos y microbiólogos nos

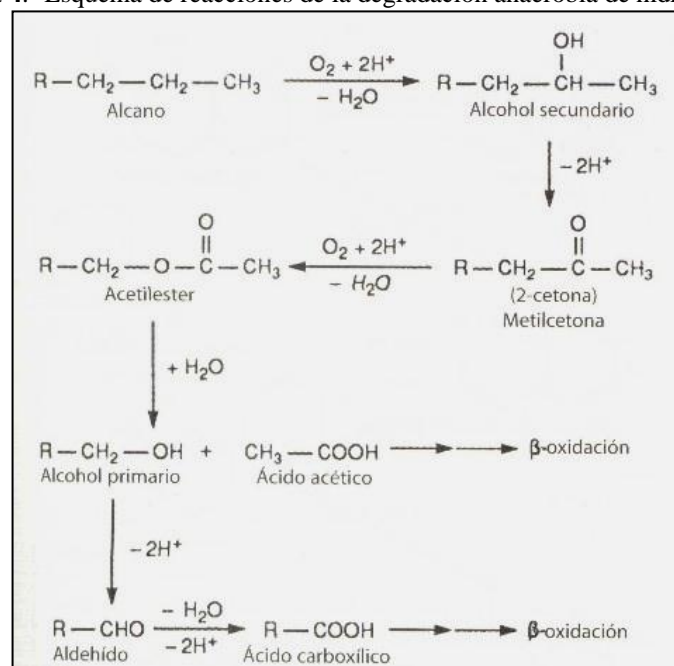
ofrecen una explicación. Observando los sucesos que han ocurrido a lo largo de los tiempos geológicos desde la formación de la Tierra hasta nuestros días, vemos que los microorganismos están en la tierra desde hace más de tres mil millones y medio de años, mientras que los organismos superiores desde hace menos de mil millones de años y el hombre desde hace sólo 6 millones de años, un instante a escala de tiempos geológicos. En la actualidad ya no se discute que el petróleo y, por lo tanto, sus componentes mayoritarios, los hidrocarburos, tienen su origen en los compuestos que forman parte de los organismos, los denominados compuestos biogénicos. Una sucesión de reacciones químicas, ocurridas a altas temperaturas y durante millones de años, que los geoquímicos engloban con el término de procesos diagenéticos y catagenéticos, ha conducido a la conversión paulatina de estas estructuras biogénicas en hidrocarburos.

En lugares donde se han encontrado hidrocarburos, se ha podido demostrar la existencia en etapas geológicas anteriores de organismos que poseían en sus células compuestos biogénicos como el pigmento eritroafina o el alcaloide veratramina. Este fenómeno supone que los microorganismos, capaces de crecer en sus orígenes solamente a expensas de compuestos biogénicos, como los azúcares o las proteínas, han ido conviviendo a lo largo de millones de años con una serie de compuestos orgánicos que finalmente han dado lugar a los componentes de los crudos de petróleo actuales. A lo largo de millones de años, han sido seleccionados enzimas que han aparecido por mutación o intercambio genético en determinados microorganismos capaces de metabolizar los hidrocarburos. Ahora sí podemos entender que los microorganismos hayan desarrollado las capacidades necesarias para metabolizar los hidrocarburos y por el contrario presenten mayores dificultades en degradar pesticidas o explosivos, productos sintetizados por el hombre, y que a escala de los tiempos geológicos sólo haría un instante que están en la tierra. Para algunos de estos compuestos, denominados xenobióticos, los microorganismos, pese a

su rápida adaptación a nuevas situaciones, podrían no haber sintetizado todavía las enzimas necesarias. (Solanas, 2009.) Los microorganismos que utilizan hidrocarburos como sustrato deben de tener enzimas denominada monooxigenasas que son dependientes de oxígeno. La mayoría de los microorganismos en teoría si son capaces de sobrevivir en ese ambiente pueden degradar hidrocarburos de cadena larga

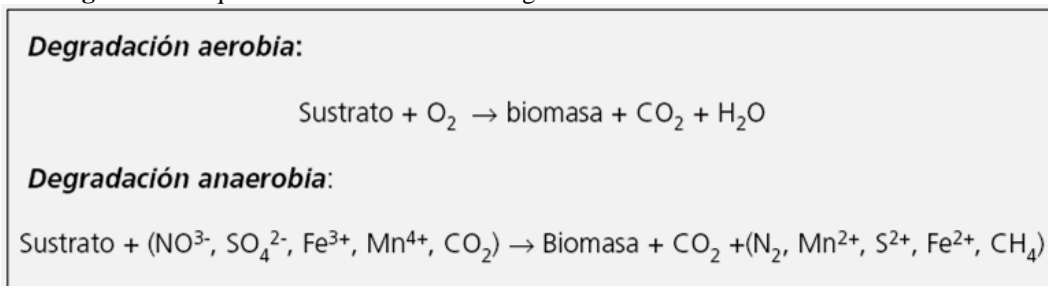
Para que sea de fácil comprensión y sin entrar en detalles metabólicos podemos decir que para que los microorganismos puedan degradar alcanos primero deben de oxidar con oxígeno el último carbono de la molécula gracias al complejo multi enzimático que no hacen más que incorporar esta molécula de oxígeno. Así se obtiene un hidrocarburo con un grupo alcohol siendo así una molécula mas reactiva. Mediante otras enzimas este grupo alcohol se oxida mas hasta grupo aldehído y finalmente carboxílico. Así se obtiene una molécula similar a un ácido graso y puede ser degradado a acetil-CoA por b-oxidación. Este proceso de oxidación también puede darse en carbonos no terminales dando lugar a dos ácidos grasos que se procesarán por b-oxidación. (Ver figura 4 y 5)

Figura 4.- Esquema de reacciones de la degradación anaerobia de hidrocarburo



Fuente: Maroto et al, 2004.

Figura 5.- Esquema de reacciones en la degradación de un sustrato contaminante



Fuente: Maroto et al, 2004.

Pero como se dijo antes, aunque la mayoría de microorganismos en teoría sean capaces de utilizar este mecanismo pocos pueden vivir en esas condiciones. Para hacerlo deben ser capaces de vivir en un medio muy hidrófobo como es el petróleo. Por lo tanto para colonizar las interfaces petróleo-agua tienen que variar sustentablemente la membrana. Además para introducir los hidrocarburos en la célula lo hacen vía vesícula. Por lo tanto si hablamos de requerimientos genéticos no solo es necesario el sistema monooxigenasa sino otros genes que permitan variar la envoltura y formación de esas vesículas. Por esta razón son pocos las especies que puedan realizar esta biodegradación. Sin duda la especie con más posibilidades y la más estudiada en el campo es la *Pseudomona* sp.

2.4.3.2. FACTORES DETERMINANTES

Los factores críticos a considerar en un tratamiento biológico son: tipo y concentración de contaminante; concentración de microorganismos, concentración de nutrientes, aireación y condiciones ambientales (Ercoli et al, 2001.)

Entre los factores que influyen en la aplicación y son determinantes de la eficacia de la biorremediación son:

- **Tipo de hidrocarburos:** la biodegradabilidad de un compuesto orgánico se debe a que es utilizado por los microorganismos como fuente de carbono. No todos los compuestos se degradan con la

misma facilidad. Los compuestos alifáticos de cadena lineal (parafínicos) se degradan fácilmente, las estructuras ramificadas estéricamente inaccesibles para la degradación. De la misma forma, los compuestos alifáticos insaturados degradan más lentamente que lo saturados.

- **Concentración de hidrocarburos:** Cuando la concentración del contaminante es alta puede ocurrir que se produzca inhibición del desarrollo microbiano (disminuya su capacidad de metabolización) o si es muy alta que intoxique a los microorganismos y estos mueran.
- **Presencia de microorganismos** los microorganismos pueden degradar hidrocarburos y otras sustancias contaminantes en forma de cultivos puros (especie única) o cultivos mixtos (varias especies que se mantienen en una relación simbiótica). Para el caso del tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos se requiere una concentración mínima de microorganismos degradadores específicos de 10^3 a 10^4 UFC/g de suelo (UFC: unidades formadoras de colonias) y de organismos heterótrofos totales de 10^5 a 10^6 UFC/g de suelo. En este caso generalmente no se necesita inoculación. Si esta masa crítica no es suficiente se puede incorporar microorganismos al suelo mediante la inoculación o a través del proceso conocido como bioaumentación. También se puede lograr un incremento importante estimulando la población microbiana existente por incorporación de nutrientes. (Smith, 1990.)
- **Nutrientes:** los nutrientes son sustancias químicas necesarias para el desarrollo de los microorganismos y se pueden dividir en cuatro grupos: fuentes de Carbono, Fósforo, Nitrógeno y oligoelementos (micronutrientes). La fuente de carbono es el contaminante, y proporciona el carbono necesario para producir compuestos

celulares, productos metabólicos (CO₂, agua, enzimas) y microorganismos (debido a la reproducción de los mismos). La dosificación de N y P se realiza en función de la concentración del contaminante de acuerdo a la relación C:N:P que varía según los autores 100:10:1; la concentración de hidrocarburo que se toma como referencia y que aporta en un 80% de masa como carbono al proceso, la velocidad de degradación esperada y balance de masa del material en tratamiento y del aporte de cada fertilizante del elemento considerado.

La fuente de Nitrógeno proporciona el elemento necesario para la producción de aminoácidos y enzimas. Dado que la utilización de estos compuestos es muy rápida los suelos no alcanzan a cubrir todas las necesidades del proceso y deben ser incorporados bajo la forma de fertilizantes de uso agrícola como urea o sulfato de amonio. También se puede utilizar fertilizantes de origen orgánico como el estiércol. (Corona et al, 2005.)

La fuente de Fósforo interviene en la formación de compuestos energéticos dentro de la célula que se utilizan los procesos de reproducción y degradación. Dado que la utilización de estos compuestos es muy rápida los suelos no alcanzan a cubrir todas las necesidades del proceso y deben ser incorporados bajo la forma de fertilizantes de uso agrícola como fosfato diamónico o fosfato tricálcico. También se pueden utilizar fertilizantes de origen orgánico como estiércol. (FAO, 1984.)

- **Condiciones Ambientales**

- **Aireación:** la presencia de oxígeno es importante para la degradación de hidrocarburos ya que es un proceso aeróbico.

- **pH:** es importante para el desarrollo de los microorganismos degradadores, siendo lo más adecuado un rango entre 6 y 8. Cuando el pH excede de 8 se debe disminuir el mismo mediante la adición de Azufre al suelo. Si es menor de 6 se puede incrementar mediante la incorporación de carbonato de calcio o hidróxido de calcio. Cuando se encuentran metales pesados en el terreno a muy altas concentraciones se debe trabajar a un pH que mantenga el metal inmovilizado o en forma no soluble (pH alto) para disminuir la toxicidad de los microorganismos.

- **Humedad:** el agua es importante para el desarrollo de los microorganismos ya que actúa como medio de transporte de nutrientes y oxígeno a la célula. Es conveniente mantener una humedad del orden del 70% de la capacidad de campo. Un exceso de humedad produce inhibición del proceso por anaerobiosis. Un déficit impide el desarrollo de los microorganismos.

- **Temperatura:** influye en la velocidad de degradación marcadamente, dependiendo del tipo de microorganismos disponibles. Normalmente las temperaturas más adecuadas se encuentran entre 20 ° C y 40 ° C, (los microorganismos que trabajan a estas temperaturas se denominan mesófilos). La velocidad de degradación aumenta con la temperatura, por lo que un incremento de la misma es útil. Cuando supera los 40 ° C se produce una disminución de la actividad microbiana, o bien se produce una rotación poblacional hacia especies más resistentes a las altas temperaturas, como ocurre en los procesos de compostaje en donde se alcanzan temperaturas de 65 ° C.

- **Presencia de metales y sales:** Su presencia en altas concentraciones intoxican a los microorganismos o actúan como biocidas. Entre estos se incluyen metales pesados, sodio en alta concentración, sales

inorgánicas (NaCl, sulfatos, carbonatos, etc). En general la presencia de sales y metales disminuye la velocidad de degradación en forma importante a menos que se disponga de microorganismos tolerantes en el lugar de tratamiento o se haya producido una bioaumentación con consorcios resistentes. En el caso de los metales se puede aumentar el pH del suelo para inmovilizarlos y así disminuir la toxicidad sobre los microorganismos. Si se tienen suelos muy contaminados con metales o sales se deberían diluir con suelo limpio para poder llevar a cabo el proceso biológico.

2.4.3.3. MICROORGANISMOS DEPRÉDADORES DE PETRÓLEO

Los llamados organismos hidrocarburoclásticos son bacterias y hongos capaces de degradar petróleo fisiológica y metabólicamente.

Todos los ecosistemas contienen algún tipo de microorganismos degradadores de petróleo, en las tablas 2.7 y 2.8 que siguen a continuación se indican los géneros reportados en estudios realizados:

Tabla 2.7.- Bacterias depredadoras de petróleo

BACTERIAS		
Achrornobacter	Acinetobacter	Actinomyces
Alcaligenes	Arthrobacter	Bacillus
Beneckea	Brevebacterium	Coryneformes
Erwinia	Flavobacterium	Klebsiella
Lactobacillus	Leumthrix	Moraxella
Nocardia	Peptococcus	Pseudomonas
Sarcina	Spherotilus	Spirillum
Streptomyces	Vibrio	Xanthomyces

Tabla 2.8.- Hongos depredadores de petróleo

HONGOS		
Allescheria	Aspergillus	Aureobasidium
Botrytis	Candida	Cephalosporium
Cladosporium	Cunninghamella	Debaromyces
Fusarium	Gonytrichum	Hansenula
Helmintrosporidium	Mucor	Oidiodendrum
Paecylomyces	Phialophora	Penicillium
Rhodosporidium	Rhodotorula	Saccharomyces
Saccharomycopsis	Scopulariopsis	Sporobolomyces
Torulopsis	Trichoderma	Trichosporon

Fuente: Aycachi, 2008.

También se ha reportado la utilización de dos especies de camarones en la biodegradación del petróleo, siendo estos *Peanus duorarum* y *Peanus aztecuz* cuya capacidad de degradar los hidrocarburos casi en su totalidad van desde los compuestos de 12 carbonos hasta los compuestos de 22 carbonos. (Aycachi, 2008).

2.4.3.4. COMPUESTOS QUE PUEDEN SER BIODEGRADADOS

Existen diversas opiniones en relación a si los microorganismos tienen límites en sus capacidades digestivas o si son capaces de degradar cualquier compuesto que el hombre pueda producir. Indudablemente, la verdad se sitúa entre estos dos puntos de vista extremos. No obstante los microorganismos pueden degradar multitud de compuestos bajo condiciones diferentes. Muchos compuestos sintéticos pueden también modificarse o transformarse mediante el uso de una bacteria, hongo o de algún tipo de población microbiana trabajando en asociación. Estos procesos varían desde la putrefacción de comida hasta la limpieza de derrames de petróleo. En muchos casos estos procesos son beneficiosos y esenciales. Después de todo, gran parte del procesos cíclico orgánico e inorgánico, necesario para el mantenimiento del ecosistema es consecuencia de la actividad microbiana. Además de poder modificar o degradar un compuesto, el rendimiento tiene que ser alto.

Muchos productos químicos xenobióticos son resistentes al ataque microbiano y/o son tóxicos para los microorganismos. Sin embargo, en zonas contaminadas con diversos compuestos xenobióticos se han aislado algunos microorganismos que pueden degradar muchos de ellos con diversa facilidad y velocidad, entre los que encontramos cloruro de etileno, PCBs, gasolina y otros derivados del petróleo, compuestos con 2 y 3 grupos nitro, incluyendo herbicidas nitrogenados y trinitrotolueno, hidrocarburos policlorados, incluyendo: pentaclorofenol, tetracloroetileno, dicloroetileno, cloruro de vinilo, tetracloroetano, creosota y fluoranteno.

2.4.3.5. BIORREMEDIACIÓN POR COMPOSTAJE

Las biorremediación en filas de compostaje es una tecnología de remediación de suelos de superficie, que reduce concentraciones de los constituyentes de petróleo en suelo a través de la biorremediación. Esta tecnología usualmente involucra el esparcido en filas sobre la superficie, del suelo contaminado excavado y la estimulación de la actividad microbiana aeróbica presente en los suelos, a través de aireación y adición de minerales, nutriente y humedad. La mejora de la población microbiana resulta en la degradación del petróleo adsorbido a través del metabolismo de los microorganismos.

El suelo normalmente contiene un gran número de diversos microorganismos tales como, bacterias, algas, hongos, microorganismos unicelulares, y actinomicetes. En suelos con buen drenaje, los cuales son más apropiados para esta tecnología, estos organismos son generalmente aeróbicos. De éstos, las bacterias son las más numerosas y bioquímicamente más activas.

Cuando no existen microorganismos nativos, es posible inocular al suelo microorganismos cultivados o estiércol de animales (típicamente de vacas o pollos). Incorporando estiércol se están realizando dos cosas, por un lado se está aumentando la población microbiana y por otro lado se está proveyendo nutrientes adicionales.

Para sostener el crecimiento de la población bacteriana, las pilas de compostaje deben mantener un rango de pH entre 6 y 8 durante su operación, siendo 7 un valor óptimo. Suelos fuera de este rango requerirán un ajuste, si el pH está por debajo del mencionado rango, este puede aumentarse con la adición de cal y en caso contrario, puede disminuirse con la adición de azufre.

Los microorganismos requieren de una fuente de carbono para el crecimiento celular y una fuente de energía para mantener las funciones

metabólicas requeridas para su crecimiento. Las fuentes de carbono pueden provenir del contaminante, del carbono contenido en fertilizantes o aditivos y agentes de esponjamiento del suelo tales como: paja, aserrín, cascaras de semillas, etc.

Estos microorganismos también requieren de nitrógeno y fósforo para su crecimiento celular. Los fertilizantes utilizados en horticultura pueden suplir la demanda de nutrientes requerida por los microorganismos activos en este tipo de procesos de biorremediación, y son mucho más económicos que la preparación de estos micronutrientes a partir de la combinación de los elementos originales.

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

En suelos de grano fino (arcillosos), durante operaciones de compostaje e hidratación puede producirse su apelmazamiento. Cuando esto ocurre, el oxígeno no puede infiltrarse a través de las cortezas de estos grumos. Como resultado, la población de bacterias disminuye y por ende el proceso de degradación de hidrocarburo se vuelve más lento. Para evitar este apelmazamiento, el “cultivo” del suelo puede implementarse con la adición de agentes de esponjamiento durante la distribución inicial y preparación del suelo.

Para comenzar el tratamiento se construye una pista de trabajo impermeabilizada mediante la preparación de un suelo cemento pobre, y con

el ajuste de las pendientes hacia un sumidero, se logrará un control total y absoluto de los lixiviados, los cuales serán re inyectados en el suelo a tratar, generando un ciclo semi - cerrado de circulación de agua.

Se excava el suelo en los sitios contaminados denominado como "hot spots" (localizaciones específicas con alta contaminación) para luego trasladarlo a una zona de tratamiento específica.

Se distribuye el suelo en filas o en pilas de 1,5 m de altura por 2,1 a 2,5m de ancho. Los nutrientes biológicos se agregarán de acuerdo a las necesidades para lograr y mantener una relación C:N:P apropiada. La USEPA (United States Environment Protection Agency) recomienda que la relación C:N:P sea de 100:15:1 o bien, 100:15:0.5. Los agentes de esponjamiento tales como paja, cáscaras de semillas y/o estiércol se agregarán para proveer una fuente adicional de carbono. Luego se prosigue con la operación del sistema de remediación, realizando un volteo periódico del suelo en tratamiento. (6)

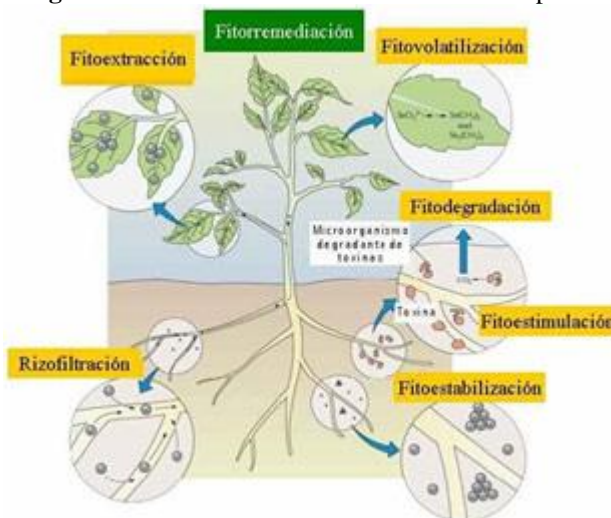
2.4.3.6. BIOESTIMULACIÓN

La bioestimulación consiste en la introducción de modificaciones en el medio, mediante el aporte de nutrientes, aireación y otros procesos ("biostimulation" o "enhanced bioremediation"). En ocasiones será suficiente añadir oxígeno mediante aireación, aunque en otros se podría requerir la adición de nutrientes o ajustes de pH. En todo caso, estas aproximaciones son válidas siempre y cuando los microorganismos autóctonos sean capaces de degradar el contaminante tras un proceso más o menos largo de aclimatación previa. En lo que se refiere a la adición de nutrientes, la biorremediación requiere que estos entren en contacto con el área impregnada por el contaminante y que su concentración sea suficiente para soportar el crecimiento máximo previsto de la población degradadora en el transcurso de las operaciones de remediación. (Sanchez, 2001.)

2.4.4. FITORREMEDIACIÓN

Es una técnica de biorremediación que consiste en utilizar las plantas, sistemas microbianos de las plantas, enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para contener, inmovilizar, remover, estabilizar y/o degradar compuestos contaminantes del ambiente. En la figura que se muestra a continuación se puede observar los procesos que se dan lugar en las plantas para la descontaminación:

Figura 6.- Procesos de Fitorremediación en las plantas



FUENTE: www.porquebiotecnologia.com.ar

Puede ser empleada exclusivamente o conjuntamente con otras tecnologías tradicionales de remediación de suelos y aguas subterráneas contaminadas con metales pesados, pesticidas, solventes clorados, explosivos, crudos y HAP. Generalmente se limita a sitios de baja concentración de contaminantes, suelos superficiales, agua corriente superficial y agua subterránea. Las plantas pueden fijar los tóxicos o bien pueden metabolizarlos tal como lo hacen los microorganismos en los procesos de biorremediación.

La fitorremediación es una tecnología innovadora y efectiva, siendo una técnica muy barata, sencilla de utilizar y sobre todo, respetuosa con el entorno ya que no introduce alteraciones en el mismo.

El término fitorremediación es muy amplio y describe un número de mecanismos que son definidos por las plantas (Ver tabla 2.9). La Fitorremediación puede involucrar la absorción del contaminante por la planta, o puede ser que se explote la actividad asociada a la planta en la rizósfera. En general estos dos tratamientos son gobernados por las características físicas del contaminante. La solubilidad del agua y la capacidad de absorción del suelo son dos características químicas que influyen la fitorremediación de los contaminantes. Los contaminantes inorgánicos solubles en el agua son absorbidos por las raíces de las plantas, mientras que los compuestos orgánicos no son tomados rápidamente por las plantas sino que son blancos de las enzimas de las plantas o de los microorganismos asociados con la rizósfera.

Tabla 2.9- Tipos de Fitorremediación

Tipo	Proceso Involucrado	Contaminación Tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces)	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc isótopos radioactivos, compuestos fenólicos
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Lagunas de desecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc.
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano)
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzeno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.

FUENTE: www.porquebiotecnologia.com.ar

Existen diversos métodos de tratamiento por fitorremediación, los cuales se podrían resumir en aquellos que remedian metales y los que sirven para el tratamiento de compuestos orgánicos.

- **Fitorremediación de metales (remoción)**
 - a) Fitoextracción
 - b) Rizofiltración
- **Fitorremediación de compuestos orgánicos**
 - a) Fitodegradación
 - b) Biodegradación rizosférica aumentada
 - c) Bombas orgánicas
 - d) Fitovolatilización

2.4.4.1. FITOEXTRACCIÓN

Es la captación de iones metálicos por las raíces de la planta y su acumulación en tallos y hojas. Hay plantas que absorben selectivamente grandes cantidades de metales (principalmente Ni, Zn y Cu) acumulando en los tejidos concentraciones mucho más altas que las presentes en el suelo o en el agua. Este proceso se ha utilizado para eliminar hidrocarburos de agua y suelo con cultivos alfalfa, álamos, enebro.

2.4.4.2. RIZOFILTRACIÓN

Es similar a la fitoextracción, pero en lugar de cultivar las plantas en el suelo, se cultivan en invernaderos por procesos hidropónicos. Las plantas se cultivan en tanques con agua y cuando presentan un gran sistema radical se reemplaza el agua limpia por agua contaminada, para que absorban los tóxicos (quedan fijados en sus raíces). A medida que las raíces se saturan del tóxico se van cortando y eliminando.

Esta metodología se emplea para rehabilitación de sitios contaminados con metales, para el tratamiento de descargas industriales, para agua de escurrimiento de la agricultura, el drenaje ácido de las minas y contaminación radioactiva. Este método se probó satisfactoriamente para eliminar iones radioactivos en las lagunas contaminadas en el accidente de la planta nuclear de Chernobyl, se usaron plantas de girasol.

2.4.4.3. FITODEGRADACIÓN

Es un proceso por medio del cual las plantas degradan compuestos orgánicos. Los compuestos son absorbidos y metabolizados por oxidasas y halogenasas principalmente.

2.4.4.4. ESPECIES APTAS PARA FITORREMEDIACIÓN

Algunas plantas tienen la capacidad natural de tolerar y concentrar contaminantes en sus tejidos, esta capacidad puede ser utilizada para limpiar ambientes contaminados con elementos tóxicos tales como hidrocarburos o metales pesados.

Las plantas denominadas fitorremediadoras, poseen como atributos ideales para acumular metales, preferiblemente en la parte superior de la planta; son tolerantes a la concentración del metal acumulado, crecen rápido, generan elevada producción de biomasa, resultan fácilmente cosechables y contienen sustancias que impiden que los herbívoros las consuman, para prevenir la transferencia de metales pesados a la cadena alimenticia.

Dentro de las plantas fitorremediadoras destacan las plantas llamadas hiperacumuladoras, las cuales son capaces de crecer en suelos contaminados con metales tóxicos y acumularlos a niveles extraordinariamente elevados. Por definición las plantas hiperacumuladoras de Pb, Ni, Co y Cu, son aquellas capaces de acumular en la parte aérea más de 1000 mg/kg en peso

seco; en tanto que las plantas hiperacumuladoras de Cd acumulan 100 mg/kg en peso seco. Se han reportado más de 400 diferentes especies de plantas hiperacumuladoras. (MAQUEDA 2003)

A continuación en la tabla 2.10 se muestran algunos ejemplos de plantas utilizadas en Fitorremediación.

Tabla 2.10.- Especies utilizadas en biorremediación

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Plantas Acuáticas	
Azolla filicuiloidea	Helecho acuático
Bacopa momieri	Bacopa
Eichornia crassipes	Jacinto de agua
Hydrilla verticillata	Maleza acuática
Lemna sp	Lenteja de agua
Pistia stratiotes	Lechuga de agua
Salvinia molesta	Salvinia
Spirodela polyrrhiza	Flores de agua
Vallisneria americana	Valisneria lisa
Oriza sativa	Arroz
Plantas de ornato	
Brassica juncea	Mostaza
Helianthus annus	Girasol
Guadua angustifolia	Guadua
Plantas terrestres	
Agrostis castellana	Vallico
Thlapi caerulescens	Carraspique
Athyrium yokocense	Helecho

Fuente: Modificado de McINTYRE 2003

2.5. MARCO LEGAL

En nuestro país existen leyes que protegen la naturaleza y le otorgan derechos para asegurar su preservación tal como lo estipula la Constitución de la República. Existen también normativas que regulan ciertas actividades tales como la Industria Petrolera en donde se establecen límites máximos de contaminación; entre estas normas legales esta el TULAS Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria y el RAOH Reglamento Ambiental para las Operaciones Ambientales.

2.5.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA TITULO II DERECHOS

Capítulo II, Sección Segunda: Ambiente Sano

Art. 14. Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Capítulo VII Derechos de la Naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o *Pacha Mama*, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

2.5.2. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA LIBRO VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL

Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de descarga efluentes: recurso agua. Tabla 3

Anexo 2, Norma de Calidad Ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelo contaminado. Tabla 2 y 3

2.5.3. REGLAMENTO AMBIENTAL PARA OPERACIONES HIDROCARBURÍFERA

Art. 16.- Monitoreo de programas de remediación.- párrafo segundo y tercero:

“Los programas o proyectos de remediación sujetos a aprobación y seguimiento por parte de la Subsecretaría de Protección Ambiental a través de la Dirección Nacional de Protección Ambiental serán la remediación de piscinas y/o suelos contaminados, así como la remediación después de accidentes mayores en los que se hayan derramado más de cinco barriles de crudo, combustible y otro producto”.

Art. 59.- Tratamiento y cierre de piscinas.- Para el caso de piscinas que contengan crudo intemperizado o que hayan sido mal manejadas, es obligación de los sujetos de control proceder a la limpieza, recuperación del crudo, tratamiento, taponamiento y/o revegetación de cada una de estas con especies nativas de la zona, en base al Programa o Proyecto de Remediación que presentará la empresa, conforme a lo establecido en el artículo 16 de este Reglamento, para la aprobación de la Subsecretaría de Protección Ambiental.

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.4) El agua residual será tratada y dispuesta, una vez que cumpla con los límites permisibles establecidos en la Tabla No. 4 del Anexo 2 de este Reglamento.

Anexo 2: Parámetros, valores máximos referenciales y límites permisibles para el monitoreo ambiental interno rutinario y control ambiental

Tabla 6: Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas estaciones de servicios. (Tabla 2.11)

Tabla 2.11.- Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados

Tabla 2.11.- Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados

Parámetro	Expresado en	Unidades 1	Ecosistemas sensibles 2	Uso Agrícola 3	Uso Industrial 4
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/kg	<1000	<2500	<4000
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	C	mg/kg	<1	<2	<5
Cadmio	Cd	mg/kg	<1	<2	<10
Níquel	Ni	mg/kg	<40	<50	<100
Plomo	Pb	mg/kg	<80	<100	<500

1) Expresado en base seca (gravimétrico; 105°C, 24 horas)

2) Valores límites permisibles enfocados en la protección de suelo y cultivos

3) Valores límites permisibles para sitios de uso industrial (construcciones, etc.)

4) Valores límites permisibles para la protección de ecosistemas sensibles tales como el Patrimonio Nacional de Áreas Naturales y otros indicados en el correspondientes EIA

Fuente: RAOH

2.6. PROGRAMA DE REPARACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL PRAS

Mediante Acuerdo Ministerial No 033 de 12 de marzo de 2008, publicado en el Registro Oficial de 301 de 25 de marzo de 2008, se constituye la Unidad del Equipo Gestor del PRAS con el objeto de que se desarrollen y ejecuten las políticas emanadas del Despacho Ministerial y lleve adelante la reparación de pasivos ambientales y sociales provenientes de actividades hidrocarburíferas y mineras, para lo cual efectuará actividades de gestión técnica, administrativa y financieras de proyectos a nivel nacional.

El Proyecto de Reparación Ambiental y Social tiene como propósito ejecutar planes programas y proyectos que fortalezcan las capacidades locales (gobiernos, instituciones locales y sociedad civil) en las zonas afectadas, para desarrollar acciones coordinadas orientadas a prevenir la ocurrencia de nuevos daños ambientales y sociales asociados a la industria

del petróleo y la minería, remediar sus impactos negativos en la población y los ecosistemas, utilizando estratégicamente los recursos en la perspectiva de lograr la restauración ecológica, es decir la recuperación de cada uno de los componentes ambientales y sociales que se encuentran degradados a causa de actividades humanas, hasta un estado estable y autosuficiente. La Universidad Técnica del Norte por intermedio del Centro de Trasferencia de Tecnologías de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales luego de cumplir con los requisitos establecidos fue acreditada para formar parte de este programa y ejecutar un proyecto de remediación, para lo cual se le asignó un área donde anteriormente ocurrió un derrame, el sitio fue la zona afectada por el derrame de petróleo de la línea de flujo del Pozo Shushuqui 13 en la parroquia Pacayacu del Cantón Lago Agrio de la Provincia de Sucumbíos, que corresponde al área de explotación Petrolera Campo Libertador.

2.6.1. CARACTERIZACIÓN 2008

La caracterización fue un proceso previo a la ejecución del Proyecto de Remediación Integral del derrame de petróleo de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13, aquí se levantó información base de toda el área que fue afectada por el derrame, fue realizada por diversos profesionales especialistas en cada área.

La caracterización persiguió el siguiente objetivo principal:

Realizar la caracterización integral del área afectada por el derrame de petróleo producido por la ruptura de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13, en el área Libertador.

Objetivos Específicos

- Obtener información sobre el derrame
- Conseguir la aceptación y participación de la comunidad

- Identificar la realidad socio-económica de la zona
- Realizar la caracterización físico-química y microbiológica de suelos, aguas y sedimentos ubicados en la zona afectada por el derrame
- Construir un inventario de especies vegetales y animales nativos
- Identificar posibles impactos en cultivos agrícolas y animales domésticos
- Procesar la información obtenida para obtener mapas temáticos
- Elaborar un video de caracterización

CAPITULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales empleados para el desarrollo de la investigación tanto para el trabajo de campo como para el trabajo de oficina, así como también los instrumentos, equipos e insumos se detallan a continuación en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1.- Materiales equipos e insumos utilizados

MATERIALES	
1. DE CAMPO	2. DE OFICINA
Carretillas	Insumos de oficina
Palas	Etiquetas adhesivas
Picos	Cinta adhesiva
Machetes	Marcadores indelebles
Trinches (diablos)	
Rastrillos	
Guantes de caucho	
Guantes quirúrgicos	
Overoles pescadores	
Recuperadores de crudo (malla metálica)	
Barreras plásticas de contención	
Barreras de tela (oleofílicas)	
Recipientes plásticos 1L	
Fundas Ziploc	
Fundas plásticos grandes	
- Costalillos	
3. EQUIPOS	4. INSUMOS
Motocultor	Materia orgánica vegetal
Bombas de agua	Desechos de camal (estiérco de ganado)
Mangueras de alta presión	Gallinaza (estiércol de ave y aserrín)
Pitones de alta presión	Cascarilla de arroz
Cámara Digital	Abono 10:30:10
Computador Portátil Acer 1000	Urea
GPS Garmin 60CSx	Servicio de análisis de laboratorio
Nivel Laser	

Elaboración: Autor

3.2. MÉTODOS

A continuación se detallan los métodos aplicados para llevar a cabo los diferentes procesos planteados para el desarrollo de la investigación.

3.2.1. CARACTERIZACIÓN ÁREA DE TRABAJO

Consistió en detallar las características propias del área. Para lo cual se hizo una descripción general del ecosistema, se detalló factores abióticos y bióticos, y se identificó los contaminantes presentes tanto en el suelo como en el pantano. Dentro de los factores abióticos se consideró al suelo y los sedimentos del pantano; en los factores bióticos a la flora y fauna que existe en el lugar; y para la identificación de contaminantes se consideró al petróleo indicado como TPH (Total Hidrocarbon Petroleum= hidrocarburos totales de petróleo) y a los metales Pb y V.

3.2.1.1. DELIMITACIÓN FÍSICA Y CARTOGRÁFICA

Fue un paso previo a la caracterización del área, para esto se realizó un recorrido de todo el lugar, el área de suelo y el pantano afectado. Empleando un GPS Garmin65CSx se georeferenció el área, con estos datos se generó la cartografía respectiva delimitando el área. Para la delimitación física fue necesaria la construcción de cunetas alrededor de todo el pantano y del suelo.

3.2.1.2. DESCRIPCIÓN DEL ECOSISTEMA

Para describir el ecosistema en el que se encuentra el área de trabajo se hizo una Evaluación Ecológica Rápida, en la cual se consideró aspectos relevantes del lugar tales como vegetación predominante, precipitación, temperatura, humedad, ubicación geográfica, altitud, geomorfología, etc.

3.2.1.3. FACTORES ABIÓTICOS

Los factores abióticos considerados son los suelos y los sedimentos del pantano, ya que estos elementos fueron los primero en ser contaminados al momento en que se produjo el derrame, otra situación a tomar en cuenta es que las acciones de contingencia que emprendió la empresa privada días después del derrame se centraron en recolectar el crudo superficial, dichas acciones no contemplaron procesos de remediación, por lo tanto se dejaron lugares contaminados con petróleo.

- **SUELO**

Para la determinación del tipo de suelo en el que se encuentra esta área se revisó la cartografía existente de suelos del Ecuador, así como de la información generada en la Caracterización. Posteriormente en el trabajo de campo se identificó los diferentes tipos de suelos que están presentes en el área de trabajo mediante la observación directa del suelo en lugares donde se puede apreciar como cortes, excavaciones, laderas, etc.

- **SEDIMENTOS**

Para conocer el tipo de sedimentos que se encuentran en el pantano se observó directamente muestras pequeñas y se analizó parámetros físicos como textura, estructura, presencia de materia orgánica y saturación. Otro factor analizado fue el tipo de suelo del área circundante, ya que los sedimentos son producto del arrastre de partículas de suelo por la precipitación hacia zonas bajas inundables como los pantanos.

3.2.1.4. FACTORES BIÓTICOS

Los factores bióticos considerados son la Flora y la Fauna, aspectos del ecosistema que están relacionados entre sí y que al momento de producirse el derrame de petróleo se ven afectados; y de igual manera se verán

beneficiados por la recuperación del área de trabajo que es parte de su hábitat natural.

- **FLORA**

Para conocer las especies de flora que habitaban el hizo un recorrido de toda área de trabajo abarcando toda el área, es decir se hizo un barrido completo del lugar, en este proceso se utilizó como guía de campo el Informe de la Caracterización realizada anteriormente (CTT-FICAYA 2008).

- **FAUNA**

La fauna en general (aves, mamíferos, etc.) fue registrada mediante observación directa, por conversaciones mantenidas con los comuneros del sector y por presencia de rastros, en todo lapso que duro el trabajo de campo. De igual manera se utilizo como guía de campo el informe de la Caracterización.

3.2.1.5. IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES

Para identificar la presencia de los contaminantes y también sus concentraciones en las áreas sujetas a recuperación se realizaron varios muestreos de suelo y sedimentos.

- **PARÁMETROS DE ANÁLISIS**

Para seleccionar los parámetros a analizar en laboratorio las diferentes muestras de suelo y sedimento se consideró la Tabla 6 del Anexo 2 del RAOH donde se detallan los valores limites para programas de remediación, (Ver tabla 2.11)

De los parámetros establecidos en la tabla mencionada no se consideró los hidrocarburos aromáticos policíclicos ya que los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) incluye a todos los hidrocarburos entre ellos los policíclicos aromáticos, en cuanto a los metales se considero al Plomo (Pb) y al Vanadio (V) pese a que no se encuentra en la tabla pero tienen una alta concentración en el crudo por lo tanto debe ser considerado, además su presencia asegura la presencia de otros metales como el Cromo (Cr) y el Cadmio (Cd).

- **MÉTODOS DE ANÁLISIS**

Las muestras tomadas fueron enviadas al Laboratorio Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, laboratorio que se encuentra debidamente acreditado y certificado, lo cual asegura la validez de los resultados obtenidos.

Los métodos de análisis que usa el laboratorio son métodos normalizados internacionalmente por la EPA (Environment Protection Agency) y están debidamente certificados por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE)

Los métodos utilizados fueron los siguientes:

- Para análisis de Hidrocarburos Totales (TPH) el laboratorio utilizo el método de determinación por espectroscopia infrarroja. Método EPA 8440
- Para análisis de Metales el laboratorio utilizo cromatografía de gases. Método EPA 3050 y 7910 para Vanadio y Método EPA 3050 y 7420 para Plomo

- **MANEJO DE MUESTRAS**

Las muestras tanto de suelo como de sedimento una vez que fueron recolectadas fueron colocadas en fundas con cierre fijo hermético (Fundas Ziploc), luego se etiquetó cada muestra con su respectivo código de identificación, todos los códigos fueron registrados en un “Hoja de Cadena de Custodia” (ver anexo 2.3) aquí se registró también los parámetros que se requirió analizar. Para el transporte de las muestras se empleó recipientes plásticos que conservan la temperatura (termos o cooler); para conservar las muestras se utilizó refrigeración mediante el uso de refrigerantes como hielo artificial (Iceblue), a mas de esto las muestras fueron enviadas de inmediato el mismo día que fueron tomadas de tal modo que el tiempo que transcurrió desde tomar las muestras hasta la recepción en el laboratorio fue menor a 24 horas.

- **MUESTREO DE SUELO**

Este proceso se llevo a cabo en el trabajo de campo, pero es necesario considerar también una etapa previa que es la Caracterización la cual fue ejecutada antes del inicio del Programa de Remediación Ambiental Shushuqui 13 donde también se tomaron muestras de suelo en el sitio del derrame:

“Para la obtención de muestras se utilizó el muestreo sistemático (en rejilla) que consiste en la toma de muestras equidistantes con el fin de realizar una mejor caracterización de la contaminación. Como se trata de evaluar la extensión de la contaminación en superficie y profundidad se trazaron varias líneas paralelas y perpendiculares sobre la superficie. Sobre las intersecciones (que son equidistantes) se tomó la muestra...”
Caracterización CTT-FICAYA 2008

En desarrollo del trabajo de campo se tomaron muestras compuestas del suelo contaminado en el área anteriormente delimitada, tomando como base

la pluma de contaminación (ver figuras 7-8-9), se ubicaron los puntos críticos de mayor contaminación y se procedió a tomar dos muestras compuestas. Para la toma de muestras se utilizó un barreno que permitió sacar el suelo hasta una profundidad de 1,20m, se homogenizó todo el suelo extraído, se tomó 1 kg de suelo por cada muestra y se colocó en las fundas Ziploc.

- **MUESTREO DE SEDIMENTOS**

Para la toma de muestras en el pantano contaminado se identificaron previamente puntos donde la contaminación era notoria dentro del pantano, se identificaron 13 puntos. Luego para facilitar el muestreo y tener valores más representativos se dividió al pantano en tres partes: Parte Alta, Parte Media y Parte Baja. (Ver Anexo 1.3 Mapa Puntos de Contaminación) y se tomaron 3 muestras compuestas una en cada parte, para lo cual se extrajeron sedimentos de varios puntos cubriendo así toda el área, los sedimentos extraídos con la ayuda de un barreno y una pala se colocaron en un plástico para homogenizar el material y de ahí se tomó 1kg para cada muestra en una funda Ziploc,

3.2.2. ANÁLISIS DEL PROCESO NATURAL DE RECUPERACIÓN

Se consideró como proceso natural de recuperación a la reducción de la concentración de los TPH sin que se haya realizado ninguna intervención, es decir que esta reducción se debe netamente a procesos que ocurren de manera natural, producto de la interacción entre el contaminante que en este caso es el petróleo y el entorno. Estos procesos son la volatilización, oxidación y degradación hecha por microorganismos autóctonos que se encuentran en estos suelos.

Para conocer en qué medida fue efectivo ese proceso se calculó el porcentaje de variación de la concentración de TPH en el suelo, entre las muestras tomadas en la caracterización (Abril 2008) y el trabajo de campo (Diciembre 2009), en el lapso de tiempo de 1 año 8 meses, en el que no se realizó ninguna intervención después de que fueron contaminados.

Con este análisis se buscó conocer si este ecosistema es capaz de auto recuperarse eficientemente sin ninguna ayuda, o si existe la necesidad de emprender programas de remediación que contribuyan a reducir la contaminación hasta niveles inferiores a los establecidos en las leyes.

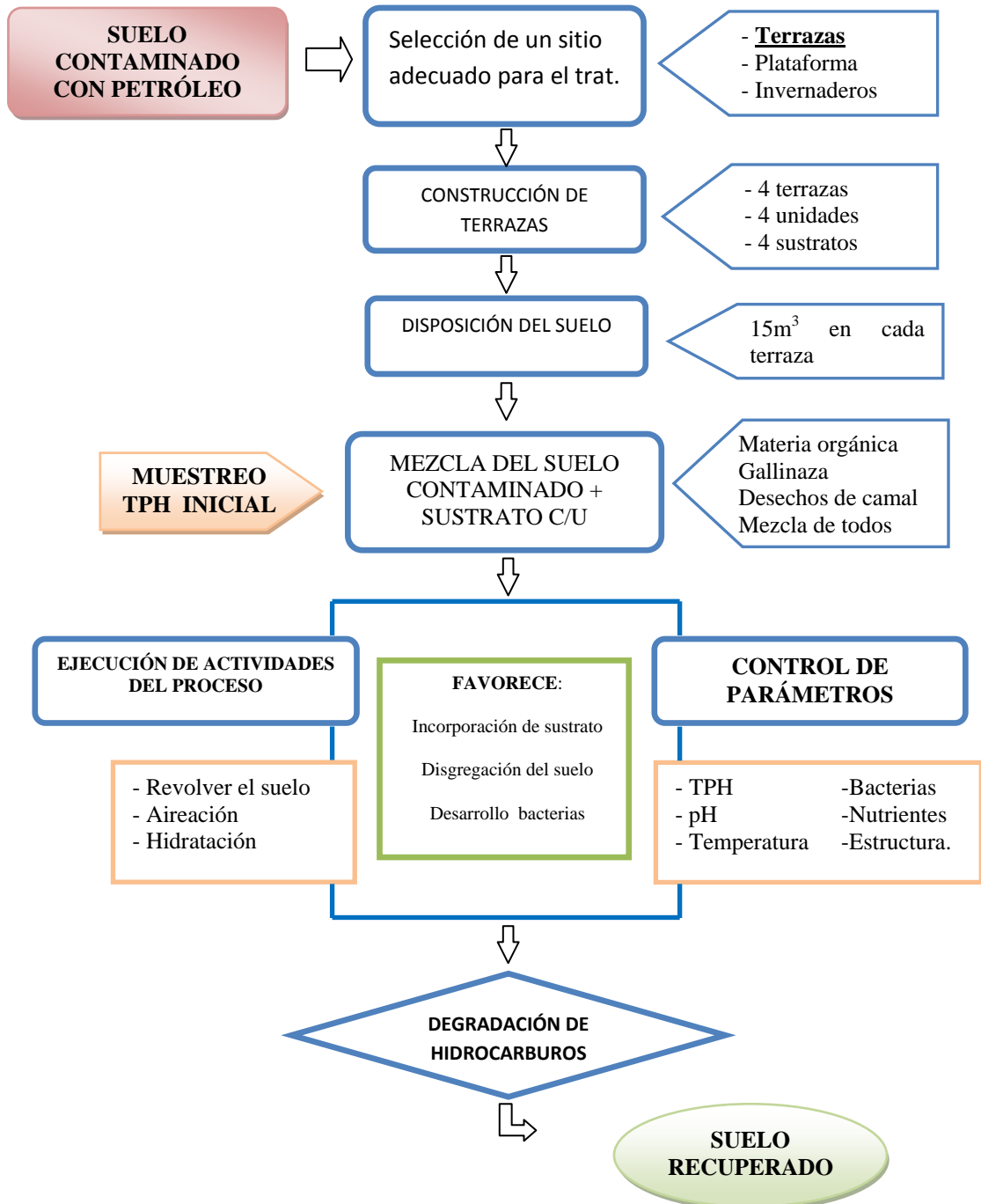
3.2.3. METODOLOGÍA PARA LA RECUPERACIÓN DEL SUELO

Para la recuperación del suelo se aplicó un proceso biológico “Compostaje”, que consistió en estimular la actividad de las poblaciones bacterianas propias del suelo para favorecer la degradación de hidrocarburos. Los factores de importancia para la actividad bacteriana de acuerdo a la literatura revisada son los nutrientes (sustratos), temperatura, aireación, hidratación, pH, todos fueron considerados en el proceso de recuperación del suelo. Ver anexo 3 Fotografías del proceso.

3.2.3.1. ESQUEMA DEL PROCESO

A continuación se indica el diagrama de flujo que detalla los procesos ejecutados para la recuperación del suelo contaminado con petróleo hasta conseguir el objetivo principal que es reducir la concentración de los contaminantes (TPH) hasta un valor inferior al límite que establece la normativa ambiental.

ESQUEMA DEL PROCESO PARA LA RECUPERACIÓN DEL SUELO CONTAMINADO



3.2.3.2. CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS

Antes de iniciar el proceso de recuperación fue necesario contar con un sitio adecuado para disponer el suelo de manera adecuada y que permita ejecutar todas las actividades que el proceso requiere tales como adición del sustrato, hidratación, aireación, etc., para lo cual se construyeron 8 terrazas con cubierta plástica y rodeadas de cunetas para evitar el ingreso del agua.

La construcción consistió en movilizar el suelo (sin contaminación) del área contigua al derrame y disponerlo en forma de terrazas; para la cubierta se utilizaron postes de madera y plástico. Las dimensiones de las terrazas son de 2 m de ancho y 10m de largo las 4 pequeñas y 20m de largo las 4 grandes. La dimensiones de las unidades son de 20m de largo las unidades grandes y 10m las unidades pequeñas, lo que resulta 30m unidas las dos terrazas x 2m de ancho x 0,25m de alto de suelo contaminado deshidratado, lo cual da un volumen a tratar en cada terraza de 15m³ y en total 60m³ de suelo.

3.2.3.3. DISPOSICIÓN DEL SUELO

Se extrajo manualmente el suelo del lugar del derrame considerando el área delimitada por la pluma de contaminación, y se lo dispuso equitativamente en las terrazas, esto es 0.25m de alto de la capa de suelo por 2m de ancho de la terraza y por 30m de largo unidad las dos terrazas de cada unidad; esto da un volumen de 15m³ de suelo contaminado deshidratado en cada unidad y 60m³ en total. En la tabla 3.2 se detalla la disposición de suelo.

Tabla 3.2.- Volumen de suelo dispuesto en las unidades de tratamiento

DISPOSICIÓN DEL SUELO		
Código	Descripción	Volumen de suelo (m ³)
UT 1	Unidad de Tratamiento 1	15
UT 2	Unidad de Tratamiento 2	15
UT 3	Unidad de Tratamiento 3	15
UT 4	Unidad de Tratamiento 4	15
VOLUMEN DE SUELO TOTAL A TRATAR		60m³

Fuente: Trabajo de campo

Elaboración: Autor

Luego de la disposición del suelo contaminado no se realizó ningún proceso durante varias semanas para permitir la deshidratación del suelo, así como también procesos que ocurren naturalmente tales como la oxidación y volatilización de fracciones livianas de hidrocarburos; esto ayudó a reducir la concentración de TPH.

3.2.3.4. MEZCLA DE SUELO CON SUSTRATOS

Se utilizaron 4 tipos de sustratos para lo cual se establecieron 4 unidades de recuperación del suelo, los sustratos utilizados en cada unidad de tratamiento fueron:

- **MATERIA ORGÁNICA**

Comprende todo tipo de desechos vegetales que se generan en el Mercado Feria Libre de Lago Agrio los días domingo y lunes que son días de feria y hay una mayor afluencia de productos.

- **GALLINAZA**

Constituida por la mezcla de estiércol de gallina con aserrín, esto se produce como desecho de la crianza de aves. Se obtuvo de las cercanías del proyecto ya que varios los pobladores se dedican a la crianza de aves.

- **DESECHOS DE CAMAL**

Son los excrementos de todo tipo de ganado que llega a ser faenado en el Camal Municipal de Lago Agrio. Se lo obtiene recogiendo de las fosas destinadas para su depósito en las instalaciones del camal.

- **MEZCLA DE SUSTRATOS**

Es la mezcla en partes iguales de los tres sustratos anteriores

Se escogieron estos sustratos por su alto contenido de bacterias, por la factibilidad que existe de obtenerlos y por la facilidad con que se descomponen y se incorporan al suelo. La distribución de las terrazas para la aplicación de cada sustrato al suelo se hizo de la siguiente manera:

DISTRIBUCIÓN DE TERRAZAS EN UNIDADES DE TRATAMIENTO DE SUELO CONTAMINADO

UNIDAD 1	MEZCLA DE SUSTRATOS (MO+G+EG)
UNIDAD 2	MATERIA ORGÁNICA
UNIDAD 3	GALLINAZA
UNIDAD 4	ESTIÉRCOL DE GANADO

3.2.3.5. MEZCLA DE SUELO CON SUSTRATOS

Una vez adicionado todos los sustratos se mezcló con el suelo con la ayuda de un Motocultor, tratando de homogenizar y mezclarlo todo.

El Motocultor es una maquinaria agrícola empleado para trabajar el suelo en superficies pequeñas en las cuales no es posible ingresar maquinaria pesada (tractor), consta de una rastra con aspas las cuales giran por la acción del motor a diesel de esta manera revuelve el suelo, rompe los agregados y mezcla los sustratos.

En esta etapa luego de adicionar los sustratos se realizo la medición de TPH en los suelos de cada unidad, estos valores son el punto de inicio del proceso.

3.2.3.6. EJECUCIÓN ACTIVIDADES DEL TRATAMIENTO

Son actividades que el desarrollo del proceso requiere, son las siguientes:

- **Revolver el suelo:** consiste en revolver el suelo periódicamente, esto ayuda a mejorar la estructura rompiendo los agregados grandes, también ayuda a mezclar el suelo con el sustrato
- **Aireación:** consiste en oxigenar al suelo dándole movimiento continuo como en el ítem anterior, esto ayuda al desarrollo bacteriano y a la degradación aerobia de los hidrocarburos
- **Hidratación:** consiste en adicionar agua en caso de ser necesario cuando el suelo se encuentra demasiado seco, esto ayuda al desarrollo bacteriano, también a mejorar su estructura y lo hace que sea manejable.

Los procesos de aireación y revolución del suelo se llevó a cabo mediante el uso del Motocultor, como se explico anteriormente con esta maquinaria se revolvió el suelo.

3.2.3.7. CONTROL DE PARÁMETROS

- **TPH:** se tomaron muestras y se envió para su análisis en el Laboratorio Ambiental de la Universidad Central del Ecuador bajo el método descrito anteriormente.
- **BACTERIAS:** este parámetro se refiere a la concentración de bacterias en el suelo, se lo expresa en Unidades formadoras de Colonias por gramo de suelo (Ufc/gr), fue monitoreado mediante el conteo de bacterias para lo cual se inoculo muestras del suelo en Agar nutritivo, se dejo incubar y se realizó el conteo. También se enviaron muestras para que se realice este proceso en el laboratorio de la UCE. El valor óptimo es de 1×10^6 ufc/gr o mayor.

- **NUTRIENTES:** este parámetro valora la cantidad de nutrientes (principalmente Nitrógeno y Fósforo) presentes en el suelo necesaria para favorecer la actividad de las poblaciones bacterianas del suelo. Para conocer los valores se enviaron muestra de suelo para que sean analizadas en el laboratorio.
- **pH:** fue controlado mediante la medición del pH del suelo en recuperación utilizando un medidor de pH a baterías (pH Meter), para esto se tomó 10 gr de suelo y se diluyeron en 100ml de agua destilada y luego se realizó la medición. A continuación en la Tabla 3.3 se encuentra los rangos de pH:

Tabla 3.3.- Rangos de pH

pH		PROCESO A APLICAR
1 – 6,4	Acido	Neutralizar
6,5 a 7,5	Optimo	Optimo
7,6 - 14	Básico	Neutralizar

Fuente: Brown 1998

Elaboración: Autor

- **HUMEDAD:** este factor fue evaluado en el campo mediante la observación directa, en la Tabla 3.3 se describe el criterio considerado para evaluar este parámetro:

Tabla 3.4.- Criterios para el control de humedad en los suelos en recuperación

HUMEDAD	APARIENCIA DEL SUELO (observación)	PROCESO A APLICAR
Seco	Forma agregados (terrones) muy duros	Adición de agua hidratación o sustratos,
Optimo	Se disgrega fácilmente, facilitar trabajo con el motocultor	
Muy Húmedo	Se apelmaza, difícil remoción, se pega a las aspas del motocultor, se vuelve lodo	Se deshidrata, no se añade agua ni sustratos

Fuente: Trabajo de campo

Elaboración: Autor

- **TEMPERATURA:** se controló este parámetro mediante Termómetros de Mercurio, debido a que el clima del lugar es cálido la temperatura es

siempre superior a las 24°C valor óptimo para una buena actividad bacteriana.

- **ESTRUCTURA:** este parámetro se refiere a los agregados (terrones) que se forman, se evaluó en el campo mediante la observación directa de los agregados del suelo considerando su tamaño como lo describe la Tabla 3.5:

Tabla 3.5.- Criterios para el control de la estructura de los suelos en recuperación

TAMAÑO DE AGREGADOS	APARIENCIA DEL SUELO (observación)	PROCESO A APLICAR
Grueso	Se observa agregados (terrones) de gran tamaño, diámetro > 30cm	Labores culturales ingreso del Motocultor para romper los agregados
Medio	Se observa agregados de tamaño medio 5-30cm	Labores culturales ingreso del Motocultor para romper los agregados
Fino	Se observa al suelo disgregado, suelto	

Fuente: Trabajo de campo

Elaboración: Autor

Con todos los procesos aplicados y el control de parámetros se busca estimular el desarrollo bacteriano y consecuentemente la degradación de hidrocarburos del suelo.

3.2.4. METODOLOGÍA PARA LA RECUPERACIÓN DEL PANTANO

Para la recuperación de esta área se planteó la aplicación de un proceso Físico – Biológico. El proceso físico consistió en un lavado con agua a presión para remover sedimentos contaminados y de esta manera hacer que el crudo se desprenda y flote, permitiendo su recuperación así como también del material vegetal contaminado.

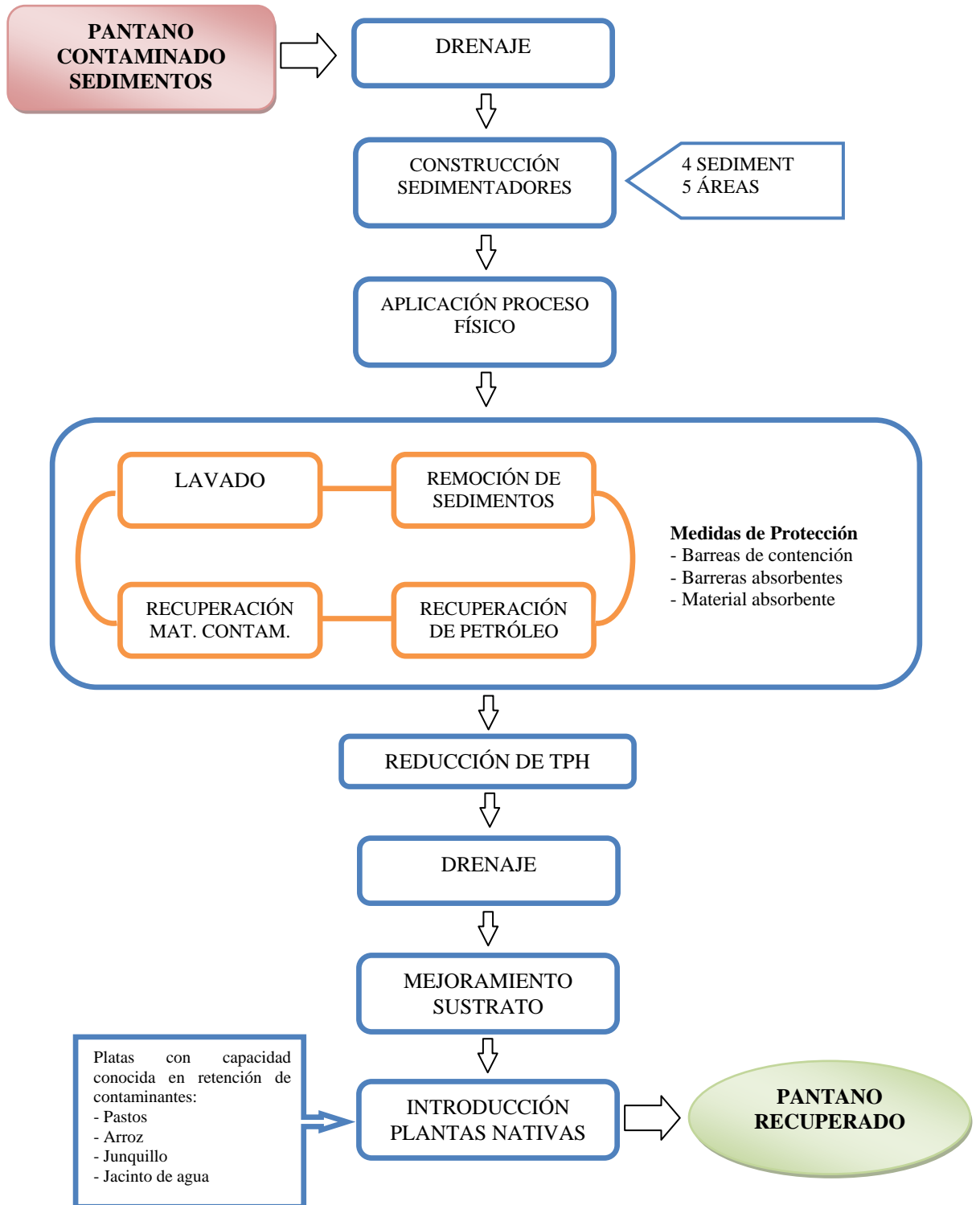
El proceso biológico comprendió en el mejoramiento del sustrato mediante la adición de nutrientes y posteriormente la reintroducción de plantas

acuáticas con conocida capacidad en la retención de contaminantes tales como metales pesados. Ver anexo 4 Fotografías del proceso.

3.2.4.1. ESQUEMA DEL PROCESO

El siguiente diagrama de flujo detalla los procesos ejecutados para la recuperación del pantano contaminado con petróleo hasta conseguir el objetivo principal que es reducir la concentración de los contaminantes (TPH) hasta un valor inferior al límite que establece la normativa ambiental.

ESQUEMA DEL PROCESO PARA LA RECUPERACIÓN DEL PANTANO CONTAMINADO



3.2.4.2. DRENAJE

Previo a la aplicación del proceso físico fue necesario drenar el agua del interior del pantano mediante la apertura de zanjas (zanjas en forma de espina de pescado).

3.2.4.3. CONSTRUCCIÓN DE SEDIMENTADORES

Previo a la aplicación del proceso físico fue necesaria la construcción de sedimentadores, éstos son estructuras hechas con madera. En un inicio se construyeron únicamente con tablas y postes, pero luego para una segunda aplicación del proceso fue necesario reforzar estas estructuras entonces se empleo bambú (caña guadua). Su finalidad fue retener los sedimentos que se removieron por la aplicación del proceso físico e impedir su acumulación al final del pantano y lleguen al río, así como también dividir al pantano en áreas pequeñas (celdas de recuperación) y poder recuperar el crudo y el material vegetal en varios sitios dentro del pantano haciendo esta actividad eficiente.

3.2.4.4. APLICACIÓN DEL PROCESO FÍSICO

- **LAVADO:** consiste lavar con agua a alta presión los sedimentos y la vegetación contaminada removiéndolos permitiendo que el crudo encapsulado se libere y pueda ser recuperado debido a que por densidad el crudo flota sobre el agua facilitando su recuperación.
- **REMOCIÓN DE SEDIMENTOS:** Este proceso consistió en remover los sedimentos contaminados mediante el lavado y el uso de herramientas adecuadas, de igual manera para liberar el crudo encapsulado y permitir su recuperación.

- **RECUPERACIÓN DE CRUDO Y MATERIAL CONTAMINADO:** La aplicación del proceso permitió la recuperación del crudo y la vegetación contaminado esto se logro utilizando herramientas adecuadas (recuperadores) y la aplicación de material absorbente oleofilico tal como cascarilla de arroz en el que se impregna el crudo y permite recuperarlo juntamente con el material vegetal. Todo este material contaminado fue dispuesto en fundas plásticas y costales para su posterior tratamiento.

3.2.4.5. MEJORAMIENTO DE SUSTRATO

Este proceso se realizo mediante la adicción directa de abono sobre todo el pantano donde se aplico el proceso físico. Este proceso fue necesario ya que al momento de recuperar el crudo y el material vegetal contaminado como parte del proceso físico aplicado, se perdieron también elementos nutritivos necesarios para el desarrollo vegetal; por lo tanto se empleo un abono que suministre dicho elementos: Abono NPK 10:30:10 que está constituido por un 10% de Nitrógeno, 30% de Fósforo, 10% de Potasio y enriquecido con otros elementos en menores cantidad.

Para su adición se regó el abono directamente sobre la superficie de pantano y revolvió manualmente los sedimentos, luego se espero varios días para que el abono se incorpore al sustrato del pantano. Al realizar este proceso se aseguró que el proceso siguiente, la revegetación sea exitoso.

3.2.4.6. REINTRODUCCIÓN DE PLANTAS

Este proceso consistió en reintroducir plantas propias de este tipo de ecosistemas para que continúen con el proceso de descontaminación y favorezcan su recuperación, para lo cual se seleccionaron especies vegetales que puedan retener en su biomasa contaminantes, de acuerdo a la

investigación bibliográfica realiza son especies que se emplean generalmente en piscinas de tratamientos de aguas residuales con concentraciones elevadas de metales pesados, de igual manera en piscinas con hidrocarburos, por lo tanto son especies con conocida capacidad de descontaminación capaces de sobrevivir y desarrollarse en ambientes adversos.

Las especies utilizadas para este proceso fueron:

- Arroz
- Junquillo
- Jacinto de agua
- Pasto

3.2.5. EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS

Para evaluar los procesos y poder realizar una comparación se consideró la CONCENTRACIÓN de TPH, ya que éste es el principal factor en estudio, y el resultado final del todo el proceso es recuperar el suelo de la contaminación con petróleo, es decir reducir su concentración.

Para conocer la variación en la concentración de TPH luego de haber luego aplicado el proceso de recuperación (proceso físico – biológico) se comparó los resultados de los análisis de las muestras tomadas en diferentes momentos del proceso y se obtuvo los porcentajes de reducción.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS

A continuación se presenta los resultados obtenidos de acuerdo a cada objetivo específico planteado en el proyecto de tesis. Adicionalmente, cuando es necesario se hace un procesamiento de la información, ya sea estadístico o a través de gráficos y figuras.

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

En caracterización del área de estudio detallada a continuación se muestran los resultados obtenidos en cuanto a factores abióticos y bióticos que se encontraron dentro del área de estudio así como también en el área circundante que forma parte del Proyecto de Remediación Ambiental Shushuqui 13. Se detalla también la presencia de los contaminantes en el suelo y sedimentos afectados por el derrame de petróleo que fueron sometidos a los procesos físicos y biológicos para su recuperación.

4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

Constituye un área de suelo y pantano afectados directamente por el derrame de petróleo de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13 (ver fotografías 1-3). El área suelo contaminado tiene una superficie de 200m² y el pantano afectado por el derrame tiene una extensión de 1534m².

Su ubicación geográfica es la siguiente:

País: Ecuador

Zona: Región 1

Provincia: Sucumbíos

Cantón: Nueva Loja

Parroquia: Pacayacu

Área: Campo Libertador

Comunidad Shushuqui

Coordenadas:

Tabla 4.1.- Coordenadas del área de trabajo

Punto	Geográficas		UTM	
1	76°34'52"W	00°03'55"N	18324040W	10007220N
2	76°34'52"W	00°03'52"N	18324040W	10007120N
3	76°34'47"W	00°03'55"N	18324180W	10007220N
4	76°34'47"W	00°03'52"N	18324180W	10007120N

Datum: WGS 84 **Zona:** 18 Sur **Elipsoide:** WGS 84

Fuente: Trabajo de campo

Elaboración: Autor

Ver anexos 1.1 Mapa de ubicación y 1.3 Mapa base

Fotografía 1 muestra la línea de flujo (tubería) que proviene del pozo Shushuqui 13 en la que se produjo la ruptura y consecuentemente el derrame de petróleo.



Fotografía 1: Punto del Derrame

A continuación en las figura 7,8 y 9 se puede apreciar la pluma de contaminación elaborada en base al muestreo de suelo a varias profundidades realizado en la caracterización.

Figura 7. Pluma de contaminación en suelos muestreados a 0,20 m de profundidad

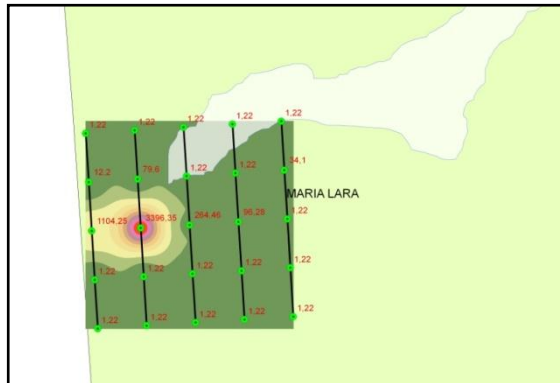


Figura 8. Pluma de contaminación en suelos muestreados a 0,20 m de profundidad

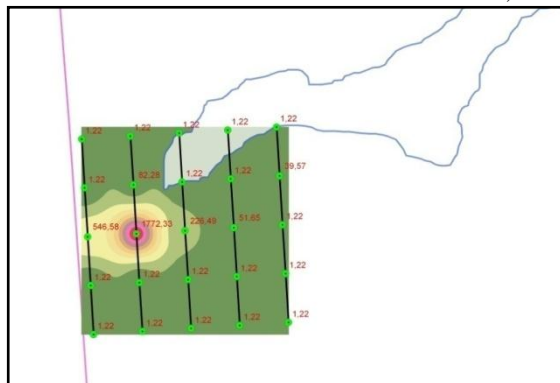
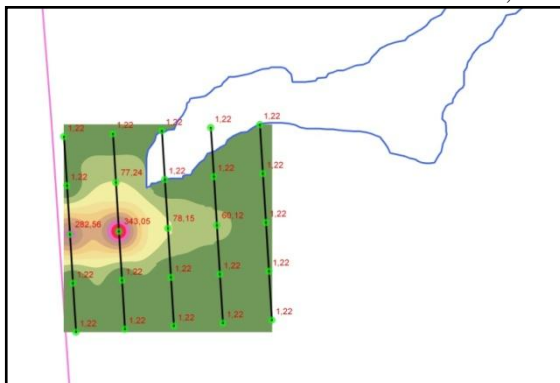


Figura 9. Pluma de contaminación en suelos muestreados a 0,20 m de profundidad



En la fotografía 2 se muestra el área de suelo contaminado delimitado de acuerdo a la pluma de contaminación; y en la fotografía 3 se indica el área de pantano contaminado por el petróleo derramado.



Fotografía 2: Área de suelo contaminado



Fotografía 3: Pantano contaminado visto desde el punto del derrame

4.1.2. DESCRIPCIÓN DEL ECOSISTEMA

La vegetación predominante en esta área es un pastizal denso de origen antrópico que no supera los 2m de altura y en menor proporción habitan plantas frutales, especies arbustivas y arbóreas; las mismas que cubren la mayor parte del área debido a esta densidad la presencia de claros es escasa

al igual que el porcentaje de suelos desnudos, por lo tanto no presenta erosión visible.

Los suelos de esta zona son principalmente arcillosos con un horizonte A superficial lo cual determina una escasa presencia de materia orgánica. La geomorfología del sector es ondulada, presenta diferencias de nivel menores a 25 m, existe pendientes suaves de hasta un 50% y también relieves planos que constituyen zonas de anegamiento; aquí se sitúa humedales o pantanos que son alimentados por vertientes naturales y afloramientos de agua con poco caudal, tienen poca profundidad, allí se desarrolla vegetación acuática, semi acuática y flotante. En la Fotografía 4 se puede visualizar una imagen panorámica área de trabajo donde se distingue la geomorfología ondulada del lugar con pendientes suaves, se observa también la presencia de vegetación en mayor proporción pastos y también arbustos y árboles de origen natural tal como las palmeras y guarumos.

Según Sierra et al. (1999) la zona de estudio corresponde a la Subregión Centro Norte de la Amazonía ecuatoriana. El área está ubicada en el denominado sector de Tierras Bajas por el relieve ondulado sin grandes pendientes. La clasificación de la cobertura vegetal corresponde a la de Bosque siempre verde de tierras bajas.

De acuerdo al diagrama de Holdridge que hace una correlación entre la temperatura y la precipitación para determinar la Zona de vida, el lugar de trabajo pertenece a la zona de vida Bosque Húmedo Tropical. La temperatura media anual es de 27,2° C y la precipitación anual de 3035mm.

4.1.3. FACTORES ABIÓTICOS

Los resultados obtenidos en cuanto a estos factores se detallan a continuación:

4.1.3.1. SUELO

Los datos obtenidos de los suelos del área de estudio son::

- El tipo de suelo en el área de trabajo corresponde a un Oxisol (según United States Departamento of Agriculture. USDA) que está constituido por arcillas rojas y habanas. (Ver fotografías 5 y 6)

“Los Oxisoles son un orden en la taxonomía de suelos USDA, bien conocidos por su presencia en selvas tropicales húmedas, 15-25° norte y sur del línea equinoccial terrestre. Algunos oxisoles habían sido previamente clasificados como suelos lateríticos. Los Oxisoles siempre tienen color rojo o amarillo, debido a la alta concentración de Hierro (III) y óxidos e hidróxidos de aluminio (ver fotografías 5 y 6). Además contienen cuarzo, arcilla caolinita y pequeñas cantidades de otros minerales de arcilla y de materia orgánica. El término "oxisol" proviene de "oxide" en referencia a la dominancia de minerales oxidados como bauxita. En la clasificación de suelos de FAO, los oxisoles se conocen como ferralsoles” (<http://es.wikipedia.org/wiki/Oxisol>)

- La textura de los suelos contaminados como de los suelos circundantes es arcillo – arenosa, en la tabla 4.2 en la que se detalla el resultado de los análisis realizados en laboratorios para determinar la textura considerando el porcentaje de cada fracción presente en estos suelos. Estas muestras fueron tomadas en la caracterización en el área de suelo afectada por el derrame.

Tabla4.2.-Textura de los suelos del lugar

CÓDIGO MUESTRA	FRACCIÓN DEL SUELO		
	% LIMO	% ARCILLA	% ARENA
A1-50	3.7	16.2	59.9
A1-120	7.3	10.9	70.1
A2-20	9.3	15.5	68.6
A2-120	2.3	13.0	71.1
A3-120	10.8	15.4	68.9
A4-20	4.0	14.0	70.0
A5-50	3.3	7.2	72.0
B1-20	3.7	13.8	61.2
B2-20	2.7	13.3	74.3
B3-120	3.8	18.8	67.0
B4-120	3.8	8.7	65.0
B5-120	3.8	16.8	73.5
C1-20	3.3	6.8	71.4
C1-120	3.0	11.8	77.5
C2-120	7.9	14.1	72.0
C5-20	10.8	14.8	70.8
D1-120	11.1	19.7	65.5
D2-20	2.3	13.0	71.1
D2-120	13.2	15.5	68.6
D3-20	11.0	13.7	73.2

Método empleado: Método de la Pipeta

Fuente: Trabajo de campo - Caracterización CTT-FICAYA 2008

Elaboración: Autor

- Debido a la presencia de arcillas, estos suelos son muy compactados lo que impide su fácil manejo, a lo que se une la presencia del petróleo derramado. La compactación del suelo ayuda a que el petróleo no percole hacia horizontes más profundos e inclusive a la capa freática, lo que causaría mayores afectaciones al ecosistema.
- El contenido de materia orgánica es muy bajo, tiene con un horizonte A superficial



Fotografía 5: Arcillas rojas



Fotografía 6: Arcillas habanas

4.1.3.2. SEDIMENTOS

Los sedimentos del pantano sujeto a recuperación son producto del arrastre de materiales provenientes de las laderas que rodean el pantano, que se han ido depositando en las partes bajas susceptibles de inundación donde se ha formado humedales, ciénegas o pantanos.

Están conformados por arcillas y limosas con material orgánico en descomposición y altamente saturados de agua. En la fotografía 7 se observan los sedimentos que se encuentran en el pantano:



Fotografía 7 Sedimentos arcilloso limoso del pantano

4.1.4. FACTORES BIÓTICOS

Los resultados obtenidos en cuanto a estos factores se detallan a continuación:

4.1.4.1. FLORA

Las especies de flora que existe en el área de trabajo se detallan en la tabla 4.3, corresponden principalmente a vegetación herbácea que habita el lugar de manera natural exceptuando el pasto. Pertenecen a las familias: Cyperaceae, Poaceae, Araceae, entre otras. En cuanto a la vegetación leñosa existen árboles frutales como el café y cacao, también existen árboles nativos tal como el guarumo que es propio de ambientes alterados, pertenecen a las familias: Araceae, Malvaceae y Mirtaceae. (Ver anexo 5.1 Fotografías)

Tabla 4.3.- Especie vegetales que habitan el área de trabajo

ESPECIE	FAMILIA	NOMBRE COMÚN	HÁBITO
<i>Astrcarium chambira</i>	Araceae	Chambira	Árbol
<i>Iriarte deltoidea</i>	Araceae	Palmera	Árbol
<i>Anthurium sp.</i>	Araceae	Anturio	Liana
<i>Geonoma sp</i>	Areceaceae	Cola de pez	Arbusto
<i>Bactris gasipaes</i>	Areceaceae	Chontaduro	Palma
<i>Cyperus odoratus</i>	Cyperaceae	Coquitos	Hierba
<i>Carex flava</i>	Cyperaceae		Hierba
<i>Killinga pumila</i>	Cyperaceae	Killinga	Hierba
<i>Scyrpus sp.</i>	Cyperaceae		Hierba
<i>Inga sp</i>	Fabaceae	Guaba	Árbol
<i>Theobroma cacao</i>	Malvaceae	Cacao	Árbol
<i>Miconia sp</i>	Melastomataceae		Arbusto
<i>Toccoca sp</i>	Melastomataceae	Toccoca	Arbusto
<i>Psidium guajava</i>	Mirtaceae	Guayaba	Árbol
<i>Eugenia sp</i>	Mirtaceae		Hierba
<i>Cecropia peltata</i>	Moraceae	Guarumo	Árbol
<i>Victoria sp</i>	Nymphaeaceae	Flor de loto	Macrofito
<i>Piper aduncum</i>	Piperaceae		Arbusto
<i>Paspalum fasciculatum</i>	Poaceae	Pasto gramalote	Hierba
Poaceae	Poaceae	Pasto (caña morada)	Hierba
<i>Eichornea crassipes</i>	Pontederiaceae	Jacinto de agua	Macofito
<i>Cofffea arabiga</i>	Rubiaceae	Café	Árbol
<i>Salvinia sp</i>	Salviniaceae	Helecho	Helecho

Fuente.- Trabajo de Campo. Caracterización CTT-FICAYA 2008.

Elaboración: Autor

4.1.4.2. FAUNA

La fauna que existe está representada principalmente por aves, en menor proporción existen anfibios, reptiles y mamíferos. A continuación en la tabla 4.4 se detallan las especies encontradas. (Ver anexo 5.2 Fotografías)

Tabla 4.4.- Especies animales que existe el lugar de trabajo

	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
AVES	Carpintero crestirrojo	<i>Campephilus melanoleucos</i>
	Tucán	<i>Ramphastos tucanus</i>
	Loro	<i>Ara severa</i>
	Gavilan alirrojo	<i>Buteo magnirostris</i>
	Cardenal gorrirojo	<i>Paroaria gularis</i>
	Golondrina fajiblanca	<i>Atticora fasciata</i>
	Monja frentinegra	<i>Monasa nigrifrons</i>
	Tirano tropical	<i>Tyrannus melancholicus</i>
	Mirlo piconegro	<i>Turdus ignobilis</i>
	Oropendola	<i>Psarocolius angustifrons</i>
	Patiseco	<i>Zonotrichia capensis</i>
	Gallinazo	<i>Coragyps atratus</i>
	MAMIFEROS Y ANFIBIOS	Guanta
Guatusa		<i>Dasyprocta fuliginosa</i>
Ardilla		<i>Sciurus sp.</i>
Danta		<i>Tapirus terrestris</i>
Mono chichico (mono de bolsillo)		<i>Callithrix pygmaea</i>
Puerco zajino		<i>Pecari tajacu</i>
Mono ardilla (payaso)		<i>Saimiri sciureus</i>
Raposa		<i>Caluromys lanatus</i>
Armadillo		<i>Dasybus sp.</i>
Raton		<i>Ratus sp</i>
Equis		<i>Bothrops atrox</i>
Coral		<i>Micrurus sp.</i>
Boa		<i>Boa constrictor</i>
REPTILES	Verrugosa	<i>Lachesis muta</i>
	Lora	<i>Bothriechis schlegelii</i>
	Viejitas	NI
	Pez electrico	NI
	Guanchiche	NI
	Sardinilla	NI
	Ranas	<i>Hyla sp.</i>

*NI: No Identificado

Fuente: Trabajo de Campo. Caracterización CTT-FICAYA 2008

Elaboración: Autor

Es importante anotar que la fauna en este sector ya no es abundante, debido a que se ha visto afectada en gran medida por colonización, por la cual se ha talado el bosque primario que debió haber existido en este lugar tiempo atrás y por lo tanto se ha perdido los hábitats naturales de la fauna silvestre, otro factor importante para la reducción de la fauna es la cacería que constituye una actividad habitual para los habitantes del sector.

4.1.5. IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES

A continuación se muestran los resultados de los análisis de las muestra de suelo y sedimentos tomados tanto en la caracterización como en trabajo de campo, aquí se determina los niveles de concentración de los contaminantes los cuales corresponden a los valores de partida de los procesos aplicados para la recuperación tanto del suelo como del pantano.

4.1.5.1. SUELO

Se consideró dos muestreos: 1 Muestreo de la caracterización. 2 Primer muestreo del trabajo de campo.

- **Muestreo Caracterización CTT – FICAYA. (Abril de 2008)**

En la tabla 4.5 se indican los resultados de laboratorio de las muestra de suelo tomas en la Caracterización, los valores anotados son los más altos y que se están fuera de la normativa; los puntos muestreados se encuentran en el centro de la pluma de contaminación (Ver figuras 7,8 y 9), que sirvió como base para delimitar el área de suelo contaminado y que se sometió al proceso de recuperación.

Tabla 4.5.- Resultados de análisis de suelo. Caracterización Abril 2008

CÓDIGO	TPH mg/kg EPA 8440	VANADIO mg/kg EPA 3050 Y 7910	PLOMO mg/kg EPA 3050 Y 7420
A3-20	1104.25	9.78	17.74
B3-20	3396.35	10.58	19.56
B3-50	1772.33	10.77	10.67

* Se muestran únicamente valores fuera de la normativa ambiental vigente

Fuente: Caracterización CTT – FICAYA 2008

Elaboración: Autor

- **Muestreo trabajo de campo**

La Tabla 4.6 muestra los resultados de los análisis de laboratorio de las muestras de suelo tomadas en el trabajo de campo en Diciembre de 2009, éstas fueron tomadas en los puntos centrales de la pluma de contaminación, que son los mismos puntos de la caracterización.

Tabla 4.6.- Resultados de análisis de suelo.
Trabajo de Campo Diciembre 2009

CÓDIGO	TPH	VANADIO	PLOMO
	mg/kg EPA 8440	mg/kg EPA 3050 Y 7910	mg/kg EPA 3050 Y 7420
A3-20	2272.5	9.12	<8.8
B3-20	3343.17	11.68	<8.8

Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

4.1.5.2. PANTANO

Los resultados de los análisis de las muestras de sedimentos contaminados tomados del pantano se indican en la tabla 4.7. (Ver anexo 1.2 Mapa de Puntos de Contaminación)

Tabla 4.7.- Resultados de análisis de muestras de sedimentos. Diciembre 2009

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SEDIMENTOS DEL PANTANO				
CÓDIGO	DETALLE	PARÁMETRO		
		TPH mg/kg	VANADIO mg/kg	PLOMO mg/kg
PB1	Parte baja del pantano	414,1	52,94	<8.8
PM1	Parte media del pantano	21991	33,69	<8.8
PA1	Parte alta del pantano	27620	57,75	<8.8

Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

De acuerdo a estos los datos, se determinó que el principal contaminante fue el Petróleo (medido como TPH), presente tanto en el suelo como en los sedimentos del pantano, el cual luego de haberse producido en el derrame

no fue correctamente recuperado durante la aplicación de las medidas de contingencia, dejando focos de contaminación latentes que necesitaron ser recuperados. Otros contaminantes presentes aunque en menor concentración fueron los metales pesados Vanadio y Plomo, éstos son elementos que acompañan al crudo y que de igual forma fueron considerados en el proceso de recuperación.

4.2. DELIMITACIÓN FÍSICA Y CARTOGRÁFICA

La delimitación física consistió en la construcción de cunetas tal como se observa en la fotografía 4 con un desnivel apropiado desde la parte alta hasta la parte baja donde se une el pantano al estero, siguiendo las curvas de nivel del relieve circundante.



Fotografía 4: Delimitación Física (cunetas)

Al ejecutar este procedimiento se consiguieron varios beneficios detallados a continuación:

- Se aisló toda esta área de suelo y pantano para evitar que los procesos aplicados no afectaran a otras áreas del proyecto.
- Se impidió el ingreso del agua lluvia y se la evacuó hacia cauce del río.
- Se evitó la contaminación del agua que ingresa al pantano contaminado
- Se favorecieron los procesos de deshidratación del suelo y el drenaje del pantano.
- Se aseguró la ejecución de procesos tales como: Compostaje del suelo, procesos físicos, mejoramiento de sustratos y reintroducción de plantas; pues al producirse el ingreso de una gran cantidad de agua se hubieran visto afectados al sufrir la pérdida de microorganismos y nutrientes que en el caso de que hubiera ingresado una gran cantidad de agua se hubieran visto afectados al sufrir la pérdida de microorganismos y nutrientes.
- Los resultados de la delimitación cartográfica se muestra en los mapas del área de trabajo (ver anexos 1.1 - 1.2 - 1.3).

4.3. PROCESO DE NATURAL DE RECUPERACIÓN

En la tabla 4.8 se indican los resultado de los análisis de suelos realizados en el caracterización (Abril 2008) y en el trabajo de campo, luego se realiza un análisis de la información en base al porcentaje de variación que ha tenido el principal contaminante el petróleo (medido como TPH); como resultado de procesos que ocurren de manera natural sin ninguna intervención. Las muestras fueron tomadas en el centro de la pluma de contaminación.

Tabla 4.8 Resultados análisis de TPH en suelo

CÓDIGO	CARACTERIZACIÓN (Abril 2008) TPH (mg/kg)	TRABAJO DE CAMPO (Diciembre 2009) TPH (mg/kg)
A3-20	1104.25	2272.5
B3-20	3396.35	3343.17

Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Considerando los valores más altos obtenidos en ambos muestreos se observa una disminución de 53.18 TPH los que representa un 1,56% lo que demuestra que existió una disminución por causas naturales muy leve, poco eficiente considerando el tiempo; se pudo determinar también qué:

- El proceso natural de descontaminación que este ecosistema ejerció sobre un factor abiótico contaminado como lo es el suelo, es muy lento con resultados muy bajos en periodos de tiempo largos, lo cual es perjudicial ya que lo favorable para un ecosistema es que el elemento contaminante sea retirado cuanto antes impidiendo mayores afectaciones.
- La reducción de TPH ocurrida de forma natural (aunque sea en menor grado) asegura la presencia de microorganismos autóctonos capaces de degradar los hidrocarburo
- La presencia de microorganismos capaces de degradar hidrocarburos hace posible la aplicación de procesos biológicos para la descontaminación del suelo mediante la bioestimulación de estas poblaciones.
- Gracias a la existencia de poblaciones de microorganismos nativos no es necesario aislar cepas exóticas provenientes de otros sitios e introducirlas en este ecosistema para que degraden los hidrocarburos.

4.4. PROCESO FÍSICO BIOLÓGICO PARA LA RECUPERACIÓN DEL PANTANO

El proceso constó de dos etapas: la primera fue la aplicación de un proceso físico que consistió en aplicar un lavado de los sedimentos con agua a presión para remover sedimentos contaminados y de esta manera hacer que el crudo se desprenda y flote, para luego ser recuperado juntamente con el material vegetal contaminado. La segunda parte luego del proceso físico, fue la reintroducción de vegetación. Previo a esto se realizó el mejoramiento del sustrato del pantano, mediante la adición de nutrientes NPK, para luego finalmente reintroducir plantas nativas con conocida capacidad en la retención de contaminantes tales como metales pesados, para retirar cualquier remanente de contaminación y dejar abierto un proceso biológico de recuperación.

En tabla 4.9 se encuentran los resultados de los análisis realizados en los sedimentos en cuanto a TPH.

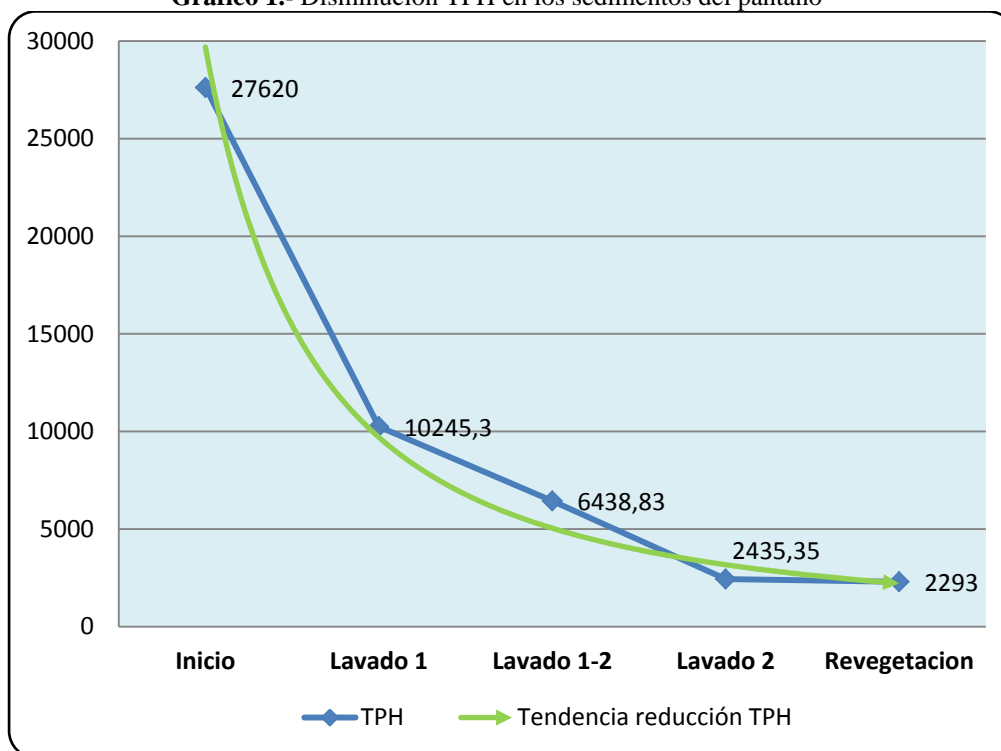
Tabla 4.9.-Resultados de TPH en sedimentos del pantano

Proceso	TPH (mg/kg)	FECHA
Inicio	27620	MAR2010
Lavado 1	10051,3	ABR2010
Lavado 1-2	6438,8	JUL2010
Lavado 2	2435,35	DIC2010
Revegetación	2293	FEB-2011
TOTAL REDUCCIÓN	<u>25184.65</u>	

Fuente: Análisis de laboratorio

Elaboración: Autor

Grafico 1.- Disminución TPH en los sedimentos del pantano



Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Grafico 1. Se muestran la disminución de los TPH presentes en los sedimentos luego de aplicar el proceso físico. La reducción total ocurrida fue de 25184 TPH en todo el proceso.

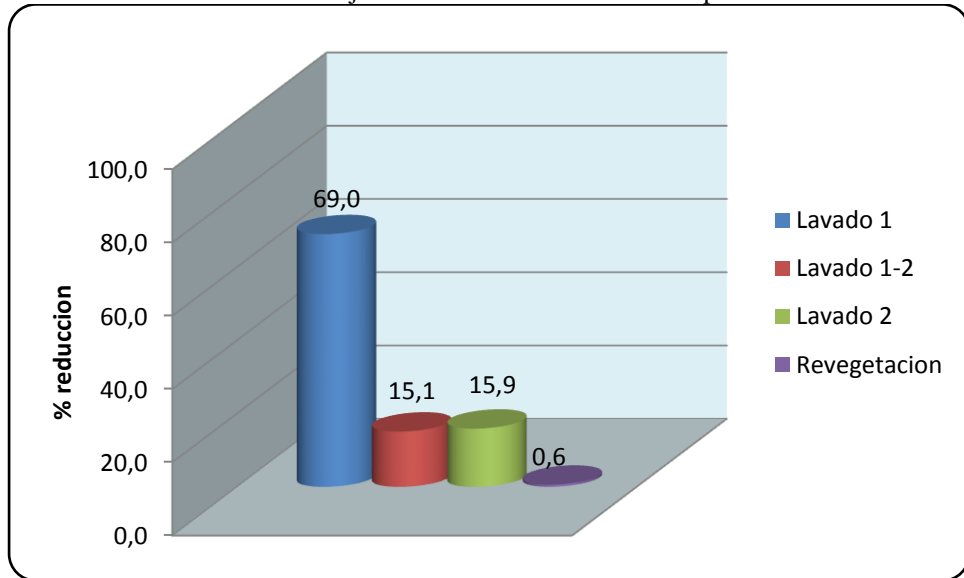
A continuación en la tabla 4.10 se indican los porcentajes de reducción de los TPH con relación al total reducido:

Tabla 4.10.- Porcentaje de reducción de TPH en el pantano

	INICIO 27620 TPH	REDUCCIÓN TPH	%
Lavado 1	27620	17374	68,63
Lavado 1-2	10245.3	3806.47	15,03
Lavado 2	6438.83	4003.8	15,81
Revegetación	2435.35	147	0,56
	TOTAL	25184	100

A continuación se muestra gráficamente estas disminuciones:

Gráfico2: Porcentajes de disminución de TPH en el proceso físico



Elaboración: Autor

Gráfico 2. Se puede observar lo siguiente:

- Existe una mayor disminución de TPH en la etapa inicial del proceso, de 17374.70 TPH lo que representa un 69% de reducción en esta etapa.
- En segunda y tercera etapa del proceso se observa una disminución menor a la anterior, de 3806.47 (15.1%) y de 4003.8 (15.9%)
- En etapa final se observa la menor reducción, esto responde a dos razones:
 - La cantidad de TPH es menor que al inicio
 - El proceso natural es lento, pero indefinido, es decir que con este proceso aplicado se deja abierto un proceso de descontaminación.

Realizando un análisis de todo el proceso conjunto de recuperación del pantano se determina que:

- El proceso aplicado para la recuperación del pantano tuvo siempre una tendencia a la baja (línea verde en el gráfico), es decir que cada

vez que se aplicó un proceso en el pantano los TPH se redujeron, esto se pudo corroborar en el trabajo de campo ya que al aplicar el proceso fue evidente la extracción del petróleo que se encontraba encapsulado en los sedimentos.

- La extracción de petróleo fue menor cada vez luego de aplicar un proceso, lo cual se ve reflejado en el gráfico en donde la pendiente se reduce a medida que avanza el proceso.
- La última etapa, el proceso biológico, muestra la menor pendiente por lo tanto la menor reducción. Pero en esta etapa hay que considerar que lo que se buscó fue recrear condiciones naturales del pantano y dejar abierto un proceso de descontaminación a largo plazo en el que las especies vegetales reintroducidas (arroz, pasto, juquillo, Jacinto de agua) continúen extrayendo los contaminantes (principalmente TPH y metales) de manera indefinida.
- El pantano queda totalmente regenerado, con la presencia de contaminantes bajo el límite legal establecido, y con una tendencia a continuar bajando ya que el pantano constituye un sistema de depuración natural continuo e indefinido.
- El proceso físico biológico en conjunto aplicado para la recuperación del pantano muestra una reducción del 91,69% habiéndose reducido los TPH desde la concentración inicial de 27620 hasta 2293 mg/kg, este valor aun esta dentro del rango permitido, pero se muestra una tendencia a bajar. Se debe tomar en cuenta que este el más alto de todas las últimas análisis realizados. Existen otros valores que ya se encuentran por debajo del límite establecido en la norma. (ver anexo 2.1 Resultados de análisis).

4.5. PROCESO BIOLÓGICO PARA LA RECUPERACIÓN DEL SUELO

El proceso llevado a cabo consistió en adicionar un sustrato al suelo y realizar labores culturales: revolver, airear e hidratar (Ver numeral 3.2.3 Detalle del proceso), para favorecer la actividad bacteriana y consecuentemente la degradación de los hidrocarburos presentes en el suelo contaminado.

Para esto previamente se construyó un sitio adecuado para disponer el suelo: Terrazas, ahí se establecieron cuatro unidades de tratamiento en las cuales se dispuso el suelo y se mezcló con un sustrato diferente en cada una:

- Unidad de tratamiento 1 (UT1): Mezcla de los 3 sustratos
- Unidad de tratamiento 2 (UT2): Materia orgánica vegetal
- Unidad de tratamiento 3 (UT3): Gallinaza
- Unidad de tratamiento 4 (UT4): Desechos de camal

En el desarrollo del proceso planteado se realizaron las siguientes actividades de la misma manera para todas las cuatro unidades:

- Se adicionó 3 veces los sustratos en cada terraza, cada vez se empleó 36 carretilladas cada una con un volumen de 60 L o 0.06m^3 lo que representa un volumen total de 6.5m^3 de sustrato adicionado.
- Se tomó una muestra en cada unidad del suelo contaminado ya mezclado con el sustrato y se analizó TPH, este es resultado es el valor inicial para cada tratamiento.
- La aireación del suelo se hizo semanalmente
- Se hidrató el suelo cada semana o de acuerdo a las necesidades considerando los rangos descritos anteriormente para este parámetro.
- Se controlaron los parámetros TPH, UFC, Nutrientes y pH

Estas actividades arrojaron los siguientes resultados generales para todas las unidades:

- Recuentos UFC: a partir de la adición de sustratos tuvieron valores dentro de lo requerido $>1 \times 10^6$ ufc/g de suelo
- pH: se mantuvo dentro de los límites favorables para el desarrollo bacteriano, de 6 a 8
- Nutrientes: los principales para desarrollo bacteriano Nitrógeno y Fósforo, tuvieron una notable mejoría al adicionar los sustratos.
- Metales pesados: de acuerdo con los resultados de laboratorio no existen niveles altos, fuera de los límites establecidos.
- Temperatura se mantuvo dentro del rango aceptable, 25°C considerando el clima de la zona.
- Estructura: al aplicar los procesos al suelo se mejoro su estructura reduciendo el tamaño de los agregados, hasta obtener al final un suelo suelto sin agregados
- Todos informes de los resultados de análisis de laboratorio se encuentran en el anexo 2.1

A continuación se detalla los resultados específicos para cada una de las unidades:

4.5.1. UNIDAD DE TRATAMIENTO 1 (UT1)

Degradación de TPH

En la tabla 4.11 se muestra los resultados de los análisis de TPH y del conteo de UFC realizados en los suelos de esta unidad a lo largo del proceso:

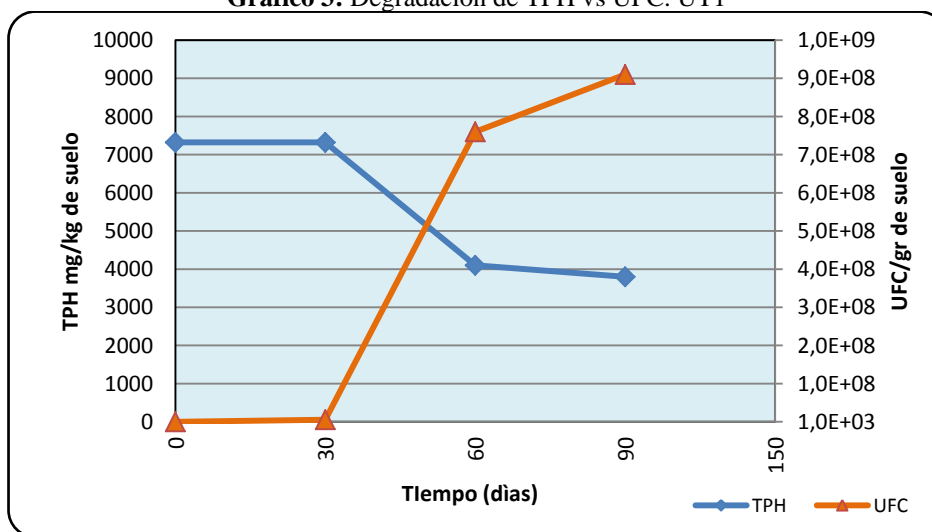
Tabla 4.11 Resultados de análisis de TPH. UT1

MUESTRA	TPH (mg/kg)	CONTAJE UFC/gr de suelo	PROCESO APLICADO	TIEMPO (Días)	FECHA
UT1		1.0×10^3	Disposición de suelo	0	Ago-10
UT1-1	7320.73	5.4×10^6	Adición de sustratos	30	Sep-10
UT1-3	4102.73	7.6×10^8 (Lab)	Desarrollo proceso	60	Nov-10
UT1-5	3799.00	9.1×10^8	Desarrollo proceso	90	Ene-11

Fuente: Trabajo de Campo. Análisis de laboratorio

Elaboración: Autor

Gráfico 3: Degradación de TPH vs UFC. UT1



Fuente: Trabajo de campo. Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Gráfico 3.- Muestra la degradación de los TPH con el aumento de bacterias medidas como UFC, éstas llegan a un valor máximo de 9.1×10^8 y se produce la degradación hidrocarburos desde 7320.73 TPH hasta 3799 que representa un 48.11% de reducción en esta unidad.

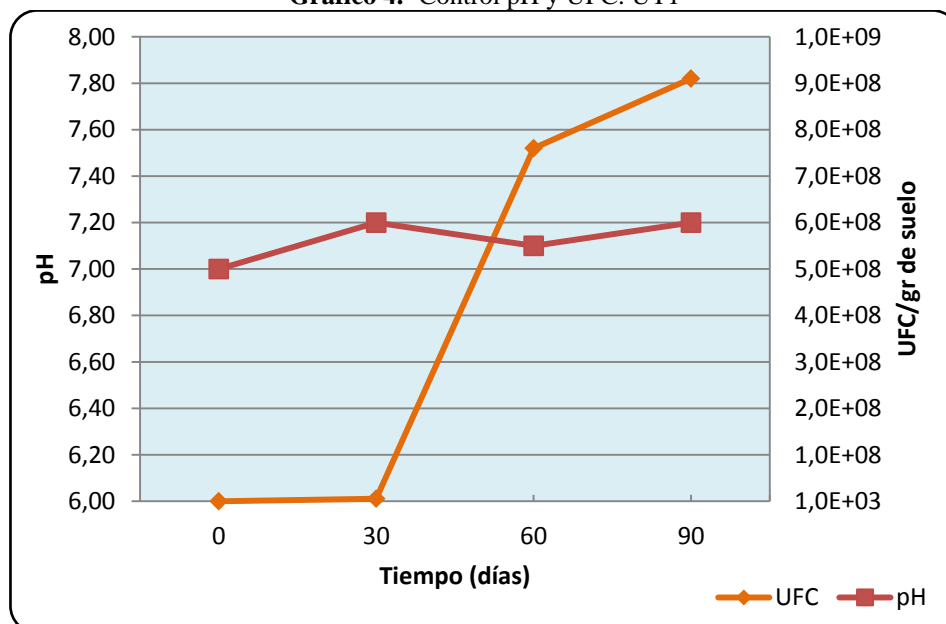
Control de UFC y pH

La tabla 4.12 muestra los resultados del control de parámetros pH y UFC realizados en esta unidad:

Tabla 4.12.- Control de pH y UFC. UT1

MUESTRA	PROCESO	Contaje microorganismos UFC/gr de suelo	pH	TIEMPO (Días)
Control 1	Disposición	1.0×10^3	6-7	0
Control 2	Adición sustrato	5.4×10^6	7.2	30
Control 3	Mezcla sustratos	7.6×10^8 (Lab)	7.1	60
Control 4	Procesos	9.1×10^8	7.2	90

Grafico 4.- Control pH y UFC. UT1



Fuente: Trabajo de campo. Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Gráfico 4. Se muestra un aumento de UFC y el pH dentro del rango óptimo en el desarrollo del proceso realizado en la UT1.

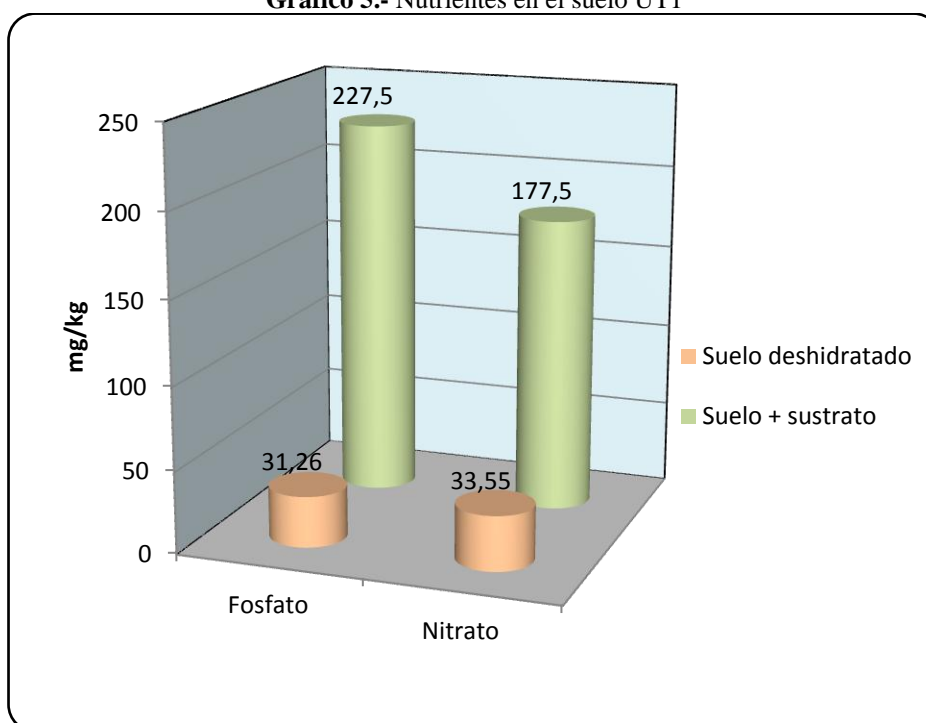
Control de Nutrientes (N y P)

En Tabla 4.13 se muestran los resultados del control de nutrientes Nitrógeno y Fosforo medidos como fosfatos y nitratos mg/kg de suelo, en esta unidad.

Tabla 4.13.- Control de Nutrientes (N y P). UT1

MUESTRA	FECHA	PARÁMETROS	
		P (mg/mg)	N (mg/mg)
Suelo deshidratado	Ago2010	31,26	33,55
Suelo + sustrato	Nov2010	227,5	177,5

Grafico 5.- Nutrientes en el suelo UT1



Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Grafico 5.- Muestra un aumento de los nutrientes Fósforo y Nitrógeno medidos como Fosfato y Nitrato, luego de adicionar el sustrato al suelo. Se incrementa 727.77% (7.27 veces) el Fósforo y 529.06% (5.29 veces) el Nitrógeno.

4.5.2. UNIDAD DE TRATAMIENTO 2. UT2

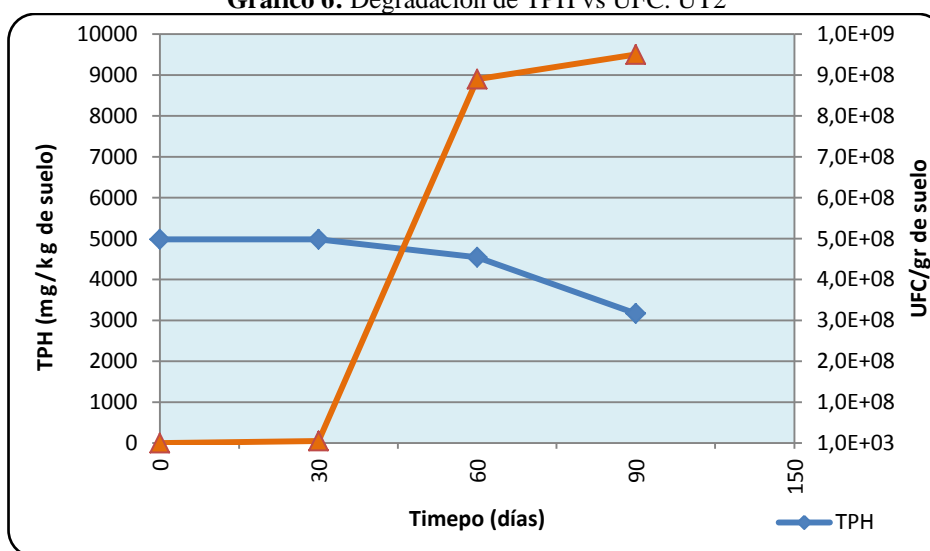
Degradación de TPH

En la tabla 4.14 se muestra los resultados de los análisis de TPH y del conteo de UFC realizados en los suelos de esta unidad a lo largo del proceso:

Tabla 4.14 Resultados de análisis de TPH. UT2

MUESTRA	TPH (mg/kg)	CONTAJE UFC/gr de suelo	PROCESO APLICADO	TIEMPO (Días)	FECHA
UT2		1.0×10^3	Suelo deshidratado	0	Ago-10
UT2-1	4982.8	5.0×10^6	Adición de sustratos	30	Sep-10
UT2-3	4541	8.9×10^8 (Lab)	Desarrollo proceso	60	Nov-10
UT2-5	3168	9.5×10^8 (Lab)	Desarrollo proceso	90	Ene-11

Gráfico 6: Degradación de TPH vs UFC. UT2



Fuente: Trabajo de campo. Análisis de Laboratorio.

Elaboración: Autor

Gráfico 6.- Muestra la degradación de los TPH con el aumento de bacterias medidas como UFC, éstas llegan a un valor máximo de 9.5×10^8 y se produce la degradación hidrocarburos desde 4982.8 hasta 3168 TPH, 36.42% de reducción en esta unidad

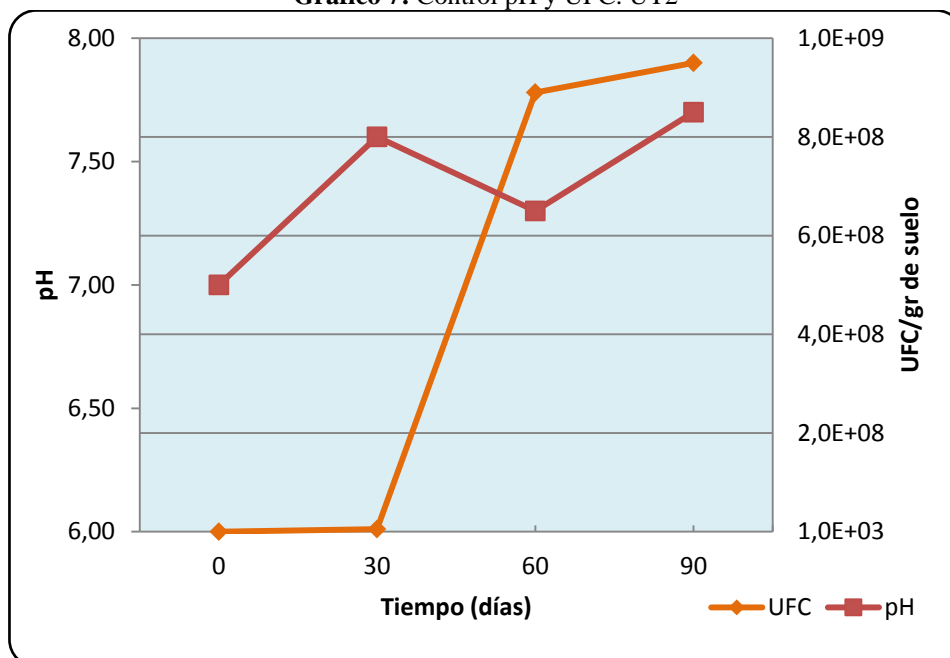
Control de UFC y pH

La tabla 4.15 muestra los resultados del control de parámetros pH y UFC realizados luego de la ejecución de cada proceso:

Tabla 4.15.- Control de pH y UFC. UT2

MUESTRA	PROCESO	Contaje microorganismos UFC/gr de suelo	pH	TIEMPO (Días)
Control 1	Deshidratación	1.0×10^3	6-7	0
Control 2	Adición sustrato	5.0×10^6	7.6	30
Control 3	Mezcla sustratos	8.9×10^8 (Lab)	7.3	60
Control 4	Procesos	9.5×10^8	7.7	90

Gráfico 7: Control pH y UFC. UT2



Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Gráfico 7. Se muestra un aumento de UFC y el pH dentro del rango óptimo en el desarrollo del proceso realizado en la UT2.

Control de Nutrientes (N y P)

En Tabla 4.16 se muestran los resultados del control de nutrientes Nitrógeno y Fosforo medidos como fosfatos y nitratos mg/kg de suelo.

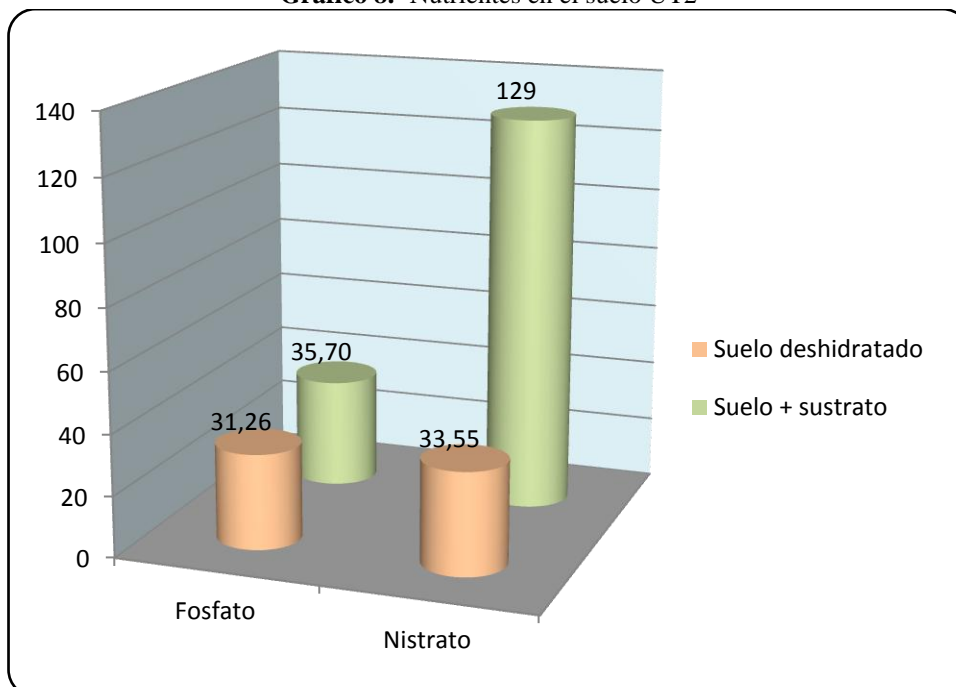
Tabla 4.16.- Control de Nutrientes (N y P).UT2

MUESTRA	FECHA	PARÁMETROS	
		P (mg/mg)	N (mg/mg)
Suelo deshidratado	Ago2010	31,26	33,55
Suelo + sustrato	Nov2010	35,7	129,0

Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Grafico 8.- Nutrientes en el suelo UT2



Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Grafico 8.- Muestra un aumento de los nutrientes Fósforo y Nitrógeno medidos como Fosfato y Nitrato, luego de adicionar el sustrato al suelo. El Fósforo tiene un aumento de 114.20% (1,14 veces) y el Nitrógeno se incrementa en 384.50 % (3.85 veces).

4.5.3. UNIDAD DE TRATAMIENTO. UT3

Degradación de TPH

En la tabla 4.17 se muestran los resultados de los análisis de TPH y el conteo de UFC realizados en los suelos a lo largo del proceso en esta unidad.

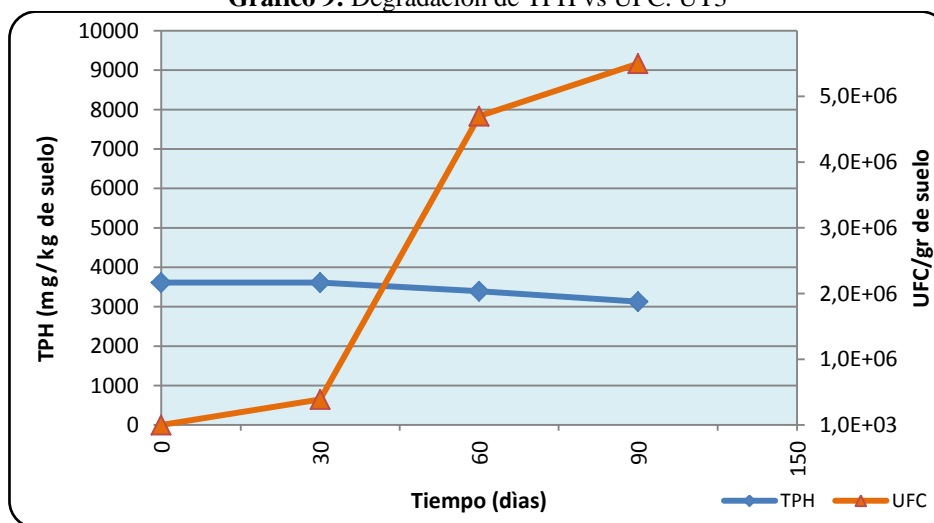
Tabla 4.17 Resultados de análisis de TPH. UT3

MUESTRA	TPH (mg/kg)	CONTAJE microorganismos UFC/gr de suelo	PROCESO APLICADO	TIEMPO (Días)	FECHA
UT3		1.0×10^3	Suelo deshidratado	0	Ago-10
UT3-1	3613.27	$3.9.0 \times 10^5$	Adición de sustratos	30	Sep-10
UT3-3	3391.01	4.7×10^6 (Lab)	Desarrollo proceso	60	Nov-10
UT3-5	3131	5.5×10^6	Desarrollo proceso	90	Ene-11

Fuente: Resultados de análisis de laboratorio

Elaboración: Autor

Gráfico 9: Degradación de TPH vs UFC. UT3



Fuente: Trabajo de campo. Análisis de Laboratorio.

Elaboración: Autor

Gráfico 9.- Muestra la degradación de los TPH con el aumento de bacterias medidas como UFC, éstas llegan a un valor máximo de 5.4×10^6 y se produce una degradación de hidrocarburos 3613.27 hasta 3131 TPH, que representa un 13.35% de reducción en esta unidad.

Control de UFC y pH

La tabla 4.18 muestra los resultados del control de parámetros pH y UFC realizados a lo largo del proceso:

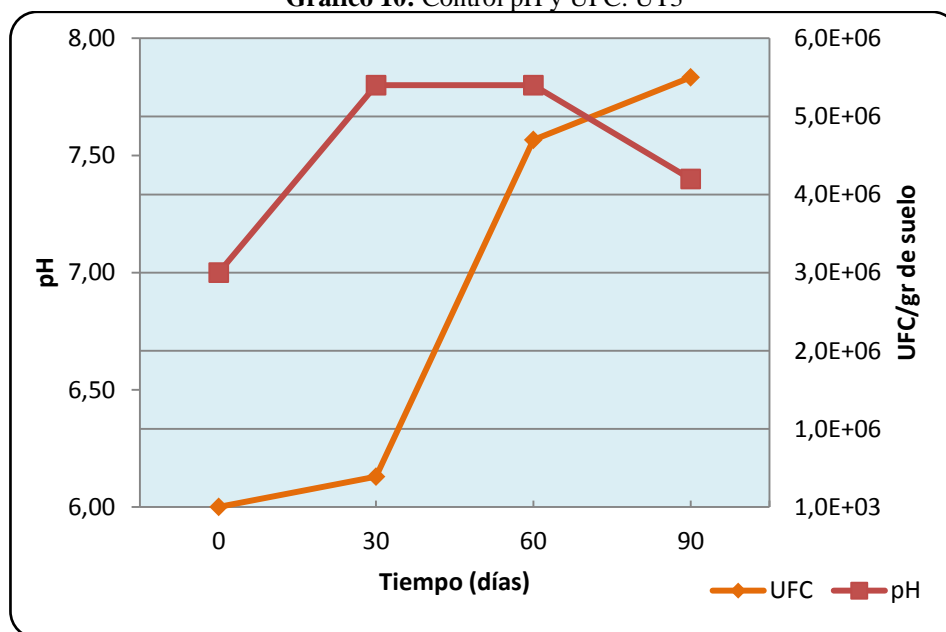
Tabla 4.18.- Control de pH y UFC. UT3

MUESTRA	PROCESO	CONTAJE Microorganismos UFC/gr de suelo	pH	TIEMPO (Días)
Control 1	Deshidratación	1.0×10^3	7	0
Control 2	Adición sustrato	$3.9.0 \times 10^5$	7.8	30
Control 3	Mezcla sustratos	4.7×10^6 (Lab)	7.8	60
Control 4	Procesos	5.5×10^6 (Lab)	7.4	90

Fuente: Trabajo de campo. Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Gráfico 10: Control pH y UFC. UT3



Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Gráfico 10. Se muestra un aumento de UFC y el pH dentro del rango óptimo en el desarrollo del proceso realizado en la UT3.

Control de Nutrientes (N y P)

En Tabla 4.19 se muestran los resultados del control de nutrientes Nitrógeno y Fosforo medidos como fosfatos y nitratos mg/kg de suelo.

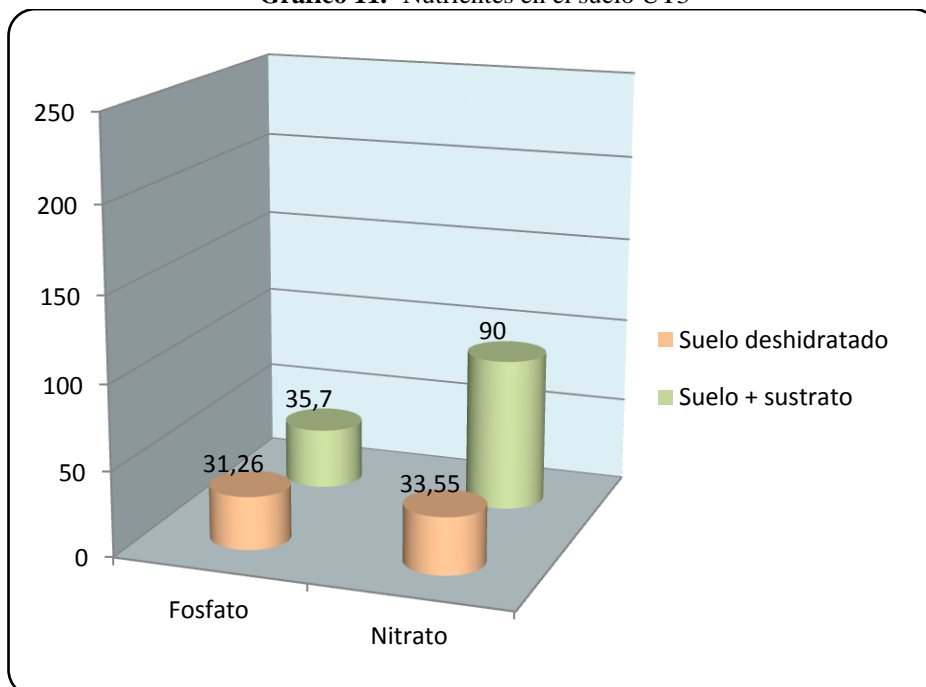
Tabla 4.19.- Control de Nutrientes (N y P).UT3

MUESTRA	FECHA	PARÁMETROS	
		P (mg/mg)	N (mg/mg)
Suelo deshidratado	Ago2010	31,26	33,55
Suelo + sustrato	Nov2010	35,7	90

Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Grafico 11.- Nutrientes en el suelo UT3



Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Grafico 11.- Muestra un aumento de los nutrientes Fósforo y Nitrógeno medidos como Fosfato y Nitrato, luego de adicionar el sustrato al suelo. Hay aumento de 114.20% (1,14 veces) de Fósforo y el Nitrógeno se incrementa en 268.26% (2.68 veces).

4.5.4. UNIDAD DE TRATAMIENTO. UT4

Degradación de TPH

En la tabla 4.20 se muestran los resultados de los análisis de TPH y el conteaje de UFC realizados en los suelos de esta unidad:

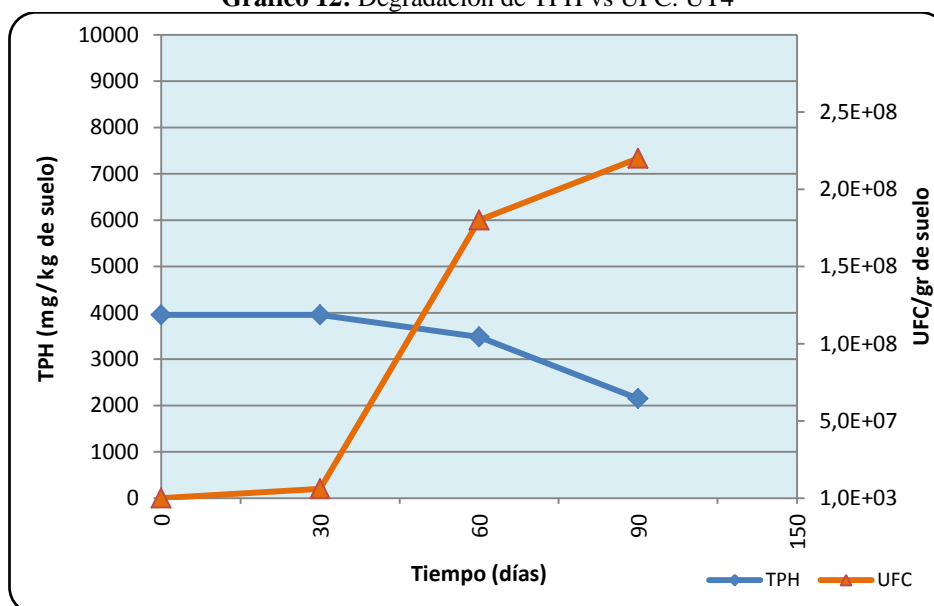
Tabla 4.20 Resultados de análisis de TPH. UT4

MUESTRA	TPH (mg/kg)	CONTAJE Microorganismos UFC/gr de suelo	PROCESO APLICADO	FECHA	TIEMPO (Días)
UT4		1.0×10^3	Suelo deshidratado	Ago-10	0
UT4-1	3957	6.0×10^6	Adición de sustratos	Sep-10	30
UT4-3	3481.3	1.8×10^8 (Lab)	Desarrollo proceso	Nov-10	60
UT4-5	2149	2.2×10^8 (Lab)	Desarrollo proceso	Ene-11	90

Fuente: Análisis de laboratorio

Elaboración: Autor

Gráfico 12: Degradación de TPH vs UFC. UT4



Fuente: Trabajo de campo. Análisis de Laboratorio.

Elaboración: Autor

Gráfico 12.- Muestra la degradación de los TPH con el aumento de bacterias medidas como UFC, éstas llegan a un valor máximo de 2.2×10^8 y se produce una degradación de hidrocarburos desde 3957 hasta 2149 TPH, que representa un 45.69% de reducción.

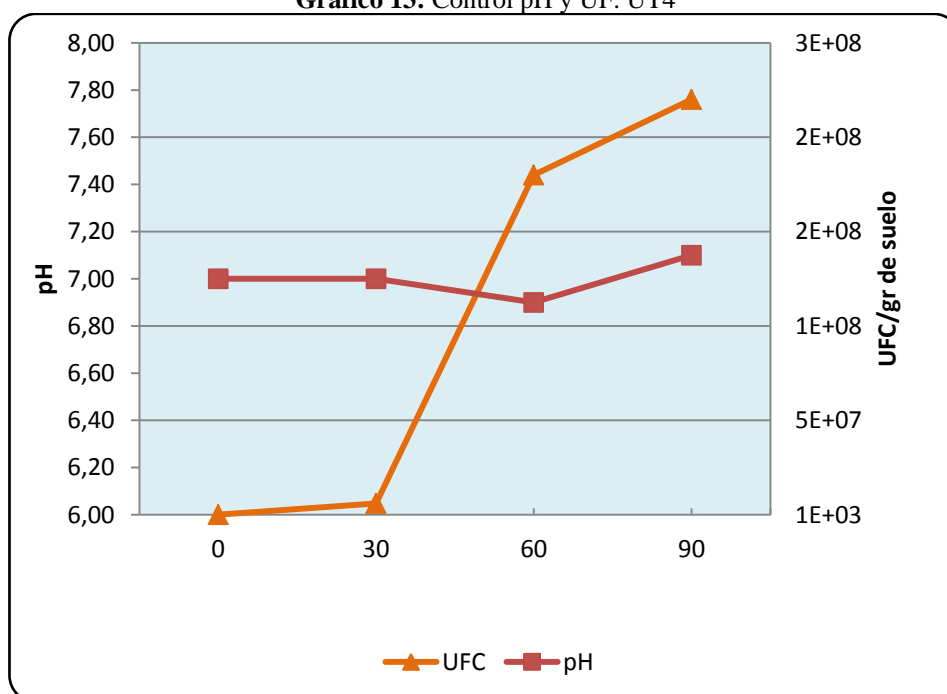
Control de UFC y pH

La tabla 4.21 muestra los resultados del control de parámetros pH y UFC realizados luego de la ejecución de cada proceso:

Tabla 4.21.- Control de pH y UFC. UT4

MUESTRA	PROCESO	Contaje microorganismos UFC/gr de suelo	pH
Control 1	Deshidratación	1.0×10^3	7
Control 2	Adición sustrato	6.0×10^6	7.8
Control 3	Mezcla sustratos	1.8×10^8 (Lab)	7.8
Control 4	Laboreo	2.2×10^8	7.4

Gráfico 13: Control pH y UF. UT4



Fuente: Trabajo de campo. Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Gráfico 13. Muestra el aumento de UFC y pH del suelo se mantiene dentro del rango óptimo.

Control de Nutrientes (N y P)

En Tabla 4.22 se muestran los resultados del control de nutrientes Nitrógeno y Fosforo medidos como fosfatos y nitratos mg/kg de suelo.

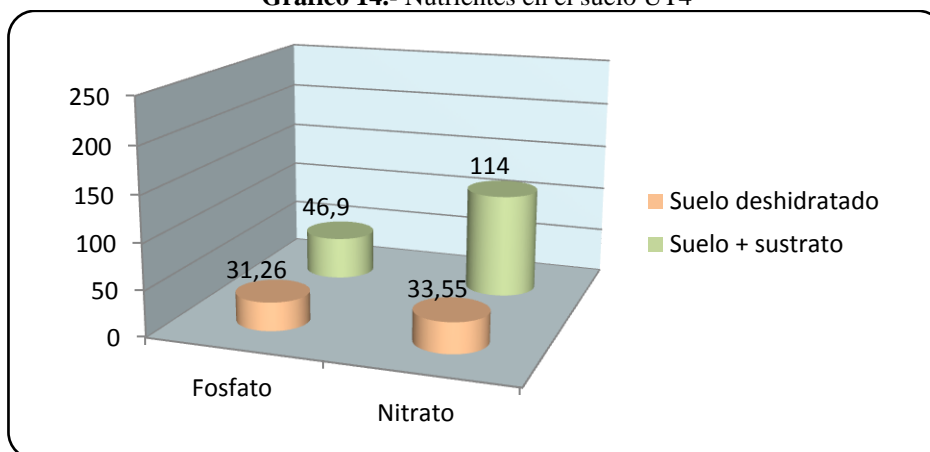
Tabla 4.22.- Control de Nutrientes (N y P).UT3

MUESTRA	FECHA	PARÁMETROS	
		P (mg/mg)	N (mg/mg)
Suelo deshidratado	Ago2010	31,26	33,55
Suelo + sustrato	Nov2010	46,9	114

Fuente: Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Grafico 14.- Nutrientes en el suelo UT4



Fuente: Trabajo de campo. Análisis de Laboratorio

Elaboración: Autor

Grafico 14.- Muestra un aumento de los nutrientes Fósforo y Nitrógeno medidos como Fosfato y Nitrato, luego de adicionar el sustrato al suelo. Hay aumento del 150.03% (1.5 veces) de Fósforo y de Nitrógeno 339.79 % (3.39 veces)

4.5.5. RESUMEN RESULTADOS

- **Degradación de TPH**

A continuación en la tabla 4.22 se indica el porcentaje de degradación ocurrido en cada unidad:

Tabla 4.22.- Resumen % Degradación TPH

Unidad	TPH Inicial (Suelo + sustrato)	TPH Final	% Reducción
UT1	7320.73	3799	48.11
UT2	4982.80	3168	36.42
UT3	3613.27	3131	13.35
UT4	3957.00	2149	45.69

Gráfico 15.- Resumen Degradación TPH UT 1-4

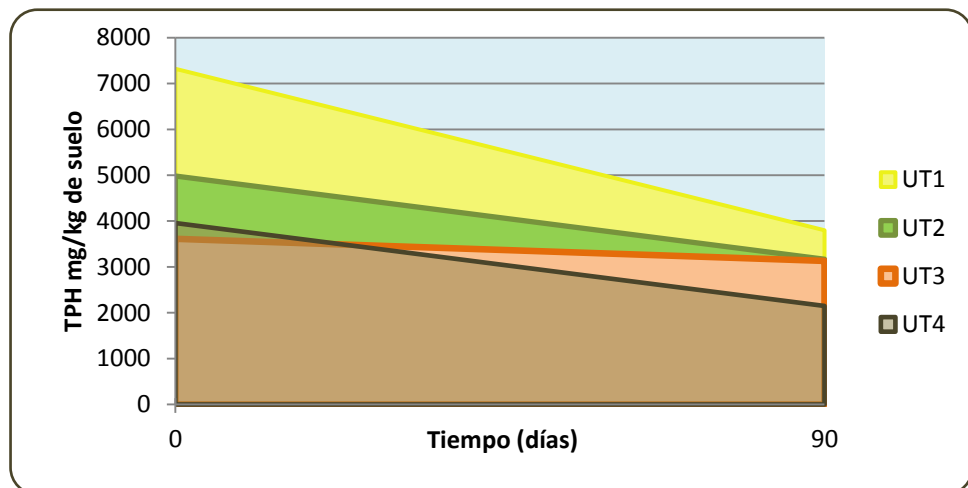
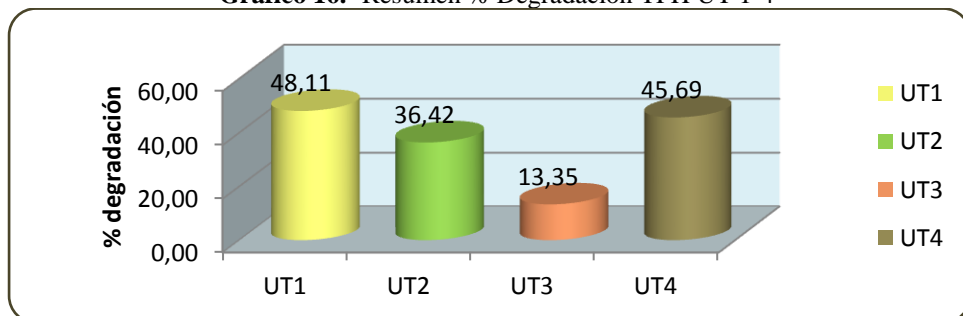


Gráfico 16.- Resumen % Degradación TPH UT 1-4



Fuente: Análisis de laboratorio

Elaboración: Autor

Gráficos 15 y 16. Se observa que en todas las unidades se redujeron los TPH producto de la degradación, mostrando una tendencia siempre a la baja. El porcentaje de degradación fue diferente para cada sustrato, en la UT 1 y UT4 se produjo la mayor reducción, y fue menor en la unidad UT3 y la UT2 muestra un desempeño intermedio cercano a los valores altos

- **Contaje Bacterias UFC:**

A continuación en la tabla 4.23 se muestra los valores más altos en cuanto a UFC en cada unidad.

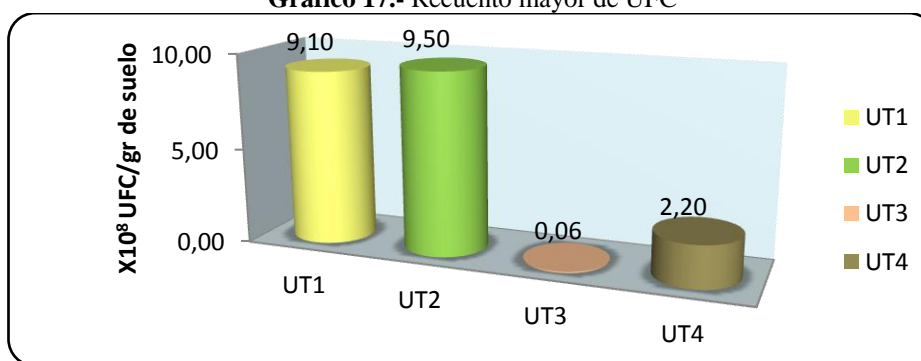
Tabla 4.23.- Resumen Contaje UFC

Unidad	UFC (más alto)	% Reducción
UT1	9.1×10^8	48.11
UT2	9.5×10^8	36.42
UT3	5.5×10^6	13.35
UT4	2.2×10^8	45.69

Fuente: Trabajo de campo. Análisis de laboratorio

Elaboración: Autor

Gráfico 17.- Recuento mayor de UFC

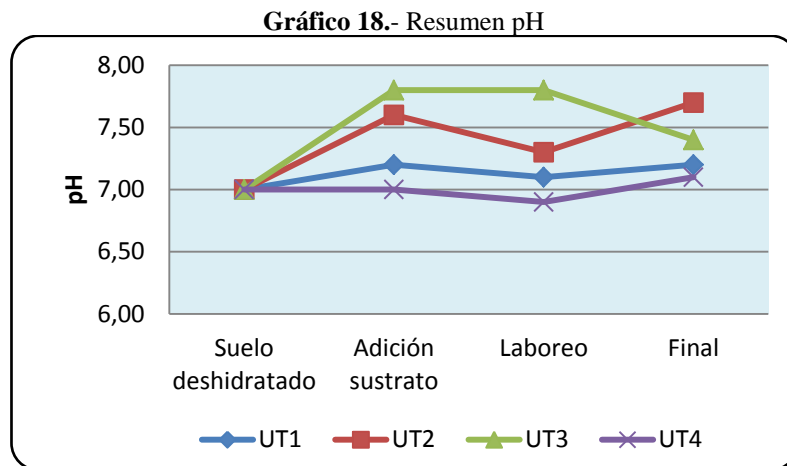


Elaboración: Autor

Gráfico 17. El recuento de UFC en todas las unidades se mantuvo dentro requerido $>1 \times 10^6$ UFC/gr de suelo. La UT 2 y UT4 tuvieron un mejor desempeño en este parámetro, la UT3 mostró el menor desempeño pero dentro del rango, en el gráfico por la escala utilizada se observa una columna pequeña lo que comprueba su menor valor ($5,5 \times 10^6$ UFC/gr de suelo).

- **pH**

En todas las unidades se mantuvo dentro del rango requerido de 6 a 8, en todos los procesos aplicados, a continuación el gráfico 15 muestra un resumen de este parámetro en las cuatro unidades.



Fuente: Trabajo de campo

Elaboración: Autor

- **Nutrientes**

En la siguiente tabla se indican los porcentajes de aumento de los principales nutrientes para actividad bacteriana: Nitrógeno y Fósforo, en cada unidad luego de adicionar los sustratos.

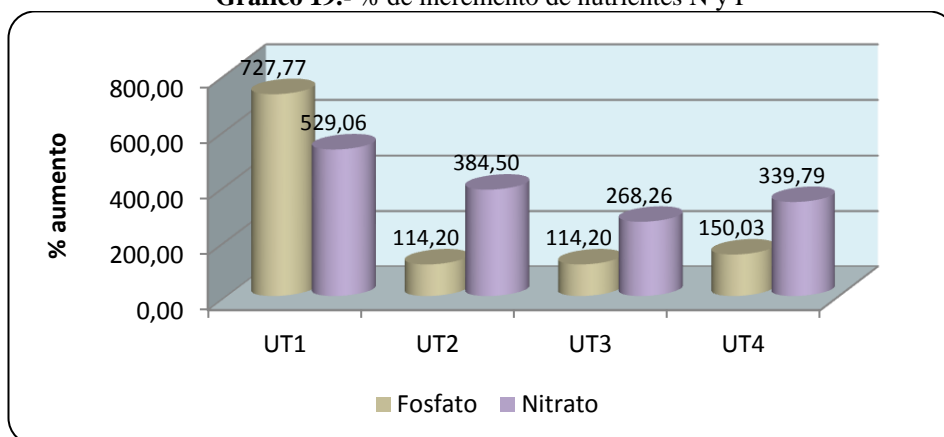
Tabla4. 24.- Resumen Incremento de Nutrientes N y P

UNIDAD	FOSFORO		NITRÓGENO	
	%	veces	%	veces
UT1	727.77	7.28	529.06	5.29
UT2	14.20	1.14	384.50	3.84
UT3	14.20	1.14	268.26	2.68
UT4	50.03	1.50	339.79	2.39

Fuente: Análisis de laboratorio

Elaboración: Autor

Grafico 19.- % de incremento de nutrientes N y P



Fuente: Análisis de laboratorio

Elaboración: Autor

Grafico 19. Muestra el incremento de nutrientes fósforo y nitrógeno aun vez que se adicionaron los sustratos al suelo. En la unidad UT1 se observa el mayor incremento en ambos elementos, seguido de la UT4; en las unidades UT2 y UT3 se observa un incremento importante únicamente de Nitrógeno, lo cual marca un menor rendimiento en estas unidades.

Con estos resultados se determina que determina:

- La degradación de hidrocarburos en la UT1 fue la mayor por tanto el sustrato empleado aquí (mezcla de MO+G+DC) es más favorable frente a los demás, seguido del sustrato de la UT4 (DC). La UT3 mostro el menor desempeño, por tanto el uso de Gallinaza no es tan favorable para aplicar en este tipo de tratamiento de suelo contaminado. Esto puede deberse a la presencia de aserrín (celulosa), el cual no es fácilmente degradable por tanto no se incorpora fácilmente al suelo y consecuentemente no favorece, tanto como los otros sustratos, la actividad bacteriana.
- Adicionar un sustrato orgánico aumenta el contenido de Fósforo y Nitrógeno en el suelo, la UT1 muestra el mayor aumento en ambos

elementos, seguido de la UT4, esto se ve reflejado en la mayor degradación de hidrocarburos en estas unidades, en las unidades UT2 y UT3 se observa un incremento importante únicamente de Nitrógeno, lo cual marca un menor rendimiento en estas unidades.

- La aplicación de los sustratos mejoró sustancialmente el contenido de bacterias (UFC), siendo mejor en la UT2 en la cual se usó únicamente materia orgánica vegetal, pero esto no se vio reflejado en la degradación de hidrocarburos como en la UT1, en la cual se dio la mayor degradación.
- La aplicación de estos sustratos para tratar el suelo contaminado con hidrocarburos no altera el pH fuera del rango óptimo.

4.5.6. OBSERVACIÓN ACERCA DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE TPH

Todos los resultados de análisis de laboratorio de las muestras que han sido tomados en cuenta, se realizaron mediante en el laboratorio mediante el método de Espectroscopia Infrarroja. Pero de acuerdo a la bibliografía revisada se identifica al método de Cromatografía de Gases como un método más preciso, ya que diferencia mejor la cadena C-H y por tanto cuantifica únicamente las cadenas C-H provenientes del hidrocarburo y no toma en cuenta las que provienen de compuestos orgánicos tales como grasas o aceites. Esto hace que el resultado de los TPH sea menor que con el método de infrarrojos. Tal como se muestra en la siguiente tabla, en la cual se muestra los resultados por ambos métodos de las mismas muestras:

Tabla 4.25.- Resultados de análisis de TPH por Infrarrojo y Cromatografía de gases

SEDIMENTO			SUELO		
MUESTRA	IR	CG	MUESTRA	IR	CG
SL1-4	1396,5	295	UT1-4	5535.5	804
SL2-4	887,3	<200	UT2-4	6322.3	1003
SL3-4	2331,1	313	UT3-4	3730.4	498
SL4-4	3380,9	261	UT4-4	3418.3	538
SL5-4	2876,5	342			

Fuente: Análisis de laboratorio

Elaboración: Autor

Se demuestra lo que se dijo anteriormente, el método Cromatografía de Gases es mejor para cuantificar los TPH.

- ✓ Sin embargo estos resultados no se tomaron en cuenta en el desarrollo del proceso, ya que se compararon los resultados obtenidos por el mismo método Infrarrojo.

Considerando esta observación se determina que, para evaluar un tratamiento biológico de recuperación de suelo o sedimentos contaminados con hidrocarburos, en el cual se empleen sustratos orgánicos para su recuperación, es mejor utilizar el método de Cromatografía de Gases, ya que el resultado del análisis de laboratorio será un valor que refleje el contenido de TPH presentes en el suelo o sedimento y no de alguna otra sustancia con cadena C-H.

4.5.7. PROPUESTA DE INDICADOR DE EFICIENCIA DE REMEDIACIÓN DE SUELO.

Considerando los resultados obtenidos en el tratamiento de suelo, se desarrolló este INDICADOR DE EFICIENCIA DE REMEDIACIÓN DE SUELO. Para esto se realizó una ponderación de cada parámetro, asignado un peso (valor) considerando su influencia en el proceso tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.26: Ponderación de los parámetros importantes

PARÁMETRO		DETALLE	FP*
CONTENIDO BACTERIANO		Es el principal factor responsable de la degradación de TPH	0.4
NUTRIENTES Relación C:N:P	N	Su presencia es vital para el desarrollo bacteriano.	0.15
	p		0.15
pH		Su variación afecta al desarrollo bacteriano	0.10
TEMPERATURA		Su variación acelera o retarda el proceso	0.10
HUMEDAD		Es importante para el desarrollo bacteriano	0.10

Elaboración: Autor

* FACTOR DE PONDERACIÓN: corresponde al peso asignado a cada parámetro de acuerdo a su importancia en el proceso

Para obtener el valor del índice se aplicará la siguiente fórmula:

$$IET = \sum_{i=1}^5 Q_i * FP_i$$

Donde:

IET: Índice de eficiencia de la remediación del suelo

FP: Factor de ponderación de cada parámetro

Q: Factor de la escala de cada parámetro de acuerdo al gráfico de la función de transformación de cada uno

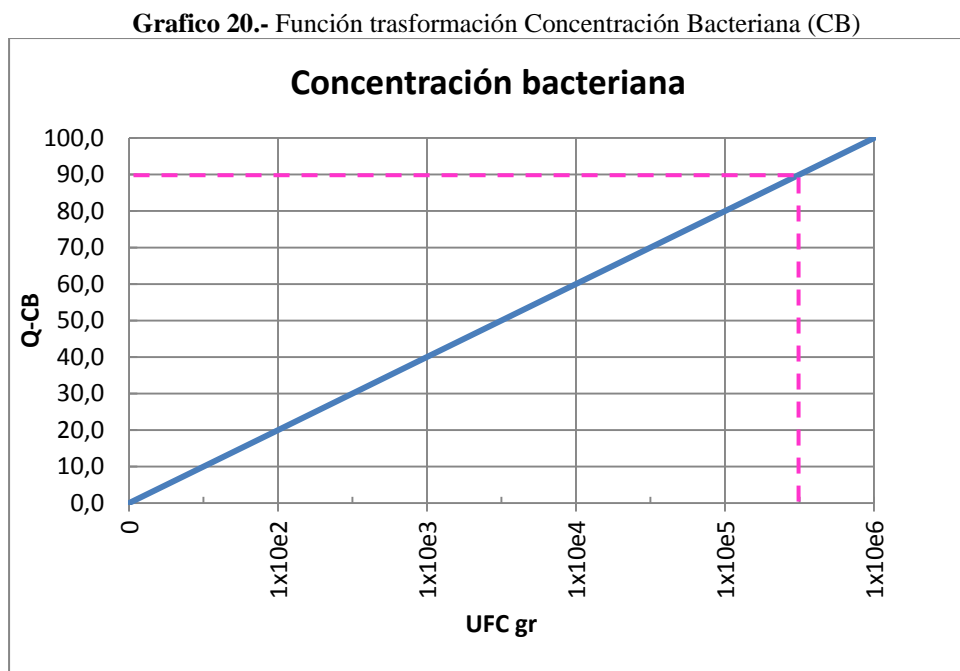
Desarrollando la formula:

$$IER = (Q_{CB} * FP_{CB}) + (Q_N * FP_N) + (Q_P * FP_P) + (Q_T * FP_T) + (Q_H * FP_H)$$

Donde:

- CB: Concentración bacteriana
- N: Presencia de Nitrógeno en relación al Carbono
- P: Presencia de Fósforo en relación al Carbono
- pH: Acidez o alcalinidad del suelo
- T: Temperatura del suelo
- H: Contenido de humedad del suelo

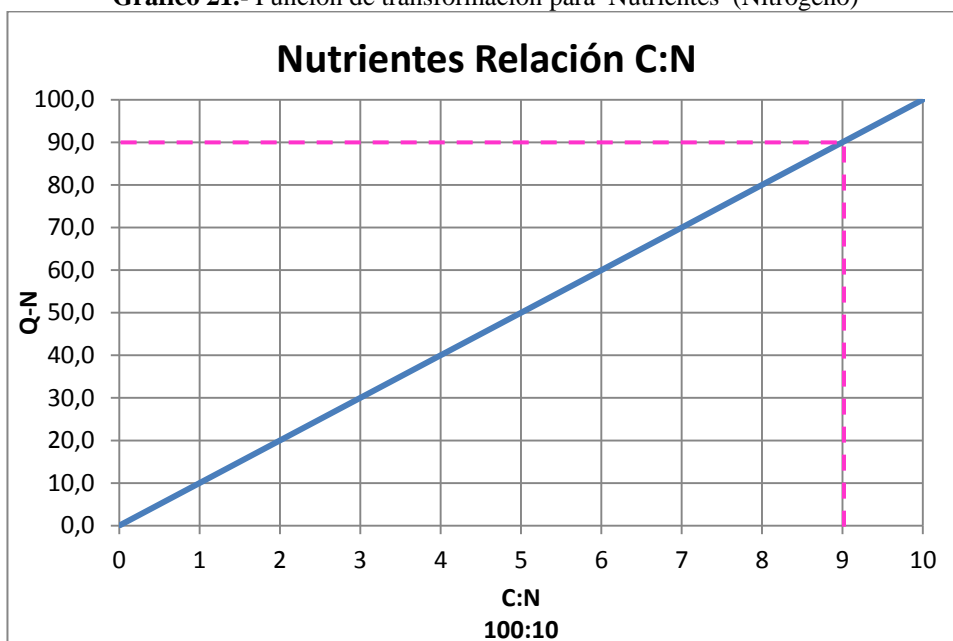
Para establecer (Q), comparamos la medición realizada en cada parámetro en el respectivo grafico:



Para valorar los parámetros se realizara la medición y se compara en el gráfico. Ejemplo:

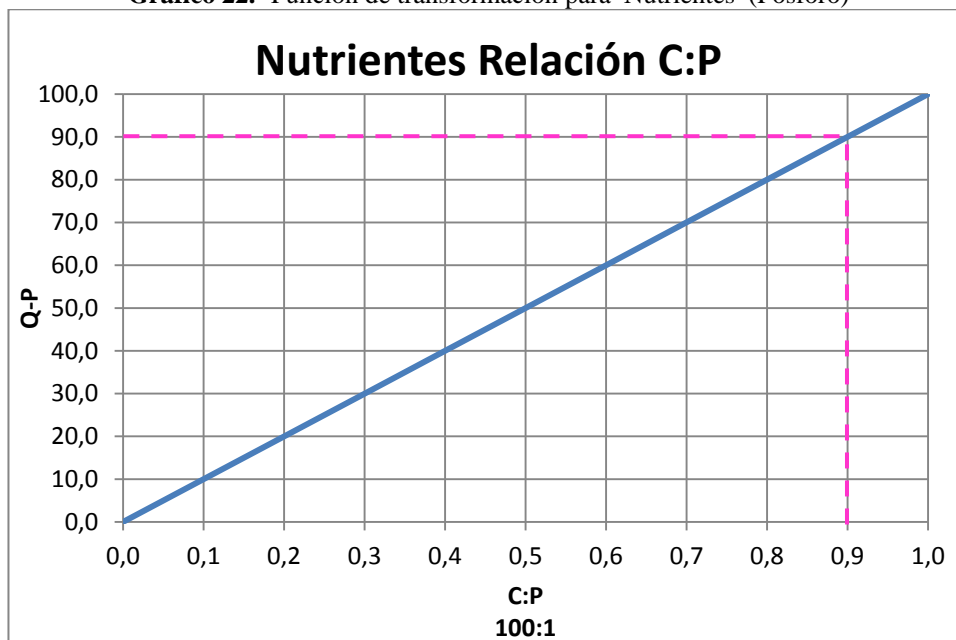
$$\begin{aligned} \text{Resultado contaje UFC} = 5.5 \times 10^5 &\rightarrow IER(CB) = Q * FP \\ IER(CB) &= 90 * 0.40 \\ IER(CB) &= 36 \end{aligned}$$

Grafico 21.- Función de transformación para Nutrientes (Nitrógeno)



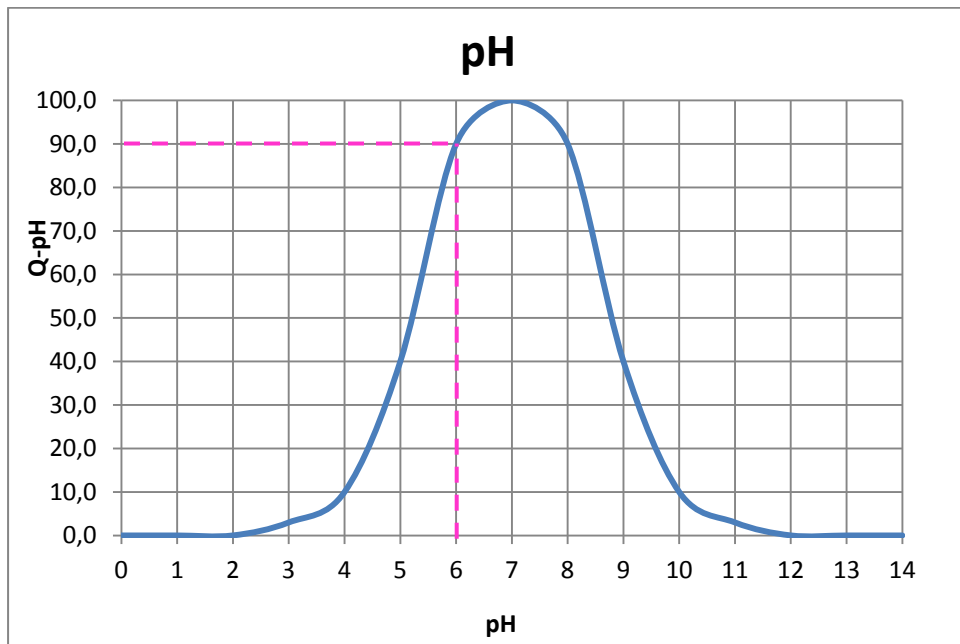
Relación C:N = 9 → $IER(N) = Q * FP$
 $IER(N) = 90 * 0.15$
 $IER(N) = 13.5$

Grafico 22.- Función de transformación para Nutrientes (Fósforo)



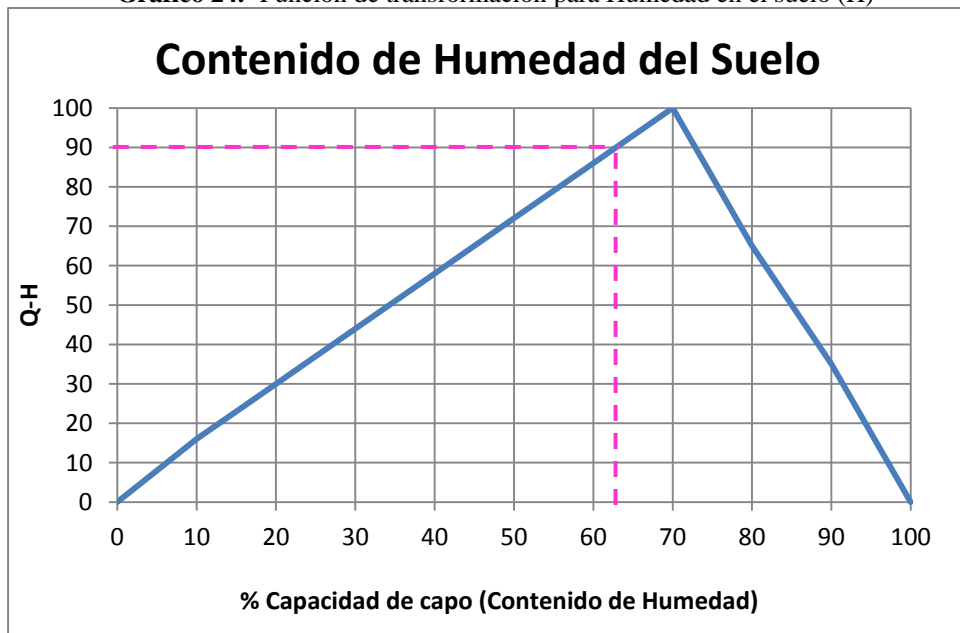
Relación C:P = 9 → $IER(P) = Q * FP$
 $IER(P) = 90 * 0.15$
 $IER(P) = 13.5$

Grafico 23.- Función transformación pH



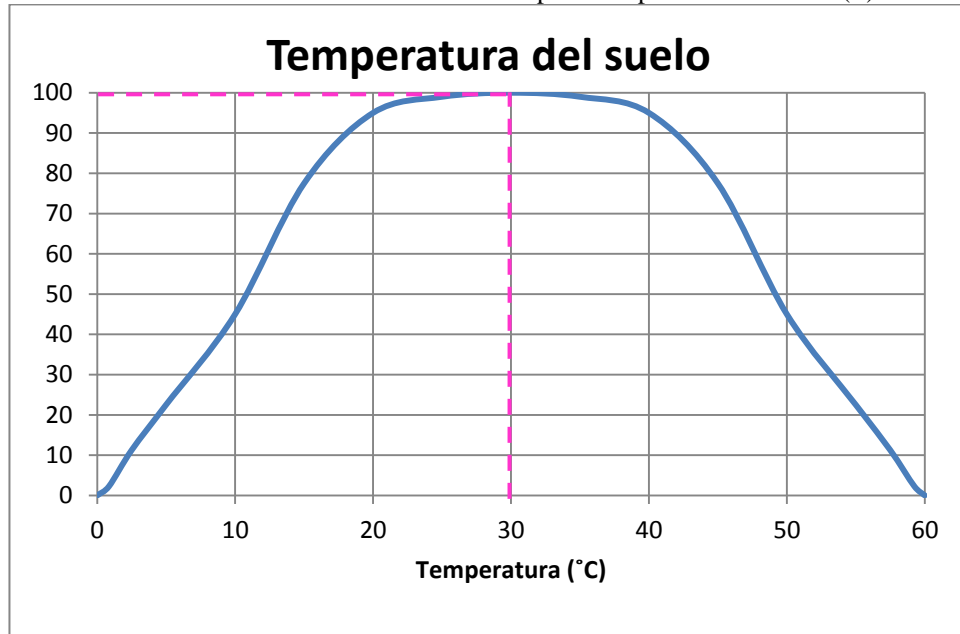
$$\begin{aligned}
 \text{pH} = 6 \rightarrow IER(\text{pH}) &= Q * FP \\
 IER(\text{pH}) &= 90 * 0.10 \\
 IER(\text{pH}) &= 9
 \end{aligned}$$

Grafico 24.- Función de transformación para Humedad en el suelo (H)



$$\begin{aligned}
 \%CC = 64\% \rightarrow IER(H) &= Q * FP \\
 IER(H) &= 90 * 0.10 \\
 IER(H) &= 9
 \end{aligned}$$

Grafico 25.- Función de transformación para Temperatura del suelo (T)



$$\begin{aligned}
 T= 30^{\circ} &\rightarrow IER(T) = Q * FP \\
 &IER(T) = 100 * 0.1 \\
 &IER(T) = 10
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la ponderación y valoración de cada parámetro se puede establecer un rango para cualificar la eficiencia: (Ver Tabla 4.25)

Tabla 4.27.- Categorías de eficiencia de acuerdo al IET

VALOR DEL ÍNDICE	CLASIFICACIÓN
0-25	Deficiente
26-50	Muy poco eficiente
51-70	Poco eficiente
71-90	Eficiente
91-100	Muy Eficiente

Elaboración: Autor

Considerando la clasificación planteada se podrá conocer que ocurre con el tratamiento de suelo contaminado con petróleo:

- Si esta en optimas condiciones, entonces se llegará a degradar eficientemente los hidrocarburos presentes
- Si tiene falencias en algún parámetro, por tanto la degradación no será efectiva
- Si es necesario aplicar medidas correctivas

Considerando los valores del ejemplo en cada parámetro tenemos:

$$IET = \sum_{i=1}^5 UIP_i * C_i$$

$$IET = (CB * C) + (N * C) + (P * C) + (pH * C) + (T * C) + (H * C)$$

$$IET = 36 + 13.5 + 13.5 + 9 + 9 + 10)$$

$$IET = 81 \rightarrow \text{EFICIENTE}$$

El tratamiento ejemplo es eficiente, de continuar con estas condiciones se llegara a una eficiente degradación de hidrocarburos.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones corresponden a los objetivos planteados al inicio de trabajo de Tesis

1. Aplicar un tratamiento físico-biológico tanto en el suelo, como en un pantano, directamente afectados por el derrame de petróleo reduce la contaminación hasta los valores inferiores a los límites que establece la normativa, con una clara tendencia a continuar bajando.
2. La realización de una caracterización de un área donde se ha producido un derrame permite establecer una línea base, dentro de la cual se puede emprender procesos de remediación. Esto genera una visión clara del lugar en el cual se ha producido el derrame de petróleo y permite generar estrategias adecuadas y aplicables para un ecosistema de este tipo considerando sus características físicas, biológicas, climáticas.
3. La delimitación física y cartográfica es útil en un proceso de remediación por cuanto se aísla el área contaminada del entorno y se constituye un sistema cerrado que impide el ingreso de factores adversos para el proceso: tal como el agua lluvia u otro derrame.
4. El proceso de recuperación natural que ocurrió en este ecosistema, fue un proceso lento con resultados muy bajos en periodos de tiempo largos, pese al pasar del tiempo transcurrido el petróleo persiste en cantidades elevadas en el suelo, es necesario ejecutar programas de remediación en sitios donde ocurran derrames de petróleo.

- 4.1. En este caso se observa una reducción del 1,56% durante 1 año 6 meses y de mantenerse esta tendencia sin ninguna intervención se tardaría mucho tiempo en auto recuperarse por completo y por el contrario se constituiría como un foco de contaminación potencial para el resto de este ecosistema; puesto que la alta pluviosidad de la zona haría que los contaminantes se dispersen.

- 4.2. La disminución de TPH de manera natural en los suelos, aunque sea en menor grado, asegura la presencia de microorganismos capaces de degradar hidrocarburos y por consiguiente permite aplicar procesos de remediación, basados en la bioestimulación de las poblaciones bacterianas propias de los suelos que han sido contaminados.

5. La aplicación de un proceso físico biológico en conjunto para recuperar un pantano reduce los TPH considerablemente, tiene una eficiencia del 91% en este caso, permite su recuperación y deja abierto un proceso indefinido de descontaminación.
 - 5.1. Aplicar el proceso físico requiere previamente la implantación de medidas de prevención para evitar el excesivo arrastre de partículas

 - 5.2. Luego de aplicar un proceso físico como lavado, es importante realizar una mejora del sustrato para que la etapa biológica sea exitosa.

6. La aplicación del proceso biológico “Compostaje” al suelo contaminado con petróleo, permite una degradación de los TPH y consecuentemente su recuperación.

- 6.1. Los cuatro sustratos empleados son aptos para la recuperación del suelo contaminado con petróleo, aunque cada uno por su diferente composición tienen un grado de eficacia diferente, esto de acuerdo a su aporte en nutrientes, estimulación bacteriana
- 6.2. La UT1 tuvo la mejor eficiencia, por tanto, el uso de una mezcla de materia orgánica vegetal, gallinaza y desechos de camal es una buena alternativa para un suelo contaminado de este tipo.
- 6.3. El uso de desechos de camal en la recuperación de este tipo de suelo contaminado es también muy favorable, y más aun si se considera la facilidad de conseguir este sustrato, lo cual no ocurre con la materia orgánica y la gallinaza. En tal razón este es el mejor sustrato.
- 6.4. Utilizar la materia orgánica y la gallinaza es menos favorable para el tratamiento de este tipo de suelo, ya que contiene elementos como la celulosa que no se degrada fácilmente y no se incorporan al suelo, esto hará que la actividad bacteriana sea menor al igual que la degradación de hidrocarburos
7. El Indicador de Eficiencia de remediación desarrollado indica la viabilidad que tendrá un tratamiento biológico de suelo considerando los parámetros de importancia para el desarrollo bacteriano y consecuentemente la degradación de hidrocarburos.

CAPITULO VI
RECOMENDACIONES

6. RECOMENDACIONES

Con las conclusiones de este proyecto obtenidas en base a todos los resultados se recomienda lo siguiente:

- Usar este tipo de tratamiento para descontaminar áreas afectadas por derrames de petróleo, ya que son proceso de fácil aplicación y resultados altos.
 - Para evaluar tratamientos de esta naturaleza en cuanto a TPH se recomienda usar en el laboratorio el método de análisis Cromatografía de Gases, ya que este método arroja resultados más precisos acerca de los hidrocarburos presentes.
- Realizar caracterizaciones en los lugares contaminados, para asegurar el éxito de los procesos de remediación y generar el menor impacto al entorno.
- Las entidades que controlan el desempeño ambiental de la industria petrolera debería exigir la ejecución programas de remediación en los lugares donde el petróleo se ha derramado. Ya que en el campo se pudo observar que existen muchos sitios contaminados (pasivos ambientales) en los que no emprendido ningún proceso de limpieza y se han constituido como focos de contaminación que continuaran afectando a este ecosistema indefinidamente.
- Continuar aplicando nuevas metodológica, cada vez más eficientes y menos costosas que dejen totalmente limpios los lugares donde han ocurrido derrames
- Los procesos que se apliquen para descontaminación de los derrames debería emplear metodologías adaptables al entorno no solo natural sino también social, en donde los principales participes de estos

programas sean los dueños de los territorios en los que ocurren estos acontecimientos lamentables y de esta manera ellos conozcan la difícil tarea de limpieza.

- Realizar investigaciones en el campo biorremediación en el cual se prioriza el uso de microorganismos autóctonos nativos de lugar contaminado para su recuperación, esto generará más información acerca de organismos vivos tales como bacterias u hongos capaces de sobrevivir a un entorno adverso y aun así degradar contaminantes utilizándolos en su metabolismo.
- A nivel académico en nuestra carrera Ing. Recursos Naturales se debería abordar de manera más profunda estos procesos de Remediación Ambiental ya que con ellos se puede limpiar lugares contaminados de una manera práctica, natural sin emplear productos químicos. De esta manera se contribuirá a la conservación de los recursos naturales sobre todo en ecosistemas frágiles.

7. RESUMEN

La actividad petrolera en nuestro país se ha desarrollado mayoritariamente en la región oriental, por esta razón se ha establecido una enorme red de tuberías por donde se transporta el crudo y otros componentes, desde cada pozo hasta las diferentes estaciones de bombeo, atravesando ríos, pantanos, zonas agrícolas, ganaderas, zonas pobladas, etc. Debido a diversos tipos de accidentes se produce el rompimiento de tuberías y el derrame de crudo, alcanza grandes extensiones y contamina suelo y agua de ecosistemas sensibles.

En este caso particular el derrame ocurrió el 3 de Diciembre de 2007 en la Línea de flujo del pozo Shushuqui 13, éste se produjo por el daño malicioso a la tubería, lo que ocasionó su ruptura y la fuga del petróleo contaminado un área de suelo de 200m³ y un pantano 1534m². Debido a esta contaminación presente fue necesaria la aplicación de procesos para eliminarla

La presente investigación tuvo como principal objetivo al aplicar un tratamiento físico – biológico para la recuperación del suelo y pantano directamente afectados por el derrame de petróleo de la línea de flujo del pozo Shushuqui 13.

Este proyecto estuvo enmarcado dentro del Proyecto de Remediación Ambiental y Socias (PRAS) emprendió por el Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE), del cual la Universidad Técnica del Norte fue partícipe y realizó el Proyecto de Remediación Ambiental Shushuqui13. La unidad ejecutora fue el Centro de Tránsito de Tecnologías de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (CTT-FICAYA)

En el desarrollo del proyecto se ejecutaron varias etapas para conseguir cada objetivo específico planteado. La primera fue la Caracterización del área a recuperar, dentro de lo cual se realizó una descripción de factores abióticos: suelo y sedimentos contaminados; factores bióticos: flora y fauna; e identificación de contaminantes. Para esto se realizaron muestreos, inventarios, observación directa y también se utilizó como base información levantada antes por el CTT-FICAYA. Este procedimiento arrojó resultado en cuanto especies de flora y fauna presente en el área; así como también la identificación del principal contaminante el petróleo.

La segunda etapa fue la delimitación física y cartográfica para lo cual se empleó bases de datos cartográficos y GPS. Lo cual permitió la elaboración de mapas: Ubicación, Mapa base, Mapa de puntos de contaminación.

Físicamente se construyeron cunetas y zanjas para aislar el área y constituir un sistema cerrado que evitara el ingreso de factores adversos.

Finalmente se aplicaron los procesos para la recuperación del suelo y el pantano. En cuanto al pantano se aplicó un proceso físico – biológico. La parte física consistió en remover los sedimentos contaminados aplicando agua a presión (lavado) esto permitió liberar el petróleo atrapado para luego extraerlo, todo esto aplicando las debidas medidas de protección tales como barreras plásticas y de tela. La parte biológica consistió en mejorar el sustrato adicionando abono NPK 10:30:10, y reintroducir vegetación con conocida capacidad en la retención de contaminantes tales como arroz (*oriza sativa*), pastos (*poaceae*), Jacinto de agua (*Eichornia crassipe*). Se tuvo una reducción de 27620 hasta 2293.65 que corresponde a un 91.69%, El pantano quedó regenerado, con la presencia de contaminantes bajo el límite legal establecido, y con una tendencia a continuar bajando ya que el pantano constituye un sistema de depuración natural

Para el suelo se aplicó un proceso biológico de Compostaje, basado en estimular las poblaciones bacterianas nativas mediante la adición de sustratos orgánicos, aireación e hidratación, se escogieron 4 sustratos para tratar el suelo y también para conocer cuál es el mejor: Materia orgánica vegetal, gallinaza (aserrín con estiércol de aves), desecho de camal (estiércol de ganado) y el cuarto sustrato fue una mezcla en partes iguales de los tres. Se obtuvo una reducción de hasta el 48.11%, y con una tendencia a continuar bajando. Considerando los parámetros controlados (UFC, N, P, T, H y pH) y además la facilidad de obtener, se establece que el mejor sustrato para un proceso de remediación de suelo contaminado con petróleo son los desechos que se generan en un camal.

Con los resultados obtenidos en el tratamiento de suelo se desarrolló un indicador de eficiencia de remediación de suelo (IER) contaminado con petróleo, este puede ser útil para evaluar un tratamiento en proceso y ejecutar las medidas que se requieran para que se produzca la degradación de hidrocarburos y el proceso sea exitoso.

8. SUMMARY

The oil activity in our country has developed mostly in the eastern region, for this reason it has established a huge network of pipes through which transports crude oil and other components from each well to the different pumping stations, crossing rivers, swamps, Agricultural areas, livestock, populated areas, etc. Because different types of accidents occur breaking pipes and the oil spill reaches large areas and soil and water contamination of sensitive ecosystems.

This particular case the spill occurred on December 3, 2007 in the well flow line Shushuqui 13, this was caused by the malicious damage to the pipe, causing it to rupture and leakage of oil contaminated soil area 200m^3 and 1534m^2 swamp. For this contamination was necessary to apply this process to remove it.

This project was framed within the Social and Environmental Remediation Project (PRAS) launched by the Ministry of Environment of Ecuador (MAE), which the Universidad Tecnica del Norte was participated and made the Shushuqui13 Environmental Remediation Project. The executing unit was Center of Technology Transfer of the Faculty of Engineering in Agricultural and Environmental Sciences (CTT-FICAYA)

In the project several steps were implemented to achieve each specific goal raised. The first was the characterization of the area to recover, within which is a description of abiotic factors: soil and sediments, biotic factors: flora and fauna, and identification of contaminants. For this sampling was done, inventories, direct observation and was used as base information collected earlier by the CTT-FICAYA. This procedure yielded results in terms of flora and fauna in the area, as well as the identification of the main polluting oil.

The second step was the physical demarcation and mapping, which was used to map databases, and GPS. This allowed mapping: Map of Location, Base Map and, Map of Points of contamination. Physically was build ditches and trenches to isolate the area and constitute a closed system that would prevent the entry of adverse factors like rain water or another spill.

Finally we applied the process for the recovery of land and marsh. In the swamp was applied a physical - biological. The physical part was to remove contaminated sediments applied pressure water (washing), this allowed to release the trapped oil and then remove it, all using the proper protective measures such as plastic and cloth sweep. The biological part was to

improve the swap by adding fertilizer NPK 10:30:10 and to reintroduce vegetation with known ability in the retention of contaminants such as rice (*Oryza sativa*), grasses (Poaceae), water hyacinth (*Eichornia crassipes*). It had a reduction of 27620 to 2293.65 which corresponds to 91.69%, the swamp was reclaimed, with the presence of contaminants under the legal limit, and a tendency to go down as the swamp is a natural purification system.

In the soil applied biological process of Composting, based on encouraging native bacterial populations by the addition of organic substrates, aeration and hydration, we selected 4 substrates to treat the soil and also to know what is the best: organic matter, plant manure (poultry manure sawdust), slaughterhouse waste (cow manure) and the fourth substrate was a mixture of equal parts of all three. We obtained a reduction of up to 48.11%, with a tendency to continue dropping. Considering the controlled parameter (UFC, N, P, T, H and pH) and also the ease of obtaining, establishing that the best substrate for a remediation process of soil contaminated with waste oil are generated in a slaughterhouse (cow manure).

With the results obtained in the treatment of soil is developing a performance indicator of soil remediation (IER) contaminated with oil, it can be useful to evaluate a treatment process and implement the measures required to produce degradation hydrocarbons and the process is successful.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ACCIÓN ECOLÓGICA, 2001.** Inventario de Impactos Petroleros. Quito Ecuador
2. **ACCIÓN ECOLÓGICA, BRAVO ELIZABETH. 2007.** Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad.
3. **AGENCY FOR A TOXIC SUSTANCES AND DISEASE REGISTRY** En: http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs123.html
4. **ALTAMIRANO, M. G.1999.** Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Cátedra de Microbiología Ambiental.
5. **AYCACHI, R 2008.** Biodegradación de Petróleo Diesel. Universidad Nacional Pedro Luis Gallos, Facultad de Ciencias Biológicas. Lambayeque, Perú. En: <http://www.scribd.com/doc/6437940/Bacterias-Degradadoras-de-Petroleo> Ciencias para la Salud. Universidad Nacional del Comahue, Neuquén.
6. **BROWN, T. 1998.** Química la Ciencia Central, Séptima Edición. México DF México
7. **CLARK, R. W. BROWN. 1977.** Petroleum: properties and analyses in biotic and abiotic systems. Academic Press Inc. Londres Inglaterra .
8. **CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008.** Quito Ecuador
9. **CORONA – RAMIREZ L, ITURBE – ARGÜELLES, R. 2005.** Atenuación Natural en Suelos Contaminados con Hidrocarburos. 2da edición Parson Educación. Madrid, España
10. **ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY** Métodos de Análisis. En: www.epa.gov
11. **ERCOLI, E.; GÁLVEZ, J.; DI PAOLA, M.; CANTERO, J.; VIDELA, S.; MEDAURA, M.; BAUZÁ, J 2001.** Análisis y Evaluación de parámetros críticos en biodegradación de hidrocarburos en suelo. Laboratorio de Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. En: [www.eco2site.com /informes/biorremediacion.asp](http://www.eco2site.com/informes/biorremediacion.asp)
12. **FATIMA B, FLAVIO A, OLIVEIRA C, BENEDICT O, WILLIAM T. 2003** Brazilian Journal Microbiology:

Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. En www.unicolmayor.edu.com

13. **FREEMAN, B. 1986.** Microbiología de Burrows. 22ª edición. Madrid España
14. **HISTORIAL PETROLERO DEL ECUADOR** tomado de: http://www.efemerides.ec/1/marzo/h_petroleo.htm
15. **INSTITUTO ARGENTINO DEL PETRÓLEO, 1991.** Guía de recomendaciones para proteger el medio ambiente durante el desarrollo de la exploración y explotación de hidrocarburos. Buenos Aires, Argentina.
16. **LAURANCE, W.F. (1989).** Ecological impacts of tropical forest fragmentation on nonflying mammals and their habitats. Dissertation, University of California, Berkeley
17. **LIHUÉ INGENIERÍA.** Tecnologías de Remediación. División de Consultorías y Obras Ambientales.
18. **OROZCO V Y SORIA M. 2008.** Biorremediación de vegetación contaminada con petróleo por derrames en el campamento guarumo. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo
19. **MAROTO ARROYO Mª ESTHER Y ROGEL QUESADA JUAN MANUEL, 2004.** Aplicación de Sistemas de Biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos
20. **McINTYRE, T. 2003.** Phytoremediation of Heavy Metals from soil En: www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx
21. **MAQUEDA, A. 2003.** Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Universidad de las Américas Puebla, Escuela de Ciencias, Departamento de Química y Biología. Puebla, México.
22. **MARC VIÑAS CANALS, 2005.** Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y eco toxicológica Barcelona, España.
23. **MINISTERIO DEL AMBIENTE** Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. Quito, Ecuador
24. **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS 2003.** Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas. Quito, Ecuador
25. **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS 2001.** Informe anual

- 26. NARVÁEZ IVÁN, 2000.** La dimensión Política en la problemática socio ambiental petrolera. Aguas de Formación y Derrames de Petróleo. Quito, Ecuador.
- 27. NORMA TÉCNICA AMBIENTAL ECUATORIANA Libro VI Anexo 2 Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para suelos contaminados**
- 28. OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO 1998** Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Madrid, España.
- 29. PALACIOS, W, CERÓN C, VALENCIA R y SIERRA R. 1999.** Las Formaciones Naturales de la Amazonía Del Ecuador. Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador
- 30. PETROECUADOR 2007.** Dirección Nacional de Hidrocarburos. Quito, Ecuador
- 31. PETROECUADOR 2007.** Informe Estadístico 1972 – 2007 Quito, Ecuador.
- 32. PETROINDUSTRIAL 2007.** Informe diario de Producción. Quito, Ecuador
- 33. PONCE NARANJO IVONNE, 2006.** Petróleo y Conflictos en la Región Amazónica. El caso Pastaza Bloque 23. Quito Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.
- 34. PORTAL DE INGENIERO AMBIENTAL** Contaminación y Remediación de suelo contaminado En: www.ingenieroambietal.com
- 35. REVISTA ECOSISTEMAS, 2009.** La Biorremediación En: www.ecosistemas.net
- 36. REVISTA IBEROAMERICANA DE MICOLOGÍA, 2007.** Carmen Martín Moreno, Aldo González Becerra y María José Blanco Santos Tratamiento biológico de suelos contaminados con hidrocarburos.
- 37. RUZA, T.F., V.B. MARQUES, B.F. FUENTES, A. ÁLVAREZ, C. TORRALBA, A. GÓMEZ, F. SARDA, F. SALCEDO, M. VILLAVERDE, F. MARTIN, M. MONTERO, J.M. SANZ. 1984.** Tratado del Medio Ambiente.

- 38. SÁNCHEZ, J Y RODRÍGUEZ, L. 2001.** Biorremediación: Fundamentos y Aspectos Microbiológicos. Universidad de Oviedo, España
- 39. SAVAL S. Y LESSER J. M. 1999.** Identificación de hidrocarburos derramados al subsuelo y estudio de riesgo en una instalación industrial. *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Revista de la Federación Mexicana de Ingeniería y Ciencias Ambientales, A.C. Año 10, No. 45: 24-29.
- 40. SCHMIDT W. 2001** Suelos contaminados con hidrocarburos: la biorremediación como una solución ecológicamente compatible. Cooperación Técnica Alemana (GTZ). 2000. En: www.gtz.org.mx/sitios-contam/articulos/biorremed_Mex2.pdf.
- 41. SEMARNAP. 1996.** Los Suelos de Tabasco Restauración, Conservación y Uso. Gobierno Constitucional del Estado de Tabasco
- 42. SMITH, J., Y PAUL, E. 2005.** The Significance of Soil Microbial Biomasa Estimulations in Soil Biochem. New York, EE UU.
- 43. SOLANAS, A. 2009.** La biodegradación de hidrocarburos y su aplicación en la biorremediación de suelos. Universidad de Barcelona España.
- 44. SOTO, JACINTO 2006.** Potencial contaminación por cromo en la refinación del Petróleo. Universidad Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- 45. TEXACO, Lowell E. Sever, PhD, 2005 .** Contaminación petrolera y efectos sobre la salud en la Cuenca Amazónica de Ecuador. En: www.texaco.com/sitelets/ecuador/docs/report_sever_es.pdf
- 46. UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY 1997** Modelo para la Evaluación de Derrames de Hidrocarburos
- 47. UNITED STATES DEPARTAMENT OF AGRICULTURE USDA.** Soil Taxonomy (Taxonomía de suelos)

PAGINAS WEB

1 www.textoscientificos.com/petroleo/el-petroleo

2 www.efemerides.ec/1/marzo/h_petroleo.htm

3 www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/ContamPetr.htm

4 www.ingenieroambiental.com

5 <http://bioinformatica.uab.es>

6 <http://www.eco2site.com/informes/lihue.asp>

CAPITULO X

ANEXOS

10. ANEXOS

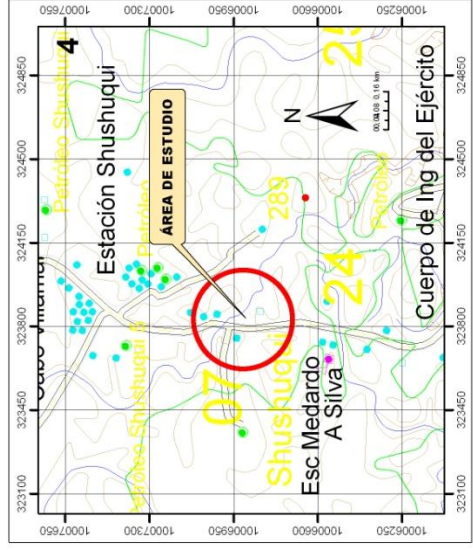
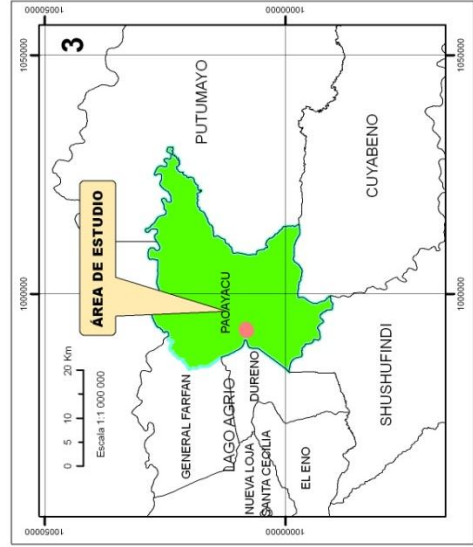
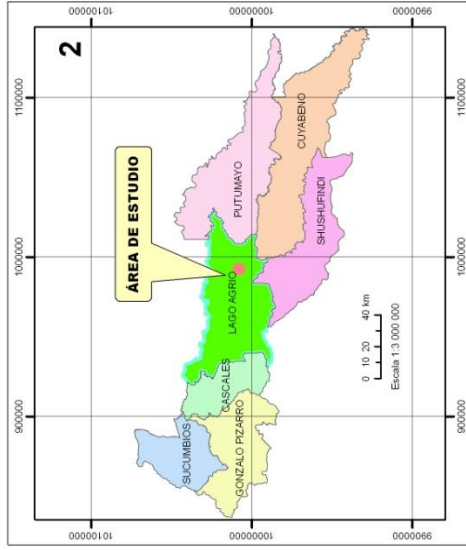
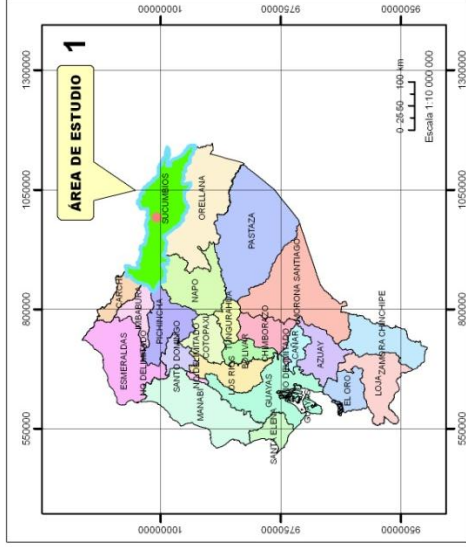
1. MAPAS

1.1. Mapa de ubicación

1.2. Mapa Puntos de contaminación

1.3. Mapa Base








MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE TRABAJO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES ESC. RECURSOS NATURALES RENOVABLES CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS	
TEMA: TRATAMIENTO FÍSICO BIOLÓGICO PARA LA RECUPERACIÓN DEL PANTANO Y EL SUELO AFECTADOS POR EL DERRAME DE PETRÓLEO DE LA LÍNEA DE FLUJO DEL POZO SHUSHUQUI 13	FUENTE: IGM 2007 TRABAJO DE CAMPO
ESCALA: la indicada	ARCHIVO: C: TESIS/ MAPAS/ UBICACION
DATOS CARTOGRAFICOS PROYECCION UTM DATUM WGS84 ZONA 18N	
AUTOR: CARLOS ANDRÉS RIVERA ONOFRE	
DIRECTOR: DR. MARCELO DAVALOS	
MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	

IDENTIFICACIÓN PUNTOS DE CONTAMINACIÓN SUELO Y PANTANO

LEYENDA

-  Punto del Derrame
-  Tubería SSO13
-  Puntos de Contaminación
-  Pantano
-  Area suelo contaminado
-  Curvas
-  Río



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS
 AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
 CARRERA RECURSOS NATURALES
 Y AMBIENTE

TRATAMIENTO FÍSICO BIOLÓGICO PARA LA
 RECUPERACION DEL PANTANO Y EL SUELO
 AFECTADOS POR EL DERRAME DE PETROLEO
 DE LA LINEA DE FLUJO DEL POZO
 SHUSHUQUI13

FUENTE: IGM 2007
 TRABAJO DE CAMPO

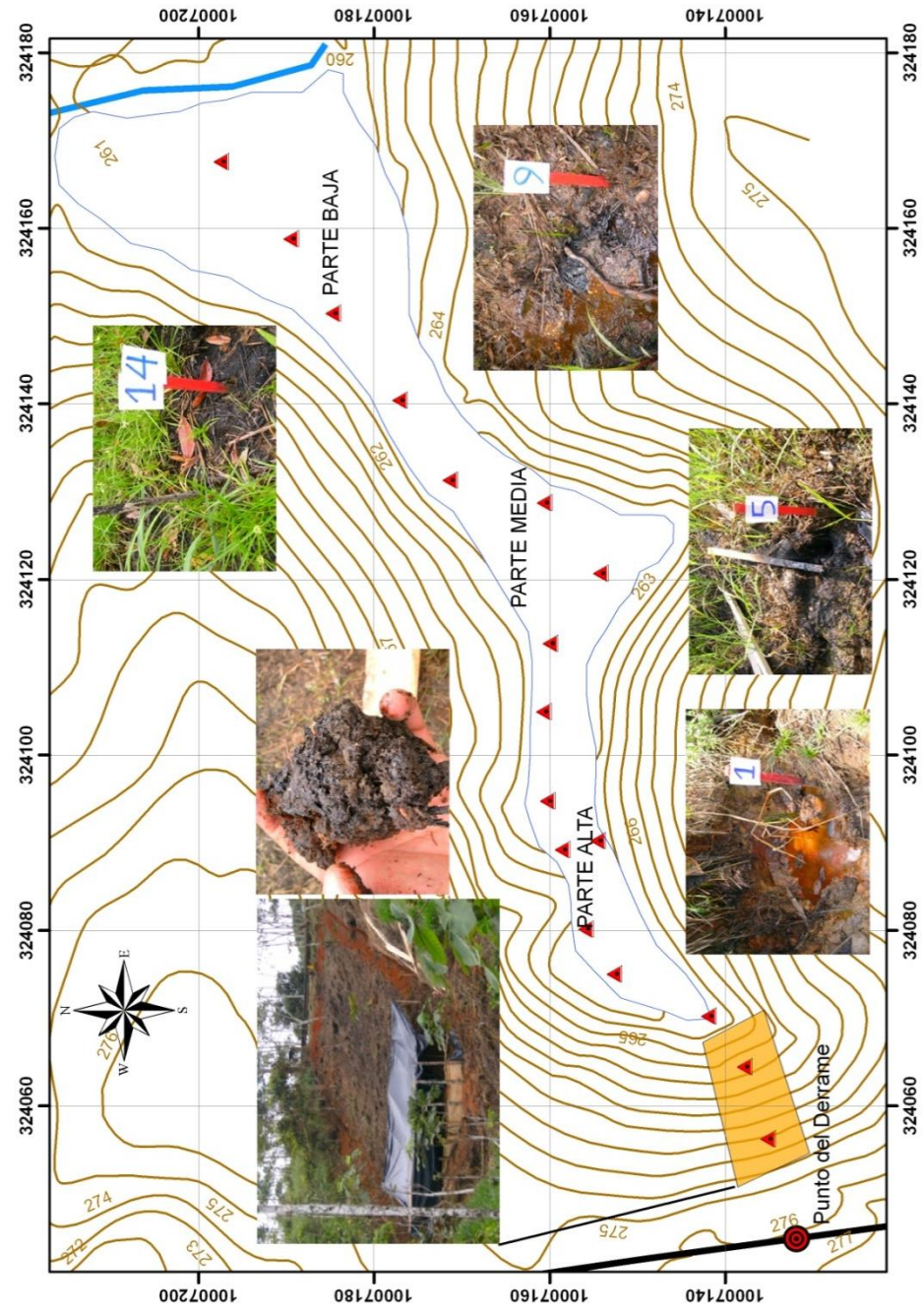
ESCALA 1:700

DATOS CARTOGRAF:
 UTM WGS84 ZONA 18N

ARCHIVO: TESIS/
 MAPAS/BASE












AUTOR: CARLOS ANDRÉS RIVERA ONOFRE
 DIRECTOR: DR. MARCÉLO DAVALOS

PUNTOS DE CONTAMINACIÓN



MAPA BASE DEL ÁREA DE TRABAJO

LEYENDA

-  Punto del Derrame
-  Tubería SSQ13
-  Área suelo contaminado
- Unidades Tratamiento de Suelo**
-  UT1
-  UT2
-  UT3
-  UT4
-  Sedimentadores
-  Pantano
-  Curvas
-  Río



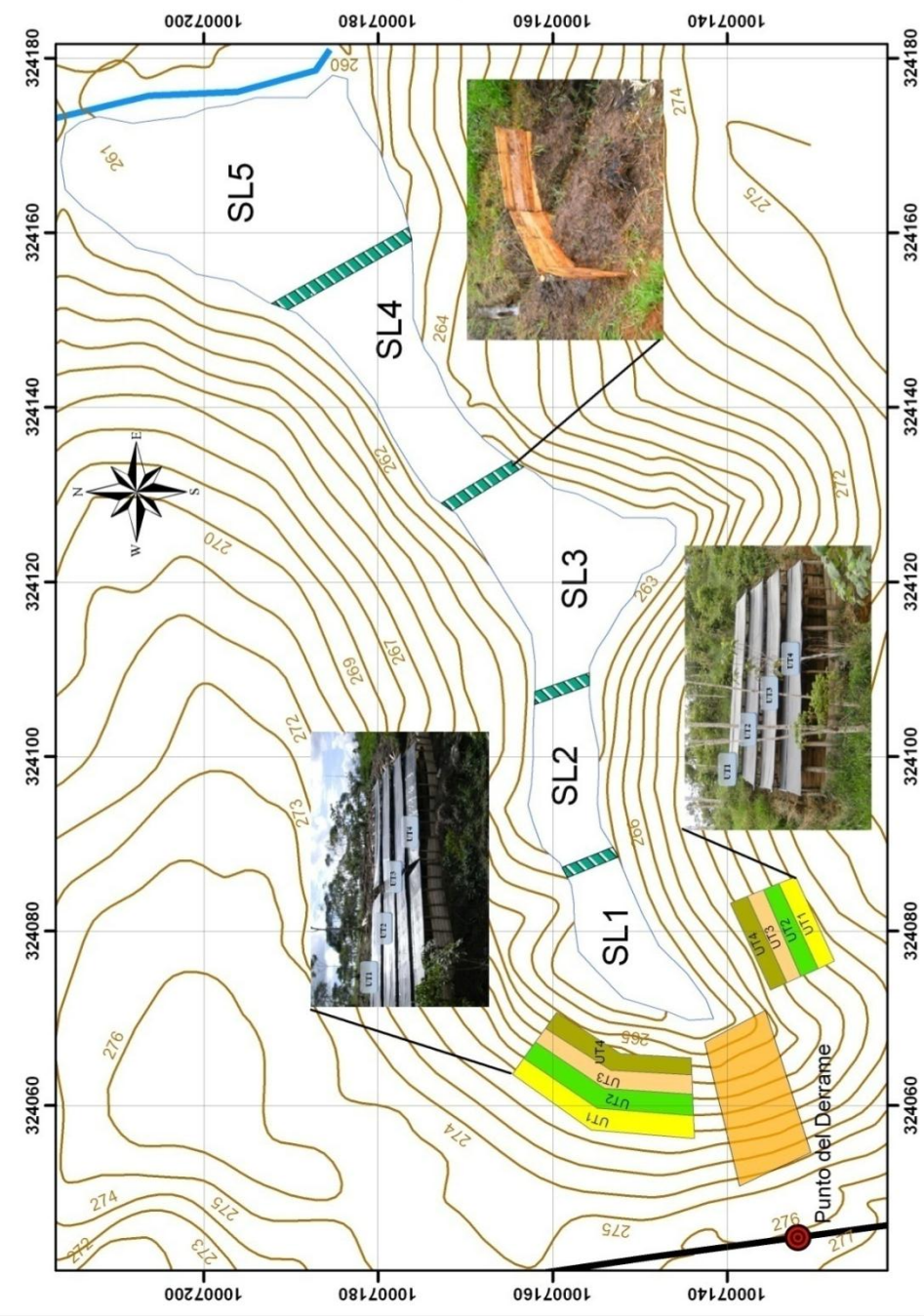
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
 CARRERA RECURSOS NATURALES
 Y AMBIENTE

TRATAMIENTO FÍSICO BIOLÓGICO PARA LA
 RECUPERACION DEL PANTANO Y EL SUELO
 AFECTADOS POR EL DERRAME DE PETRÓLEO
 DE LA LÍNEA DE FLUJO DEL POZO
 SHUSHUQUJ13

ESCALA 1:700	FUENTE: IGM 2007 TRABAJO DE CAMPO
DATOS CARTOGRAF: UTM WGS84 ZONA 18N	ARCHIVO: TESIS/ MAPAS/BASE

AUTOR: CARLOS ANDRÉS RIVERA ONOFRE
 DIRECTOR: DR. MARCELO DAVALOS

MAPA BASE



ANEXO 2

2. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

2.1. Resultados Recuperación del suelo

2.2. Resultados Recuperación del pantano

2.3. Formato Hoja de Cadena de Custodia

2.3 FORMATO HOJA CADENA DE CUSTODIA

Para solicitar el análisis de muestras al laboratorio

CADENA DE CUSTODIA

PROYECTO: TRATAMIENTO FÍSICO BIOLÓGICO PARA LA RECUPERACIÓN DEL SUELO Y PANTANO AFECTADOS POR EL DERRAME DE HIDROCARBUROS DE LA LÍNEA DE FLUJO DEL POZO SHUSHUQUI 13

N° Orden de Trabajo del Laboratorio: _____

LUGAR

Provincia: Sucumbios

Cantón: Nueva Loja

Parroquia: Pacayacu

Comunidad: Shushuqui

- **MUESTRAS DE:** (AGUA, SUELO, SEDIMENTO, ETC)

PARÁMETROS A ANALIZAR:

- ✓ TPH (mg/kg)
- ✓ Cadmio (mg/kg)
- ✓ Cromo (mg/kg)
- ✓ Níquel (mg/Kg)
- ✓ Plomo (mg/kg)
- ✓ Vanadio (mg/kg)

MUESTRAS DE _____				
N°	CODIGO	DETALLE	FECHA	HORA
1				
2				
3				
4				

OBSERVACIONES:

Entregado por:

Recibido por:

Fecha:

Fecha:

ANEXO 3

3. FOTOGRAFÍAS RECUPERACIÓN DEL SUELO

3.1.Suelo Contaminado

3.2.Construcción de unidades

3.3.Disposición del suelo

3.4.Adición de sustratos

3.5.Mezcla de sustratos, aireación e hidratación

3.6.Control de parámetros

3.7.Muestras

3.8.Suelo al final del proceso

3.1 SUELO CONTAMINADO



Foto 1: Punto del derrame



Foto 2: Aérea de suelo contaminado



Foto 3: Suelo contaminado



Foto 4: Perfil de suelo contaminado



Foto 5: Delimitación física de área de suelo contaminado destinado al tratamiento

3.2 CONSTRUCCIÓN DE UNIDADES DE TRATAMIENTO



Foto 6: Limpieza del área



Foto 7: Conformación de la terraza



Foto 8: Conformación de la terraza



Foto 9: Colocación de postes



Foto 10: Techado



Foto 11: Terraza



Foto 12: Unidades de tratamiento terrazas derecha

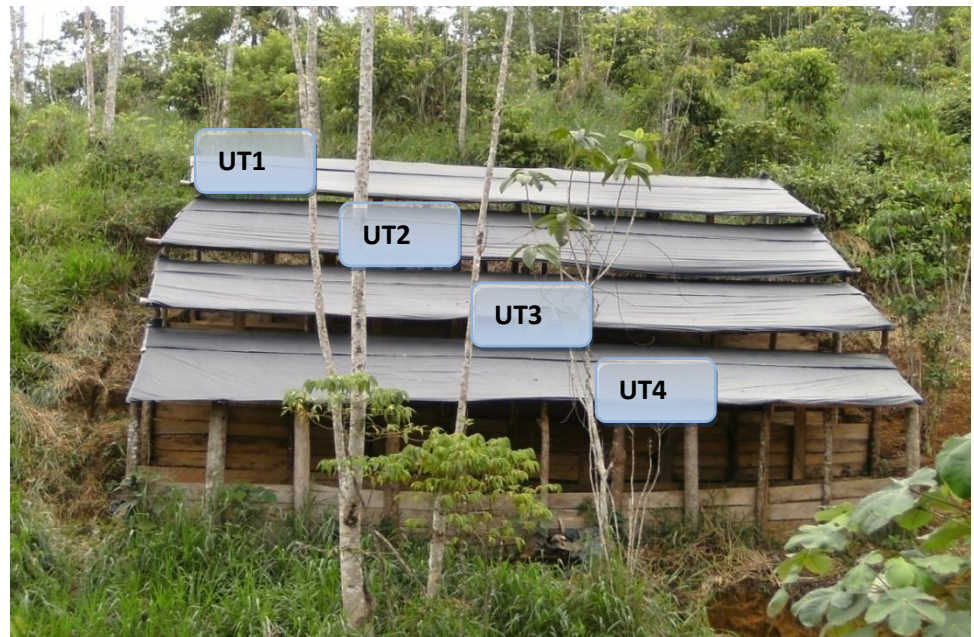


Foto 13: Unidades de tratamiento terrazas izquierda

3.3 DISPOSICIÓN DEL SUELO



Foto 14: Extracción del lugar del derrame



Foto 15: Extracción del lugar del derrame



Foto 16: Disposición de suelo UT1



Foto 17: Disposición de suelo UT2



Foto 18: Disposición de suelo UT3



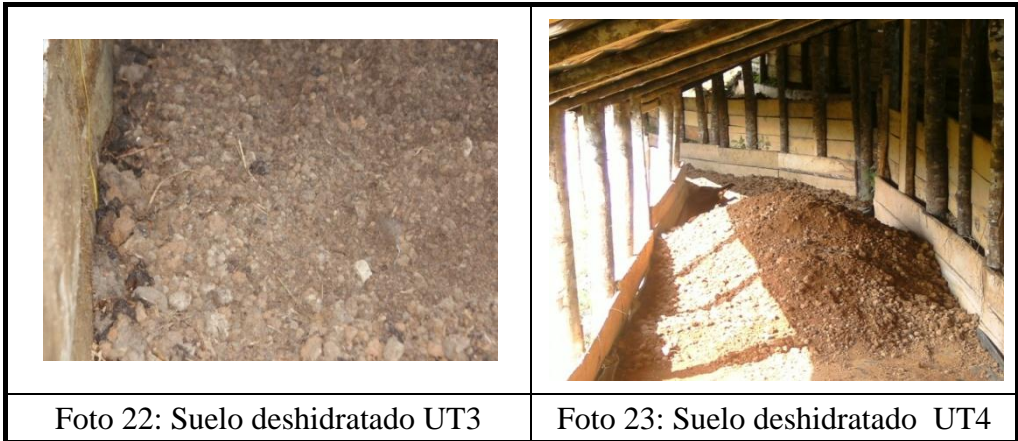
Foto 19: Disposición de suelo UT4



Foto 20: Suelo deshidratado UT1



Foto 21: Suelo deshidratado UT2



3.4 ADICIÓN DE SUSTRATOS





Foto 28-29: Adicción de sustratos UT3



Foto 30-31: Adicción de sustratos UT4

3.5 MEZCLA DE SUSTRATOS, AIREACIÓN E HIDRATACIÓN



Foto 32: Motocultor



Foto 33: Mezcla de Sustratos



Foto 34-35 Mezcla de sustratos y aireación



Foto 36: Aireación



Foto 37: Hidratación



Foto 38-39: Suelo con sustratos, aireado e hidratado

3.6 CONTROL DE PARÁMETROS pH

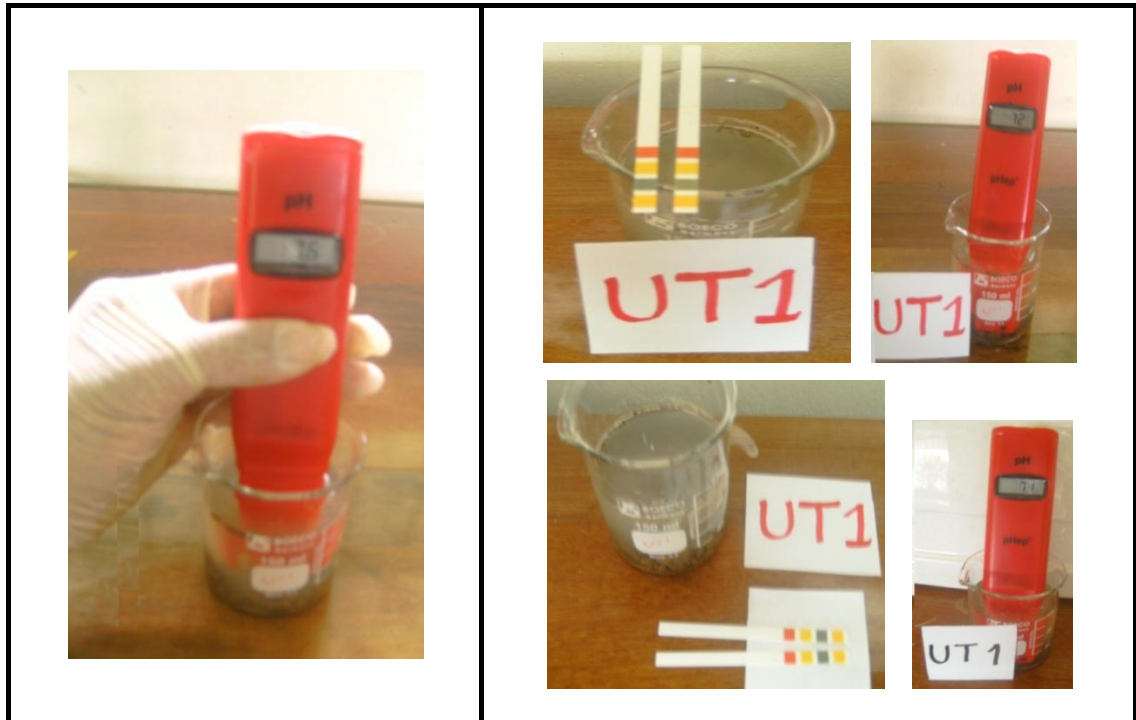


Foto 40: Medición de pH

Foto 41: Medición de pH UT1



Foto 42: Medición de pH UT2

Foto 43: Medición de pH UT3







Foto 44: Medición pH UT4

CONTROL DE PARÁMETROS CONTAJE DE BACTERIAS



Foto 45: Contaje de bacterias totales

	
<p>Foto 46: Contaje UT1</p>	<p>Foto 47: Contaje UT2</p>
	
<p>Foto 48: Contaje UT3</p>	<p>Foto 49: Contaje UT4</p>

3.7 MUESTREOS

	
<p>Foto 50: Muestras iniciales de suelo</p>	<p>Foto 51: Muestras control del tratamiento</p>



Foto 52: Muestreos

3.8 SUELO AL FINAL DEL PROCESO



ANEXO 4

4. FOTOGRAFÍAS RECUPERACIÓN DEL PANTANO

4.1.Pantano contaminado

4.2.Delimitación física y drenaje







4.3.Construcción sedimentadores

4.4.Aplicación proceso físico biológico

- **Lavado, remoción de material contaminado**
- **Recuperación del petróleo**
- **Medidas de protección**
- **Mejoramiento del sustrato**
- **Reintroducción de plantas**

4.5.Muestreos

4.1 PANTANO CONTAMINADO

	
Foto 58: Punto de contaminación 1	Foto 59: Presencia de petróleo
	
60 : Punto de contaminación 5	Foto 61: Punto de contaminación
	
Foto 62: Punto de contaminación	Foto 63: Punto de contaminación

4.2 DELIMITACIÓN FÍSICA Y DRENAJE



Foto 64: Construcción de cunetas



Foto 65: Cunetas de coronación



Foto 66: Cunetas de coronación



Foto 67: Construcción zanjas (Drenaje)



Foto 68: Zanjas



Foto 69: Zanjas

4.3 CONSTRUCCIÓN SEDIMENTADORES



Foto 70 - 71: Construcción de sedimentadores con postes y tablas



Foto 72: Sedimentador



Foto 73: Sediementador con bamboo y postes



Foto 74: Sedimentador reforzado



Foto 75: Sedimentador

4.4 APLICACIÓN DEL PROCESO FÍSICO BIOLÓGICO



Foto 76: Bomba de agua para lavado



Foto 77: Materiales para lavado



Foto 78: Lavado de sedimentos y material contaminado



Foto 79: Lavado de sedimentos y material contaminado



Foto 80: Lavado de sedimentos y material contaminado



Foto 81: Lavado de sedimentos y material contaminado



Foto 82: Petróleo liberado por el lavado



Foto 83: Petróleo liberado por el lavado



Foto 84: Lavado material contaminado



Foto 85: Funcionamiento sedimentador



Foto 86: Recuperación de petróleo y material contaminado



Foto 87: Recuperación de petróleo y material contaminado



Foto 88: Recuperación de petróleo y material contaminado



Foto 89: Recuperación de petróleo y material contaminado



Foto 90: Recuperación de petróleo y material contaminado



Foto 91: Medidas de protección (salchichas)



Foto 92: Medidas de protección (barreras)



Foto 93: Medidas de protección (sedimentador y barreras)



Foto 94: Mejoramiento sustrato del pantano (adición de abono)



Foto 95: Mejoramiento sustrato del pantano (adición de abono)



Foto 96: Mejoramiento sustrato del pantano (adición de abono)



Foto 97: Mejoramiento sustrato del pantano (adición de abono)



Foto 98: Re introducción de plantas Jacinto de agua



Foto 99: Re introducción de plantas Junquillo

4.5 MUESTREOS



Foto 100: Muestreo inicial parte baja



Foto 101: Muestreo agua de lavado



Foto 102: Muestreo SL 1



Foto103: Muestreo SL2



Foto 104: Muestreo



Foto 105: Muestras

ANEXO 5

5. FOTOGRAFÍAS

5.1. Flora

5.2. Fauna

5.1 FLORA



Foto 106: Jacinto de agua



Foto 107: *Eichornea crassipes*



Foto 108: *Carex flava*



Foto 109: Helecho



Foto 110: Pasto (Poaceae)



Foto 111: Anturio



Foto 112: Guarumo



Foto 113: Chontaduro



Foto 114: Café



Foto 115: Guayaba



Foto 116: Eugenia sp



Foto 117: Palmera

5.2 FAUNA



Foto 118: Ratón



Foto 119: Rana



Foto 120: Lora



Foto 121: Rana



Foto 122: Raposa



Foto 123: Falsa coral



Foto 124: Pez eléctrico



Foto 125: Verrugosa



Foto 126: Sardinilla



Foto 127: Boa



Foto: 128: Mono payaso



Foto 129: Mono de bolsillo



Foto 130: Oropéndola



Foto 131: Mirlo



Foto 132: Gallinazo



Foto 133: Tucán



Foto: 134: Pericos



Foto 135: Pájaro carpintero

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**CENTRO DE TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍAS FACULTAD DE INGENIERÍA EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

CTT - FICAYA

